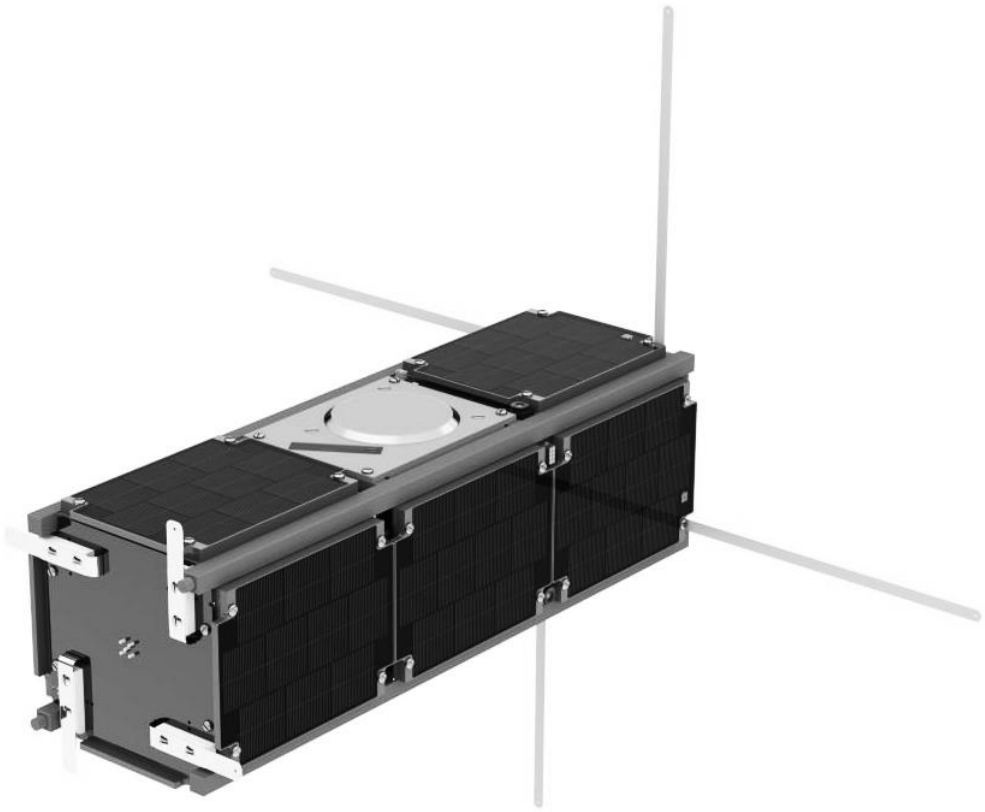
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МИРЭА – РОССИЙСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

III МЕЖДУНАРОДНАЯ МЕЖВЕДОМСТВЕННАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «КОСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ – 2025»

СБОРНИК НАУЧНЫХ СТАТЕЙ



МОСКВА 2025

УДК 629.7(062.552)
ББК 39.6я43
М43

III Международная межведомственная научно-техническая конференция «Космические технологии – 2025»: Сборник научных статей / сост. Замуруев С.Н., Чистяков Е.А. – М.: Сфера, 2025. – 910 с.

В сборнике научных статей представлены материалы III Международной межведомственной научно-технической конференции «Космические технологии», отражающие направления и результаты современных фундаментальных и прикладных исследований и разработок ученых, специалистов, аспирантов и студентов из разных стран в области космической деятельности. Научные статьи охватывают такие направления, как космические системы и их компоненты, радиоэлектроника компонентов космических аппаратов, космическая энергетика и двигательные установки, методы зондирования Земли, а также лингвистическая логистика научно-технического дискурса.

Научные труды сборника представляют интерес для широкого круга специалистов радиоэлектронной отросли, научных и педагогических работников высшей школы, а также аспирантов и студентов вузов, связанных с решением научно-практических задач совершенствования и развития космических технологий.

Материалы научных статей отражают позицию участников конференции и издаются исключительно в авторской редакции.

Электронная точка доступа: http://cosmos.mirea.ru/

Редакционная коллегия и рецензенты:
д.т.н. доц., директор ИРИ РТУ МИРЭА Дементьев А.Н.,
к.э.н, директор ИТУ РТУ МИРЭА Мыльникова А.Н.,
д.т.н. доц., зав. кафедрой РЭСК РТУ МИРЭА Замуруев С.Н.,
д.т.н., доц., зав. кафедрой РПТ РТУ МИРЭА Костин М.С.,
д.т.н., проф., зав. кафедрой КПРЭС РТУ МИРЭА Увайсов С.У.,
к.т.н., доц., зав. кафедрой ГИС РТУ МИРЭА Двилянский А.А.,
д.э.н, главный научный сотрудник 46 ЦНИИ МО РФ Боков С.И.,
к.филол.н., доц. кафедры ИЯ ИРИ РТУ МИРЭА Шовгенин А.Н.

Электронное издание сетевого распространения.
Сборник содержится в едином файле PDF.
http://sphere-publishing.ru/images/banners/cosmos2025.pdf

Максимальный объем: 40 МБ.
Доступ к сборнику – постоянный, свободный и бесплатный.

Издательство ООО «Сфера»
119602, Москва, ул. им. Академика Анохина, д. 12к3
https://sphere-publishing.ru/
sphere-vlg@mail.ru

Дата издания: 08.07.2025

ISBN 978-5-00186-213-0

© сост. Замуруев С.Н., Чистяков Е.А., 2025
© МИРЭА – Российский технологический университет, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ БПЛА В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ 9

ТЕСТИРОВАНИЕ ДАЛЬНОСТИ ДЕЙСТВИЯ РАДИОКАНАЛА СИСТЕМЫ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ 14

МОДЕЛИРОВАНИЕ УГРОЗ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В КАНАЛАХ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ 23

РАЗВЕРТЫВАНИЕ MESH-СЕТЕЙ СУБГИГАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА 42

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЛОКАЛЬНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ПОМЕЩЕНИЯ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ 55

КООРДИНАТНОЕ ПРОСТРАНСТВО ДЛЯ ДАЛЬНОМЕРНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ 66

ОРИЕНТАЦИЯ ПО МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ GSM 74

СОГЛАСОВАННОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ИОНОСФЕРЫ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ НАБЛЮДЕНИЙ 81

ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ТОЧНОСТИ ЛОКАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ 89

ПРОБЛЕМА МНОГОЛУЧЕВОСТИ В РАДИОЛОКАЦИИ, АНАЛИЗ И ПУТИ РЕШЕНИЯ 101

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ СОЗДАНИИ ОБРАЗЦОВ РЭБ ВКС НА БАЗЕ МЕТОДА ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ ВЫБОРА АЛЬТЕРНАТИВ 110

ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ ПРИЁМА М-КАМ СИГНАЛОВ В КАНАЛАХ МЕЖДУ МОБИЛЬНЫМИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯМИ 129

ИССЛЕДОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ ЦИФРОВОГО МЕТОДА РАСШИРЕНИЯ СПЕКТРА В SDR-СИСТЕМАХ 135

МЕТОД КВАЗИОПТИМАЛЬНОГО СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА АДАПТИВНЫХ АЛГОРИТМОВ СИСТЕМ СИНХРОНИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ В УСЛОВИЯХ ВОЗМУЩЕНИЙ 152

СИСТЕМА ЛОКАЦИИ, ИСПОЛЬЗУЯЩАЯ WI-FI FINGERPRINT 175

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МАТЕРИАЛОВ АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ 3D-ПЕЧАТИ 188

ОСОБЕННОСТИ РАДИОТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕГО ПРОСТРАНСТВА ПРОСТРАНСТВЕННО РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ИНФОРМАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ 203

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ТРАЕКТОРИИ КА В АРХИТЕКТУРЕ КЛИЕНТ-СЕРВЕР 211

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК УСИЛИТЕЛЯ РАДИОЧАСТОТЫ НА БАЗЕ МИКРОСХЕМЫ BGA616 НА ЛАБОРАТОРНОМ СТЕНДЕ 216

РАЗРАБОТКА УСИЛИТЕЛЯ РАДИОЧАСТОТЫ НА БАЗЕ МИКРОСХЕМЫ ADL5535ARKZ-R7 222

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ПУЛЬСАРОВ В РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКИХ ДАННЫХ 232

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ИОНОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В ПЕРИОД ПОВЫШЕННОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ 242

ОБНАРУЖЕНИЕ СИГНАЛОВ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МЕТОДОВ 251

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ЯЧЕЙКИ ПИТАНИЯ В САПР SOLIDWORKS 257

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ НАВИГАЦИЯ СПУТНИКОВ ПРИ КРАТКОМ МАНЕВРЕ 264

ОЦЕНКА РАСХОДИМОСТИ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ТРАЕКТОРИЙ СПУТНИКОВ ПРИ КРАТКОМ МАНЕВРЕ 271

РАЗРАБОТКА КОМБИНИРОВАННОГО МЕТОДА ДИАГНОСТИКИ БЛОКОВ БОРТОВЫХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ НА ОСНОВЕ ВИБРОУДАРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ И ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ 279

ИДЕНТИФИКИЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В СВЧ ДИАПАЗОНЕ 286

ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ПО ВЫСОКОСКОРОСТНЫМ РАДИОКАНАЛАМ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЭКОНОМИЧНОГО ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО КОДИРОВАНИЯ 290

ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ СЖАТОГО ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО КАНАЛЬНОГО КОДИРОВАНИЯ ПЕРЕДАВАЕМОЙ ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗАМЕЩАЮЩИХ ТРОИЧНЫХ КОДОВ 301

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОСМИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ: ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ В УСЛОВИЯХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ 310

ПАРАМЕТРЫ АЛГОРИМТА ИМИТАЦИИ ОТЖИГА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ОТКАЗОВ В АНАЛОГОВЫХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВАХ 322

ГЛОНАСС В СИСТЕМЕ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ДТП С УЧАСТИЕМ ДВУХКОЛЕСНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ 327

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ ДВУХКОЛЕСНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ УСТРОЙСТВ ЭРА-ГЛОНАСС 334

ПРОБЛЕМЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ ТЕРМИНАЛОВ ЭРА-ГЛОНАСС ДЛЯ ДВУХКОЛЕСНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ 341

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАРАБОТКИ ДО ОТКАЗА ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ 350

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ КОСМИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ И СИСТЕМ 355

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ЗАЩИТЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА 364

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОДХОДОВ ОБРАТНОЙ РАЗРАБОТКИ (РЕВЕРС-ИНЖИНИРИНГА) К РЕШЕНИЮ ПРОСТЕЙШИХ ЗАДАЧ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ 372

СОЗДАНИЕ МАКЕТА ПРИЕМОПЕРЕДАЮЩЕГО КАНАЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ GNU RADIO и HACKRF ONE 384

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ИСКАЖЕНИЙ СВЧ СИГНАЛА ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ПО ОПТОВОЛОКНУ 395

МОБИЛЬНАЯ ГРУППИРОВКА БПЛА ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ СВЯЗИ 399

РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ПРИЕМОПЕРЕДАЧИ OFDM СИГНАЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ SDR 408

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ ДАННЫХ БОЛЬШОГО ОБЪЕМА 414

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПЕРЕДАЧИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПО ЦИФРОВОМУ КАНАЛУ С ПОМЕХАМИ 420

ИЗГОТОВЛЕНИЕ КРИВОЛИНЕЙНЫХ УЧАСТКОВ ВОЛНОВОДОВ ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ НА ТРУБОГИБОЧНОМ СТАНКЕ МЕТОДОМ НАМОТКИ 431

АЛГОРИТМ РАСПОЗНАВАНИЯ ЖЕСТОВ РУК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАДИОВОЛН 441

КИБЕРФИЗИЧЕСКАЯ СИМУЛЯЦИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЕЙ 447

ОПТИМИЗАЦИЯ АРХИТЕКТУРЫ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ 454

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ RFID В СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ 459

ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА БОРТУ МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА 464

МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ АТАК LATERAL MOVEMENT В СЕТЯХ УПРАВЛЕНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫМИ СИСТЕМАМИ В СОСТАВЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ 469

ИНТЕГРАЦИЯ СПУТНИКОВОГО И НАЗЕМНОГО СЕГМЕНТОВ В СЕТЯХ 5G и 6G 475

ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫЙ КАНАЛ СВЯЗИ С СИНФАЗНОЙ АНТЕННОЙ SDR-РЕШЕТКОЙ 481

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СИСТЕМАХ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ И ИХ ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ 494

МИКРОПОЛОСКОВЫЕ ФИЛЬТРЫ СИГНАЛОВ 501

АРХИТЕКТУРА И РЕАЛИЗАЦИЯ ВЕБ-ГИС ПЛАТФОРМЫ POSTGRESQL И GEOSERVER 506

О ВОЗМОЖНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ТЕХНОГЕННЫХ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ, БЛИЗКОМУ К РЕАЛЬНОМУ 512

РЕЗУЛЬТАТЫ ДЕШИФРИРОВАНИЯ ОПАСНЫХ ЛЕДОВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ В АКВАТОРИИ ОБСКОЙ И ТАЗОВСКОЙ ГУБ 523

МАТЕМАТИЧЕСКИ ТОЧНОЕ ВЫЧИСЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ СФЕРОИДИЧЕСКОЙ ТРАПЕЦИИ 530

АНАЛИЗ ИСТОЧНИКОВ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В ИНТЕРЕСАХ ДЕШИФРИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ЗАСТРОЙКИ 535

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАЩИТНОЙ ЭКРАНИРУЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ СРЕДСТВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ПРИ ИХ ПРИМЕНЕНИИ В УСЛОВИЯХ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА 542

ВЕБ-КАЛЬКУЛЯТОР ДЛЯ РАСЧЁТА РЫНОЧНОЙ СТОИМОСТИ ЗЕМЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ ИЖС В МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ: ПОДХОДЫ И РЕАЛИЗАЦИЯ 550

KERBEROS В ЗАЩИТЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ПЛАТФОРМ: УЯЗВИМОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ 557

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ SDR ДЛЯ КОНТРОЛЯ РАДИОСВЯЗИ В ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ 562

РОЛЬ ГИС В ПРОАКТИВНОМ МОНИТОРИНГЕ И ОЦЕНКЕ РИСКОВ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЛАНДШАФТНЫХ ПОЖАРОВ 567

АВТОНОМНАЯ НАВИГАЦИЯ ПО ЗВЕЗДАМ ДЛЯ МАРСОХОДОВ И ПЛАНЕТАРНЫХ ДРОНОВ 576

ТЕХНОЛОГИЯ ДЕШИФРИРОВАНИЯ И КАРТОГРАФИРОВАНИЯ РАЗЛИВОВ МАЗУТА В АКВАТОРИИ ЧЁРНОГО МОРЯ 583

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РИСКА ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ ВОДЫ В ОЗЕРЕ БАЙКАЛ 595

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ 604

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТИПОВ НАЗЕМНОГО ПОКРОВА В БАССЕЙНЕ РЕКИ ЭЛЬ-АСИ (ОРОНТ) В 2017–2024 ГОДАХ 612

АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ 619

СОЗДАНИЕ БЕЗЭХОВОЙ КАМЕРЫ ДЛЯ АКТИВНОЙ РАДИОСЕНСОРНОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ 625

ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА: ПРИМЕР КУРСА РТУ МИРЭА «СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДИКИ ВЕКТОРНОГО АНАЛИЗА ЦЕПЕЙ» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕКТОРНЫХ АНАЛИЗАТОРОВ ЦЕПЕЙ «ПЛАНАР» 634

ВОПРОСЫ ЗАЯВЛЕНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ В МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОЮЗ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ 642

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТУПНОСТИ АТМОСФЕРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ ВО ВСЕХ СЕЗОНАХ В ГОРНЫХ ЛАНДШАФТАХ 648

ВЛИЯНИЕ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ФАКТОРОВ КОСМИЧЕСКОЙ СРЕДЫ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ 655

ПЛАНИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ СИСТЕМ ПОСРЕДСТВОМ ИМИТАЦИОННЫХ VR СИМУЛЯТОРОВ 662

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЦИКЛ УПРАВЛЕНИЯ СТЕРЕОПАРОЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО НАБЛЮДЕНИЯ 668

КОНЦЕПЦИЯ СИСТЕМЫ НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ МОДУЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПЛАТФОРМ 675

ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ В ПОДГОТОВКЕ БУДУЩИХ ИНЖЕНЕРОВ И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ИХ РЕШЕНИЙ 681

СПОРТИВНЫЕ МЕТАФОРЫ В НЕМЕЦКОМ ЭКОНОМИЧЕСКОМ ДИСКУРСЕ 687

ПЕРЕДАЧА СЛОГАНОВ ПРИ ЛОКАЛИЗАЦИИ САЙТОВ МЕЖДУНАРОДНЫХ КОМПАНИЙ 691

ИНТЕГРАЦИЯ ЦИФРОВЫХ РЕСУРСОВ В КОМПЕТЕНТНОСТНЫЙ ПОДХОД ПРИ ОБУЧЕНИИ ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ СТУДЕНТОВ ИНЖЕНЕРНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ 694

ИНТЕГРАЦИЯ ИНТЕРАКТИВНОГО ГЛОССАРИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ТЕРМИНОЛОГИИ В ОБУЧЕНИЕ ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ В ВЫСШЕЙ ШКОЛЕ В УСЛОВИЯХ БРС 699

ЛИНГВИСТИЧЕСКАЯ ЛОГИСТИКА В ИНЖЕНЕРНОМ ОБРАЗОВАНИИ: ИНТЕГРАЦИЯ ЯЗЫКОВЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЕТЕНЦИЙ 704

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ КАК ЭЛЕМЕНТ СОВРЕМЕННОГО ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ 710

ЛИНГВИСТИЧЕСКИЕ СТАНДАРТЫ В ЭЛЕКТРОННОМ ДОКУМЕНТООБОРОТЕ (СЭД): УНИФИКАЦИЯ ТЕРМИНОЛОГИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕЖОТРАСЛЕВОЙ КОММУНИКАЦИИ 716

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ ЯЗЫКОВЫМИ РЕСУРСАМИ КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ: ОТ БАЗ ДАННЫХ ДО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ РЕШЕНИЙ 721

LINGUISTIC SUPPORT FOR DIGITAL EDUCATIONAL PLATFORMS IN ENGINEERING EDUCATION 726

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА (ИИ) В ЛИНГВИСТИЧЕСКОЙ ЛОГИСТИКЕ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ: ВОЗМОЖНОСТИ И РИСКИ 731

ЛИНГВОЛОГИСТИЧЕСКИЕ СТРАТЕГИИ ПРЕПОДАВАНИЯ РКИ В ТЕХНИЧЕСКОМ ОБРАЗОВАНИИ: ОПЫТ ПОДГОТОВКИ ЗАРУБЕЖНЫХ СТУДЕНТОВ ДЛЯ ОТРАСЛИ КОСМОСА 739

ФОРМИРОВАНИЕ КОММУНИКАТИВНОЙ КОМПЕТЕНЦИИ ИНЖЕНЕРОВ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ СРЕДЫ 744

МУЛЬТИМОДАЛЬНОСТЬ ЛИНГВИСТИЧЕСКОЙ ЛОГИСТИКИ В НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОМ ДИСКУРСЕ НА ПРИМЕРЕ СОЧЕТАНИЯ ВИЗУАЛЬНЫХ И ТЕКСТОВЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ 749

ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕДАЧИ КОМИЧЕСКОГО В АУДИОВИЗУАЛЬНОМ ПЕРЕВОДЕ 756

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ В КОСМИЧЕСКОЙ ИНДУСТРИИ: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ 761

ОТ УЧЕБНИКА К ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ КОММУНИКАЦИИ: ЧАТ-БОТ В ЛИНГВИСТИЧЕСКОЙ ЛОГИСТИКЕ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ 766

НЕКОТОРЫЕ ПРИЁМЫ ИМПЛИЦИТНОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ ВЕДЕНИИ ЯЗЫКОВОЙ ПОДГОТОВКИ В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ СФЕРЕ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ СРЕДСТВ ОБУЧЕНИЯ 773

ЦИФРОВОЕ БЫТИЕ ЗНАКА: ПРОЛЕГОМЕНЫ К СЕМИОТИЧЕСКОЙ ОНТОЛОГИИ 778

ТЕХНОЛОГИЯ РАБОТЫ С ТЕРМИНОСИСТЕМОЙ НА ОСНОВЕ АУТЕНТИЧНЫХ ПЕСЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА НЕМЕЦКОМ ЯЗЫКЕ СО СТУДЕНТАМИ МЛАДШИХ КУРСОВ ИНЖЕНЕРНЫХ ВУЗОВ 791

УПРАВЛЕНИЕ ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИМИ ПОТОКАМИ В НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОМ ДИСКУРСЕ 796

ЛИНГВОПРАГМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕКСТОВ ТУРИСТИЧЕСКОГО ДИСКУРСА 800

АНТРОПОЦЕНТРИЧНЫЙ ПОДХОД В ПРАКТИКЕ ОБУЧЕНИЯ РУССКОМУ ЯЗЫКУ КАК ИНОСТРАННОМУ СТУДЕНТОВ НЕФИЛОЛОГИЧЕСКИХ ВУЗОВ 806

УПРАВЛЕНИЕ ЯЗЫКОВЫМИ РЕСУРСАМИ В ОРГАНИЗАЦИЯХ 809

ЛИНГВИСТИЧЕСКАЯ ЛОГИСТИКА СОЦИАЛЬНОГО ДИСКУРСА В ПЕРУ XVI–XVIII ВВ (НА МАТЕРИАЛЕ ПРОЦЕССОВ ПО ИСКОРЕНЕНИЮ ИДОЛОПОКЛОНСТВА) 815

УЧЕБНО-НАУЧНЫЙ ДИСКУСРС В ОБУЧЕНИИ ИНОСТРАННЫХ СТУДЕНТОВ РУССКОМУ ЯЗЫКУ КАК СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНО-КОММУНИКАТИВНОЙ КОМПЕТЕНЦИИ 819

ОБУЧЕНИЕ ОСНОВАМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕРМИНОЛОГИЕЙ НА ЗАНЯТИЯХ ПО ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ В СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОМ ВУЗЕ 825

ФАКТОР ИНИЦИАЛЬНОСТИ В ФОРМИРОВАНИИ ТЕРМИНОСИСТЕМЫ ДИСКУРСА .. 831

ПЕРЕДАЧА ПСЕВДОНАУЧНЫХ ТЕРМИНОВ ВСЕЛЕННОЙ ВИДЕОИГРЫ КАК ЗАДАЧА ПЕРЕВОДА 836

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПЕРЕВОДА СПЕЦИАЛЬНЫХ ТЕКСТОВ НА ПРИМЕРЕ ЛИНГВИСТИЧЕСКОЙ ЛОГИСТИКИ ДОКУМЕНТАЦИИ ПО ПРОГРАММИРОВАНИЮ... 840

АНАЛИЗ ПРЕДСТАВЛЕННОСТИ ИНФОРМАЦИИ ОБ АРКТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЯХ СВЯЗИ И УПРАВЛЕНИЯ НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ..... 847

МОДЕЛИРОВАНИЕ И СИМУЛЯЦИЯ В АСПЕКТЕ КРОСС-ДИСЦИПЛИНАРНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕРМИНОЛОГИИ..... 853

ЛОКАЛИЗАЦИЯ И ПЕРЕВОД ИНОЯЗЫЧНОГО САЙТА ВУЗА (НА ПРИМЕРЕ САЙТОВ КИТАЙСКОЙ ВЕРСИИ МГУ И СПБГУ) 862

ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА В СИСТЕМЕ НЕПРЕРЫВНОГО ОБРАЗОВАНИЯ..... 867

МАРШРУТИЗАЦИЯ ПЕДАГОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРИ ОБУЧЕНИИ ЯЗЫКУ ДОКУМЕНТАЦИИ ИНОСТРАННЫХ СТУДЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ВУЗА..... 874

ЧТО ТАКОЕ ЦИФРОВАЯ ГРАМОТНОСТЬ И ЗАЧЕМ ОНА ИНЖЕНЕРАМ..... 879

СРАВНЕНИЕ ПУБЛИЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ДОСТИЖЕНИЙ В ОБЛАСТИ КОСМОНАВТИКИ ПРЕССОЙ РФ И ДРУГИХ СТРАН 884

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ПАРАДИГМА ЛИНГВИСТИЧЕСКОЙ ЛОГИСТИКИ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ДИСКУРСА 890

PHONETIC ASPECT OF LINGUISTIC LOGISTICS OF SCIENTIFIC AND TECHNICAL DISCOURSE 900

ЛИНГВИСТИЧЕСКАЯ ЛОГИСТИКА В ЮРИДИЧЕСКОМ ПЕРЕВОДЕ НА ПРИМЕРЕ ПАТЕНТНОЙ ТЕРМИНОЛОГИИ АНГЛО-АМЕРИКАНСКОГО И РОССИЙСКОГО ПРАВА 906

УДК 623.746:004.896

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ БПЛА В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

А.Н. Белов[1]
[1]МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
andrey2000belov@bk.ru

Аннотация

Современное сельское хозяйство переживает цифровую трансформацию, в которой ключевую роль играют беспилотные летательные аппараты (БПЛА) и технологии искусственного интеллекта (ИИ). В данной статье представлен комплексный анализ применения БПЛА в агропромышленном секторе, включая их преимущества, ограничения и перспективные направления развития. Основное внимание уделено возможностям БПЛА, оснащенных мультиспектральными, гиперспектральными и тепловыми камерами, которые позволяют получать детальные данные о состоянии посевов с высокой точностью. В отличие от традиционных методов мониторинга, БПЛА обеспечивают оперативное обследование полей, выявление болезней растений, оценку влажности почвы и уровня азота, а также прогнозирование урожайности. Однако их широкое внедрение сдерживается ограниченным временем полета, зависимостью от погодных условий и необходимостью ручного управления. Особый акцент сделан на использовании групп БПЛА (роев), которые способны значительно ускорить процесс мониторинга больших площадей за счет параллельного выполнения задач. Рассмотрены современные методы управления роями, включая алгоритмы распределения задач, машинное обучение и обучение с подкреплением. Приведены примеры исследований, в которых ИИ-алгоритмы используются для автоматического планирования маршрутов, оптимизации энергопотребления и предотвращения столкновений. Также обсуждаются ключевые проблемы, такие как нехватка размеченных данных для обучения моделей, необходимость повышения точности алгоритмов и интеграции данных из различных источников. Подчеркивается важность развития автономных систем, способных адаптироваться к изменяющимся условиям сельскохозяйственной среды. В статье отмечено, что дальнейшее развитие технологий БПЛА и ИИ требует комплексного подхода, включающего усовершенствование аппаратного обеспечения, разработку надежного программного управления и тесное взаимодействие между разработчиками и аграрным сектором. Внедрение этих технологий открывает новые возможности для повышения эффективности сельского хозяйства, снижения затрат и минимизации экологического воздействия.

Ключевые слова

Беспилотные летательные аппараты, искусственный интеллект, точное земледелие, роевое управление, машинное обучение, мониторинг сельскохозяйственных угодий.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Сельское хозяйство стоит на пороге цифровой революции: новые технологии, такие как беспилотные летательные аппараты (БПЛА) и искусственный интеллект (ИИ), кардинально меняют подходы к мониторингу полей, управлению ресурсами и повышению урожайности.

Традиционные методы агромониторинга, основанные на визуальном осмотре и выборочных замерах, часто оказываются трудоемкими, дорогими и недостаточно точными. В то же время спутниковые данные, несмотря на глобальный охват, могут иметь низкое разрешение и зависеть от погодных условий.

БПЛА, оснащённые мультиспектральными, гиперспектральными и тепловыми камерами, позволяют получать детальные данные в реальном времени с точностью до сантиметра. А применение ИИ-алгоритмов (компьютерное зрение, машинное обучение) дает возможность:

- автоматически выявлять болезни, вредителей и сорняки,
- оценивать влажность почвы и уровень азота,
- прогнозировать урожайность на ранних стадиях,
- оптимизировать орошение и внесение удобрений.

Внедрение этих технологий ведёт к снижению затрат, увеличению продуктивности и минимизации экологического вреда за счет точечного применения агрохимикатов.

В данной статье будут рассмотрены наиболее перспективные методы и алгоритмы управления использования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в сельском хозяйстве, а также приложение искусственного интеллекта (ИИ) в качестве инструмента управления БПЛА.

Анализ методов управления БПЛА

Беспилотные летательные аппараты особенно полезны в умном сельском хозяйстве. Они отличаются низкой стоимостью, оснащены RGB-камерами, обладают высокой маневренностью и могут управляться с минимальным обучением или программно [1]. Благодаря своей конструкции БПЛА могут оперативно перемещаться между зонами интереса во время миссии, а их компактные размеры позволяют летать на малой высоте над посевами, получая изображения высокого разрешения. Это дает возможность выявлять важные особенности состояния растений, которые не могут обнаружить спутники или пилотируемые самолеты. БПЛА также можно оснащать различными датчиками, камерами и исполнительными механизмами для диагностики и обработки проблем растений в реальном времени [2].

БПЛА постепенно становятся ключевым элементом умного сельского хозяйства, сочетая гибкость, точность и автоматизацию для повышения эффективности агропроизводства.

Несмотря на свои преимущества, БПЛА сталкиваются с серьезными препятствиями для массового внедрения. Основные ограничения связаны с емкостью аккумуляторов: соотношение тяги к мощности и вес батарей ограничивают максимальное время полета большинства БПЛА 40 минутами [3]. Для многих задач этого достаточно, но в сельском хозяйстве возникают существенные сложности:

- Большие площади полей (часто >100 акров) требуют от БПЛА преодоления значительных расстояний от точки взлета для полного покрытия территории.
- Задачи мониторинга (диагностика болезней, оценка урожайности, фенотипирование) требуют изображений с высоким разрешением, что предполагает полеты на малой высоте и увеличивает продолжительность миссий.

Эти факторы делают особенно привлекательным использование групп БПЛА (роев), способных выполнять задачи параллельно. В качестве преимуществ роев БПЛА можно выделить:

- Параллельный сбор данных сокращает время обследования больших площадей.
- Возможность оптимизации энергопотребления за счет распределения вычислительных задач между edge-устройствами и облачными сервисами [4].

Однако использование роев также требует решения ключевых проблем:

- Ограниченное время работы отдельных БПЛА из-за емкости батарей.
- Необходимость эффективного управления энергией, включая выгрузку ресурсоемких задач (например, обработки изображений/видео) на периферийные или облачные вычисления.

Таким образом, роевое управление БПЛА предлагает инновационный подход к преодолению ограничений одиночных дронов, но успешное применение требует дальнейшего развития технологий энергосбережения и распределения вычислений [5].

Однако стоит отметить критические ограничения современных роевых систем: зависимость от ручного управления, необходимость ручного планирования миссий и корректировки маршрутов, невозможность полностью автономно принимать решения и выполнение задач [6].

Статья [7] представляет собой обзор современных технологий искусственного интеллекта и беспилотных летательных аппаратов для точного земледелия. Основное внимание уделяется системам восприятия на основе ИИ, которые используются для анализа данных, собираемых БПЛА, с целью повышения урожайности, снижения затрат и минимизации экологического воздействия. В качестве одной из главных проблем является нехватка размеченных данных, необходимость повышения точности и скорости алгоритмов, интеграция данных из разных источников. Также отмечены основные перспективные

направления развития, такие как: развитие автономных систем, улучшение алгоритмов ИИ, создание эталонных наборов данных и более тесное взаимодействие между разработчиками и аграрным сектором.

В [8] была рассмотрена аппаратная конфигурация БПЛА для сельскохозяйственного использования (т.е. типы платформ, компоненты/датчики и средства связи), а также перспективы и задачи, решаемые БПЛА в сельском хозяйстве. Наиболее важным аспектом в управлении этой техники является комбинация алгоритмов, необходимых для поддержания постоянных расстояний между БПЛА. Для этого требуются линейные и нелинейные системы управления, способные противостоять сильным внешним воздействиям. Это улучшит точность сельскохозяйственных операций, сократит время работы, уменьшит усилия оператора по контролю и решит проблемы с батареями и полезной нагрузкой. Эти вопросы и планирование маршрутов требуют дальнейшей разработки.

С помощью роевого управления каждому БПЛА назначается маршрут. Разделение задач и путей называется «распределением задач». Технология распределения задач в настоящее время используется для картографирования сельскохозяйственных угодий

В [9] была разработана система с ИИ на основе обучения с подкреплением, способной рассчитывать оптимальный маршрут полета для роя БПЛА. Этот метод выделяется своей способностью обучаться методом проб и ошибок, позволяя модели адаптироваться. Цель этих маршрутов — обеспечить полное покрытие области облетов, независимо от размера карты и количества БПЛА в роевом составе. Не требуется устанавливать цели или иметь какие-либо предварительные знания, кроме предоставленной карты. Для повышения возможностей этих методов принятие решений осуществляется с помощью полностью связанных искусственных нейронных сетей (ИНС). Использование одной глобальной ИНС для всех БПЛА позволяет находить больше решений за меньшее время. Поиск моделей, которые быстро находят решения, делает систему более универсальной для различных систем. Таким образом, пользователям будет удобнее использовать эту систему, так как не придется тратить деньги на дорогие решения. Обычно сэкономленные средства могут быть вложены в улучшение характеристик БПЛА, таких как время работы от батареи.

В [10] предложили масштабируемый задачно-ориентированный подход к управлению роем роботов, который позволяет решать задачи роевого управления без использования моделей, оставаясь применимым на практике благодаря применению глубокого обучения с подкреплением, mean-field control (MFC) и алгоритмов избегания столкновений.

Предложенный метод является иерархическим, что позволяет использовать любые современные методы обучения с подкреплением и избегания столкновений. Одним из плюсов данной работы является шаг к созданию универсальных инструментов управления роботизированными роями, которые остаются активной областью исследований.

Были частично преодолены ограничения mean-field теории для воплощенных агентов, интегрировав избегание столкновений в систему. Однако для случаев с редкими взаимодействиями (например, в задачах связи между БПЛА, где взаимодействие сильно зависит от соседей) могут потребоваться дальнейшие исследования — например, за счёт учёта графовой структуры.

Выводы

Применение БПЛА в сельском хозяйстве представляет собой долгосрочный проект, поскольку беспилотные аппараты потенциально могут быть задействованы во всех аспектах работы автономных ферм. Однако большинство современных БПЛА разработаны для полётов в оптимальных условиях и зачастую не способны эффективно противостоять типичным для сельского хозяйства вызовам, таким как: изменчивые погодные условия, физические воздействия и электромагнитные помехи. В качестве ключевых проблем можно выделить недостаточную надежность программного обеспечения и ограниченную адаптивность оборудования. Решить данные проблемы способна комплексная разработка системы

управления БПЛА начиная от разработки беспилотника, заканчивая разработкой программы управления.

Список литературы

1. *A. Feng, J. Zhou, E. Vories, and K. A. Sudduth*, "Evaluation of cotton emergence using uav-based narrow-band spectral imagery with customized image alignment and stitching algorithms," Remote Sensing, том 12, № 11, стр. 1764, 2020.
2. *V. Saiz-Rubio, F. Rovira-M´as*, "From smart farming towards agriculture 5.0: A review on crop data management," Agronomy, том. 10, № 2, стр. 207, 2020.
3. *Xin Zhou и др.*, Swarm of micro flying robots in the wild.Sci. Robot.7,eabm 5954(2022).DOI:10.1126/scirobotics.abm5954
4. *H. Trinh, D. Chemodanov, S. Yao, Q. Lei, B. Zhang, F. Gao, P. Calyam, and K. Palaniappan*, "Energy-aware mobile edge computing for low latency visual data processing," в 2017 IEEE 5th International Conference on Future Internet of Things and Cloud (FiCloud). IEEE, 2017, pp. 128–133.
5. *Qu,C.; Boubin, J.; Gafurov, D.; Zhou, J. и др*. UAV Swarms in Smart Agriculture: Experiences and Opportunities. 18-ая Международная конференция по e-Science , Солт-Лейк-Сити США, 11–14 октября 2022.
6. *Rui Ming, Rui Jiang, Haibo Luo, Taotao Lai и др*. Comparative Analysis of Different UAV Swarm Control Methods on Unmanned Farms. Agronomy 2023, том 13(10), стр. 2499; https://doi.org/10.3390/agronomy13102499
7. *Su J., Zhu X., Li S., Chen W.*-H. AI meets UAVs: A survey on AI empowered UAV perception systems for precision agriculture. Neurocomputing. 2023. Vol. 518, pp. 242–270. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neucom.2022.11.020
8. *Kim J., Kim S., Ju C., Son H.* Unmanned aerial vehicles in agriculture: A review of perspective of platform, control, and applications. IEEE Access. 2019. Vol. 7, pp. 105100–105115. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2932119
9. *Puente-Castro, A.; Rivero, D.; Pazos, A.; Fernandez-Blanco, E.* UAV swarm path planning with reinforcement learning for fieldprospecting. Appl. Intell. 2022,52, 14101–1411
10. *Thomas Hickling, Maxwell Hogan, Abdulla Tammam, and Nabil Aouf*. Deep Reinforcement Learning based Autonomous Decision-Making for Cooperative UAVs: A Search and Rescue Real World Application. DOI:10.48550/arXiv.2502.20326

ANALYSIS OF PROMISING METHODS FOR UAV CONTROL IN AGRICULTURE

A.N.Belov[1]
[1]MIREA - Russian Technological University (Moscow, Russia)
andrey2000belov@bk.ru

Abstract

Modern agriculture is undergoing a digital transformation, where unmanned aerial vehicles (UAVs) and artificial intelligence (AI) technologies play a key role. This article provides a comprehensive analysis of UAV applications in the agricultural sector, including their advantages, limitations, and promising development directions. The main focus is on the capabilities of UAVs equipped with multispectral, hyperspectral, and thermal cameras, which enable detailed and high-precision data collection on crop conditions. Unlike traditional monitoring methods, UAVs facilitate rapid field surveys, detection of plant diseases, assessment of soil moisture and nitrogen levels, and yield prediction. However, their widespread adoption is hindered by limited flight time, dependence on weather conditions, and the need for manual control. Special emphasis is placed on the use of UAV swarms, which can significantly accelerate the monitoring of large areas through parallel task execution. The article reviews modern swarm control methods, including task allocation algorithms, machine learning, and reinforcement learning. Examples of research are provided where AI algorithms are used for autonomous route planning, energy consumption optimization, and collision avoidance. Key challenges are also discussed, such as the lack of labeled data for model training, the need to improve algorithm accuracy, and the integration of data from diverse sources. The importance of developing autonomous systems capable of adapting to the dynamic conditions of agricultural environments is highlighted. The article notes that further advancements in UAV and AI technologies require a holistic approach, encompassing hardware improvements, reliable software development, and close collaboration between developers and the agricultural sector. The implementation of these technologies opens new opportunities for enhancing agricultural efficiency, reducing costs, and minimizing environmental impact.

Keywords

Unmanned aerial vehicles (UAVs), artificial intelligence (AI), precision agriculture, swarm control, machine learning, agricultural monitoring.

УДК 621.396.6, 621.396.96, 621.317.7

ТЕСТИРОВАНИЕ ДАЛЬНОСТИ ДЕЙСТВИЯ РАДИОКАНАЛА СИСТЕМЫ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Елесин В.В.[1], Бондарь А.А.[2]
[1–2] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] vladimiroff927@mail.ru, [2] bondar_a@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Беспроводные локальные системы передачи данных, например, с использованием модулей nRF24, широко применяются в IoT, телеметрии и автоматизации. Однако реальная дальности действия радиоканала часто отличается от теоретических расчетов из-за влияния внешних факторов, таких как помехи, затухание сигнала и т. д. Важно понимать, как различные условия эксплуатации влияют на эффективность связи.

Цель. Проведение сравнительного анализа теоретической и практической дальности действия радиоканала системы беспроводной передачи данных между двумя модулями nRF24 с использованием встроенной малогабаритной печатной антенны и внешней штыревой антенны.

Результаты. Установлено, что практическая дальность передачи данных ниже расчетной из-за потерь в среде, влияния препятствий и внешних помех. Использование штыревой антенны увеличило дальность связи, однако разница между теоретическим и экспериментальным значениями осталась значительной.

Практическая значимость. Результаты исследования помогают лучше прогнозировать рабочую дальность действия беспроводных систем в реальных условиях, учитывать влияние внешних факторов при проектировании устройств. Это особенно важно для разработчиков IoT-решений, где надежность связи критична.

Ключевые слова

Беспроводная локальная сеть, nRF24, Arduino, длина радиоканала, расчет дальности действия.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Современные беспроводные технологии передачи данных играют ключевую роль в различных областях, включая Интернет вещей (IoT), промышленную автоматизацию, телеметрию и системы дистанционного управления. Одним из популярных решений для организации недорогой и быстрой системы радиосвязи являются модули nRF24L01 (или nRF24L01+PA+LNA), работающие на частоте 2,4 ГГц. Однако при расчете теоретической длины радиоканала для проектирования таких систем важно реальные факторы, которые могут существенно снижать эффективность передачи данных.

Основным инструментом для оценки максимальной дальности действия радиоканала беспроводной связи является формула Фрииса, которая описывает затухание сигнала в свободном пространстве. Однако на практике на распространение радиоволн влияют множество факторов, включая потери в среде, препятствия и помехи. В результате реальная дальность часто оказывается значительно ниже расчетной.

Целью данной работы является экспериментальное исследование дальности передачи данных между двумя модулями nRF24 с использованием встроенной малогабаритной печатной антенны и внешней штыревой антенны, а также сравнение полученных результатов с теоретическими расчетами по формуле Фрииса. В ходе исследования анализируются причины расхождений между теорией и практикой, включая влияние различных видов потерь.

Теоретический расчет максимальной дальности действия радиоканала

Теоретический расчет максимальной дальности действия радиоканала для радио модулей NRF24L01 и NRF24L01+PA+LNA (тот же радио модуль, но с наличием штыревой антенны, малошумящего усилителя и усилителя мощности)

Для расчета необходимы следующие параметры:

– P_{rx}– мощность на входе приемника (в dBm)

- P_{tx}– мощность передатчика (в dBm)
- K_{tx} и K_{rx} – коэффициенты усиления антенн передатчика и приемника (в dBi) (в данном случае они равны, так как антенна у передатчика и приемника одна)
- L_d– потери на трассе распространения сигнала (в dB)
- L_o– дополнительные потери (из-за препятствий, затухания в кабелях и т. д.)
- f – частота сигнала (в Гц)

В общем виде формула Фрииса:

$$P_{rx} = P_{tx} + K_{tx} + K_{rx} - L_d - L_o, \quad (1)$$

где

$$L_d = 20 \times Log_{10}(d) + 20 \times Log_{10}(f) + 20 \times Log_{10}\left(\frac{4\pi}{c}\right), \quad (2)$$

d– расстояние между передатчиком и приемником (в метрах),
c – скорость света ($3 * 10^8$м/с).

Далее необходимо проводить расчет отдельно для разных версий модуля

Таблица 1. Сравнение параметров радио модулей

Параметр	nRF24L01 (базовый)	nRF24L01+PA+LNA
P_{rx}	-82 dBm	-95 dBm
P_{tx}	0 dBm	20 dBm
K_{tx}и K_{rx}	0 dBi	2 dBi
f	2400 МГц	2400 МГц

Сначала проведем расчет для базового модуля nRF24L01.

Подставим известные значения в формулу (2):

$$L_d = 20 \times Log_{10}(d) + 67{,}6 + 32{,}44. \quad (3)$$

Возьмем L_o = 0 (идеальные условия – полное отсутствие потерь), тогда:

$$L_d = 82$$

Подставим в формулу (3), получаем:

$$d = 0{,}125 \text{ км} = 125 \text{ м}$$

Для nRF24L01+PA+LNA:

$$L_d = 119$$

$$d = 8{,}87 \text{ км} = 8870 \text{ м}$$

Эти результаты можно так же продемонстрировать в графическом представлении в виде логарифмической зависимости

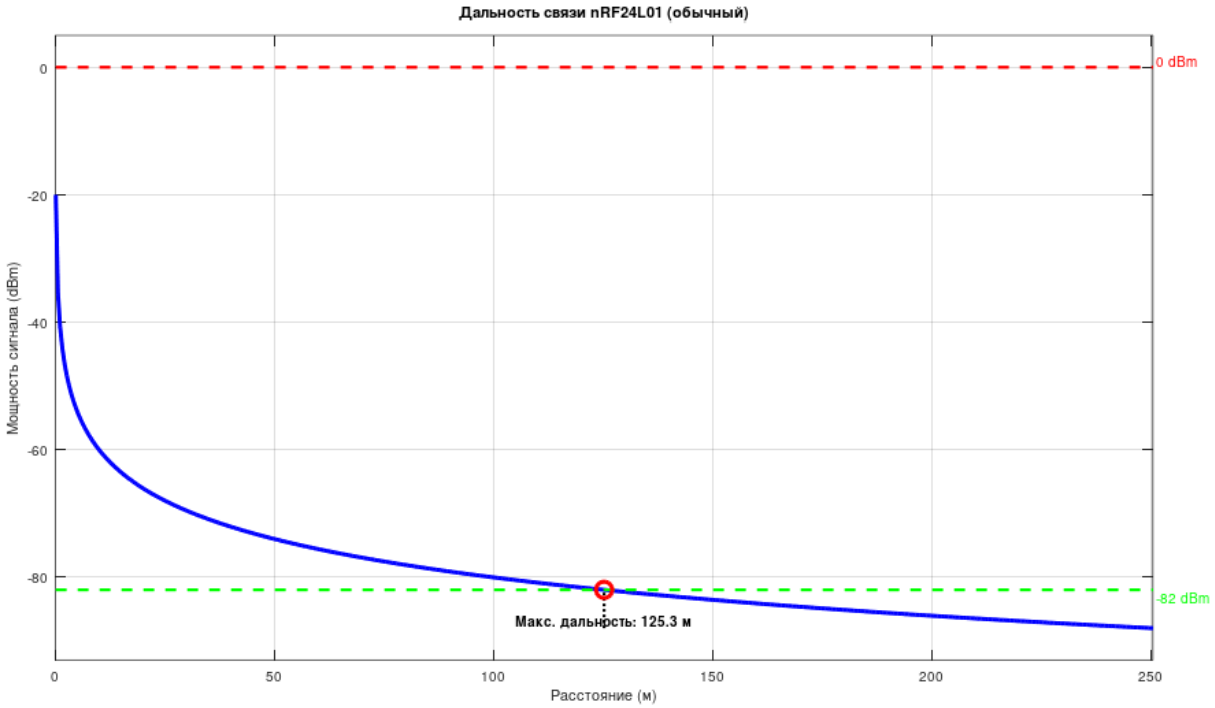


Рис. 1. График максимальной дальности действия радиоканала для nRF24L01
Fig. 1. Graph of maximum radio channel length for nRF24L01

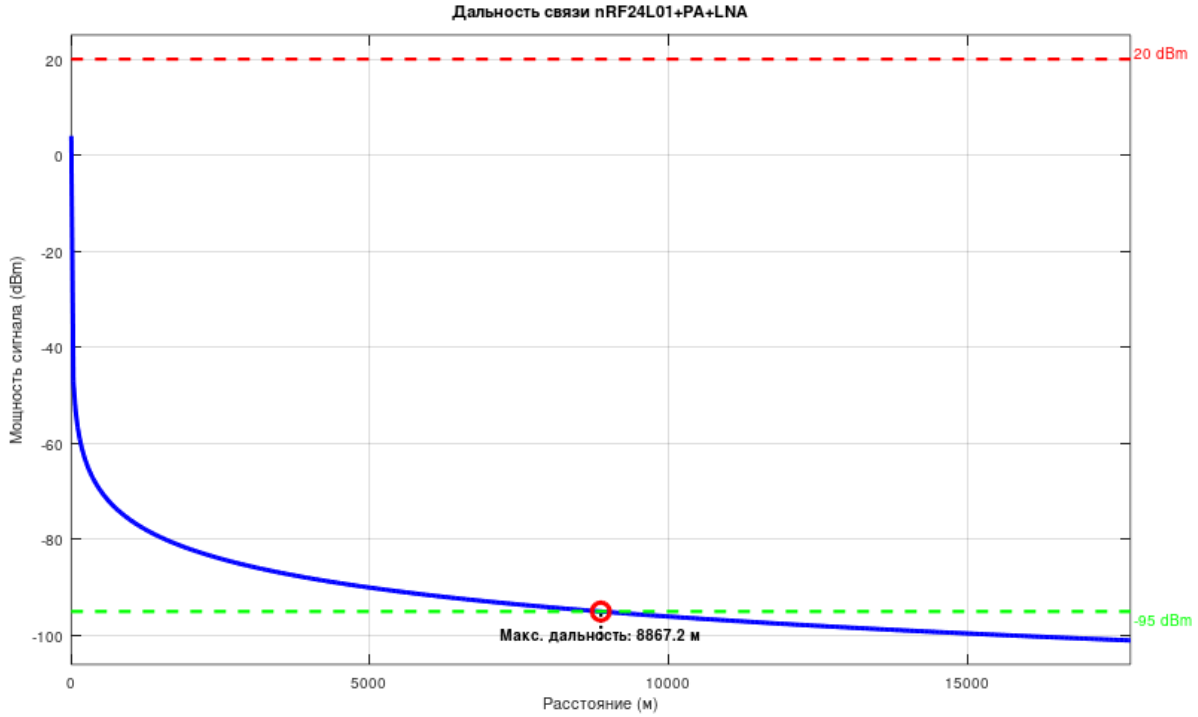


Рис.2. График максимальной дальности действия радиоканала для nRF24L01+PA+LNA
Fig. 2. Graph of maximum radio channel length for nRF24L01+PA+LNA

По оси ординат мощность сигнала в dBm, по оси абсцисс расстояние в метрах. Сигнал ослабевает логарифмически по мере увеличения расстояния, и максимальной дальностью передачи без потерь будет значение, снятое на чувствительности приемника.

Так же для наглядности их можно продемонстрировать в виде линейной зависимости.

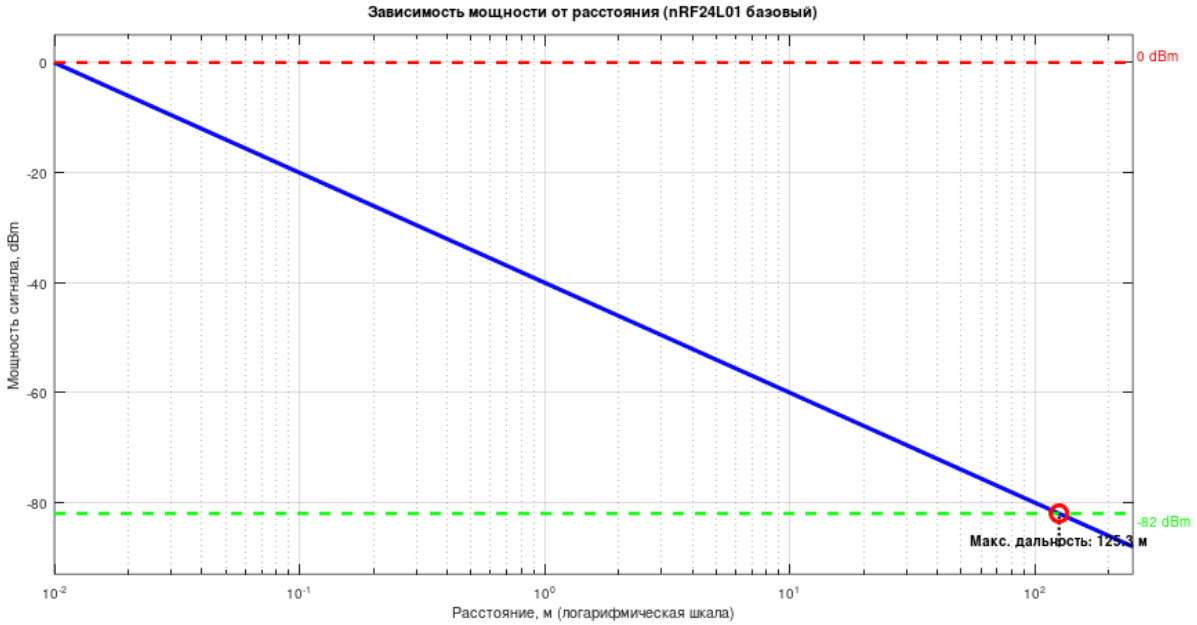


Рис. 3. График линейный для nRF24L01
Fig. 3. The graph is linear for nRF24L01

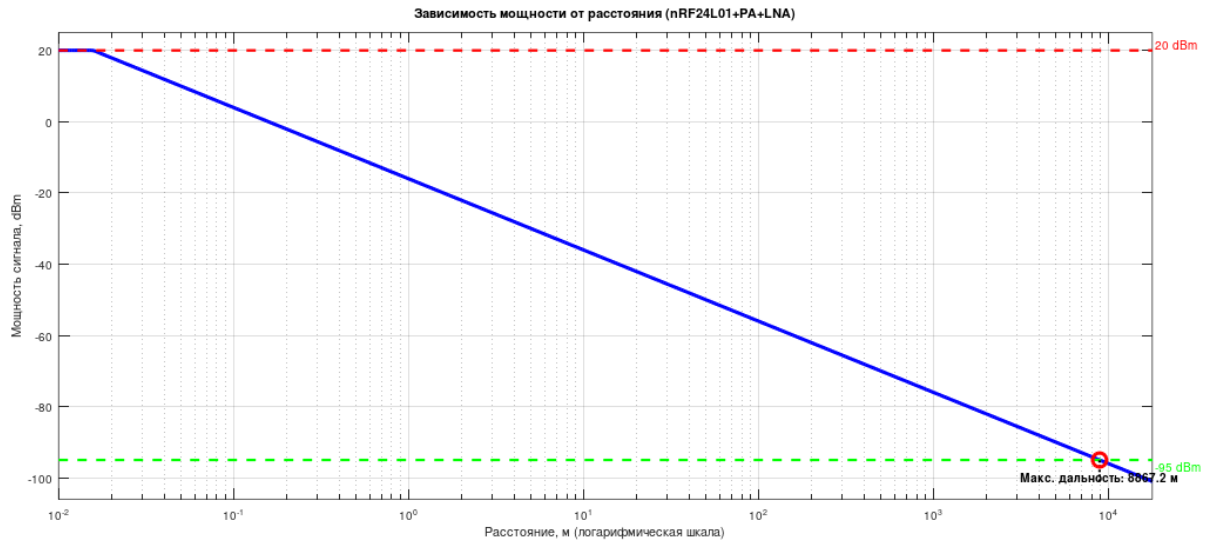


Рис. 4. График линейный для nRF24L01+PA+LNA
Fig. 4. The graph is linear for nRF24L01+PA+LNA

Таким образом теоретическая максимальная дальности действия радиоканала составляет 125 м для базового модуля и 8870 м для модуля с наличием штыревой антенны и усилителей.

Практические значения тестирования

Практический результат же оказался намного меньше, так как в теоретическом расчете не учитывались многочисленные помехи.

Практической тестирование проводилось в двух условиях:

- В помещении (здание университета с перегородками и мебелью).
- На открытой местности (парк в городе, с большим количеством помех).

Дальность передачи измерялась с шагом 10 метров до момента потери связи.

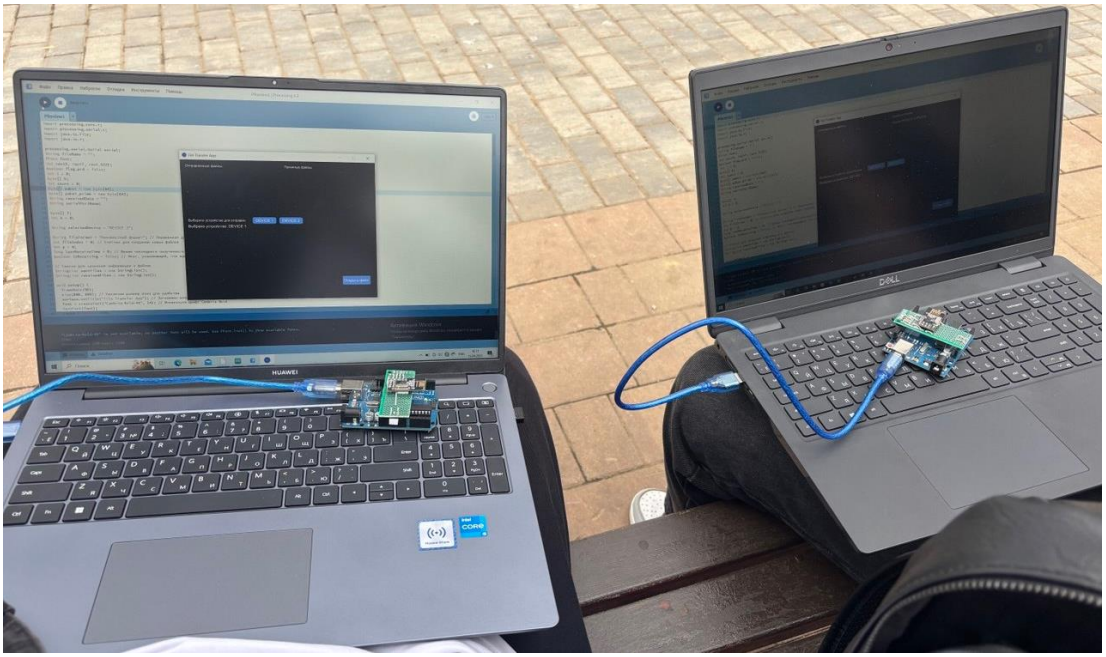


Рис. 5. Фотография с практического тестирования nRF24L01
Fig. 5. Photo from practical testing nRF24L01

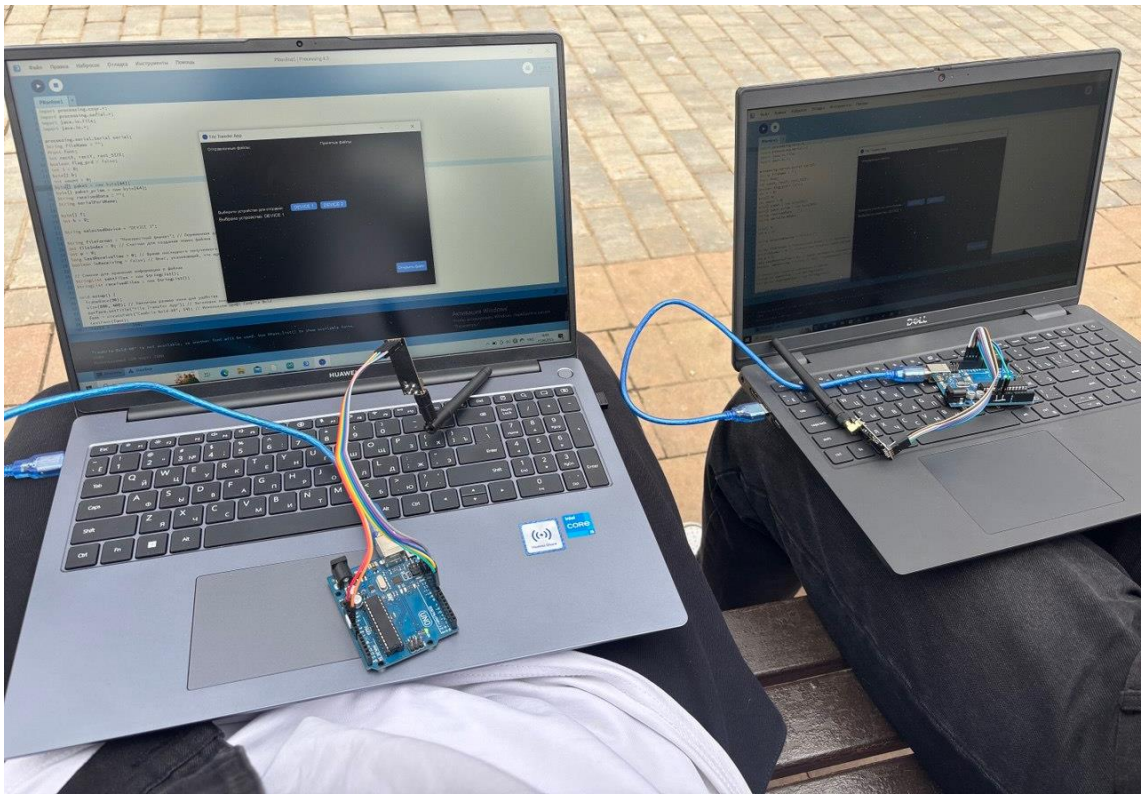


Рис. 6. Фотография с практического тестирования nRF24L01+PA+LNA
Fig. 6. Photo from practical testing nRF24L01+PA+LNA

Таблица 2. Тестирование дальности

Условия	**Максимальная дальность (метры) NRF24L01**		**Максимальная дальность (метры) NRF24L01+PA+LNA**	
	Теоретическая	Практическая	Теоретическая	Практическая
В помещении	-	20 м	-	70 м
На открытой местности	125 м	60 м	8870 м	900 м

Результаты тестирования представлены в таблице, из них видна большая разница между теоретическими и практическими результатами.

Причина в параметре L_o – дополнительные потери (из-за препятствий, затухания в кабелях и т. д.). В расчете он был принят равным 0, однако в реальных условиях он оказывает значительное воздействие на результаты тестирования.

Факторы, влияющие на потери

Вот примерное значение потерь от различных факторов. Все эти значения были получены из статей, ссылки на которые есть в списке использованной литературы.

1. Потери в помещении (стены, мебель, люди)

Таблица 3. Потери в помещении

Препятствие	Доп. потери (dB)	Примеры
Гипсокартон / тонкая стена	2–5 dB	Офисные перегородки
Кирпичная стена	5–10 dB	Жилые дома
Бетонная стена	10–20 dB	Толстые стены, подвалы
Окно (без металла)	3–6 dB	Обычные стеклопакеты
Металлическая дверь	10–15 dB	Лифты, склады
Люди в помещении	0.5–2 dB/чел	Толпа может экранировать сигнал

Если между передатчиком и приёмником 2 бетонные стены (по 15 dB каждая), то:

$$L_o = 30\text{dB}$$

Это сократит дальность в 10–30 раз (т.к. каждые 3 dB ≈ 50% потери мощности).

2. Потери на улице (деревья, дождь, туман)

Таблица 4. Потери на улице

Фактор	Доп. потери (dB)	Примечания
Листва деревьев	3–10 dB	Зависит от густоты
Дождь (умеренный)	0.1–0.5 dB/км	На 2.4 ГГц почти не влияет
Туман / снег	0.5–2 dB/км	Сильный снегопад может ухудшить сигнал
Отражения от зданий	3–10 dB	Многолучевое распространение в городе

Если сигнал проходит через густую листву (10 dB) и дождь (1 dB/км), то на 1 км:

$$L_o = 11\ dB$$

3. Потери от Wi-Fi и других устройств (2.4 ГГц)

Таблица 5. Потери из-за других устройств

Источник помех	Доп. потери (dB)	Описание
Wi-Fi роутер (близко)	5–15 dB	Если рядом работают на том же канале
Bluetooth-устройства	3–10 dB	Наушники, мыши, клавиатуры
Микроволновые печи	10–20 dB	Кратковременные, но сильные скачки
Другие nRF24L01	3–8 dB	Если много устройств в одном месте

Например, если в зоне действия 3 Wi-Fi сети (по 5 dB каждая):

$$L_o = 15\text{dB}$$

Рассмотрим приблизительные потери в условиях, где проходило тестирование системы:
Квартира (много стен и Wi-Fi)

−2 бетонные стены: 15 + 15 = 30 dB

−Помехи от Wi-Fi: 10 dB

– Люди/мебель: 5 dB

Итого:

$$L_o = 45\text{dB}$$

Дальность: ~10–50 м (вместо 1 км).

Улица (деревья, дождь)

- Листва: 10 dB
- Дождь (на 1 км): 1 dB

Помехи от Wi-Fi (кафе рядом): 5 dB

Итого:

$$L_o = 16\text{dB}$$

Таким образом, большое количество факторов, влияющих на потери, сильно уменьшает максимальную дальности действия радиоканала. В помещении максимальная дальность базового модуля передачи составила 20 метров, а модуля со штыревой антенной и усилителем 70 метров, что обусловлено наличием препятствий (стены, мебель) и большим количеством помех (мобильные сети и т. д.), которые ослабляют сигнал. На открытой местности в городе дальность передачи базового модуля увеличилась до 60 метров, а модуля со штыревой антенной и усилителем 900 метров.

Заключение

Сравнение экспериментальных данных максимальной дальности действия радиоканала с теоретическими расчетами по формуле Фрииса показало значительное расхождение, обусловленное влиянием различных факторов.

Ключевые выводы работы:

Теоретическая и практическая дальности действия радиоканала существенно различается. Формула Фрииса, при использовании без учёта потерь, дает завышенные значения по сравнению с экспериментальными результатами.

Использование штыревой антенны увеличивает дальность связи, однако с ней реальная дистанция оказалась ниже расчетной так же, как и в случае без использования штыревой антенны.

Основные факторы, снижающие эффективность передачи:

Затухание сигнала в среде (влажность, препятствия, многолучевое распространение);

Помехи и шумы (другие устройства в диапазоне 2,4 ГГц, промышленные помехи);

Ограничения схемы модуля (чувствительность приемника, выходная мощность передатчика).

Дальнейшие исследования могут быть направлены на изучение влияния конкретных типов препятствий (стены, деревья) и методов компенсации потерь (усиление сигнала, алгоритмы помехоустойчивости).

Таким образом, работа подтверждает важность комплексного подхода к оценке дальности действия беспроводной связи, учитывающего как теоретические модели, так и практические ограничения. Полученные результаты могут быть полезны при разработке надежных систем передачи данных для IoT, телеметрии и автоматизированных устройств.

Список источников

1. *Бондарь А.А. Елесин В.В.* Локальная сеть для обмена данными // 2024 // сборник трудов конференции «Радиоинфоком-2024».
2. *George, R., Mary, T. A. J.,* Review on directional antenna for wireless sensor network applications // IET Communications. 2020. Vol 14(5), 715-722.
3. *Меньшиков С.В., Ващук Е.С.* Осуществление программирования на платформе arduino: способы и возможности использования платы arduino uno // 2022 // Издательство: Филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева" в г. Прокопьевске (Прокопьевск)

4. *Sandra Sendra, Miguel Garcia-Pineda, Carlos Turro,* Jaime Lloret WLAN IEEE 802.11 a/b/g/n indoor coverage and interference performance study
5. *A. Kamerman, L.* Monteban Empirical Study of IEEE 802.11 Signal Attenuation Through Obstacles in Indoor Environments // 2010 // IEEE Xplore
6. *S. R. Saunders, A. Aragón-Zavala* Effects of Foliage on Radio Propagation at 2.4 GHz // 2013 IEEE Xplore
7. *M. A. Al-Nuaimi, K. T. Shuaib* Human Body Shadowing in Wireless Sensor Networks // ScienceDirect
8. *T. S. Rappaport et al.* Path Loss Models for 2.4 GHz in Different Environments // 2017 // IEEE Xplore
9. P. V. Nikitin et al. Signal Attenuation Through Glass at 2.4 GHz // 2018
10. *Шаманна П.* Выбор модели расчета потерь в 2,4-ггц канале беспроводной связи // 2015 // Издательство: Издательство Файнстрит

TESTING THE RANGE OF A WIRELESS DATA TRANSMISSION SYSTEM RADIO CHANNEL

Elesin V.V.[1], Bondar A.A.[2]
[1–2] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] vladimiroff927@mail.ru, [2] bondar_a@mirea.ru

Abstract

Modern wireless data transmission technologies play a key role in various fields, including the Internet of Things (IoT), industrial automation, telemetry, and remote control systems. One of the popular solutions for organizing an inexpensive and fast radio communication system is the nRF24L01 (or nRF24L01+PA+LNA) modules operating at 2.4 GHz. However, when calculating the theoretical length of a radio channel for the design of such systems, it is important to take into account real factors that can significantly reduce the efficiency of data transmission.

The main tool for estimating the maximum length of a wireless radio channel is the Friis formula, which describes the attenuation of a signal in free space. However, in practice, the propagation of radio waves is influenced by many factors, including environmental losses, obstacles, and interference. As a result, the actual range is often significantly lower than the estimated range.

The purpose of this work is an experimental study of the data transmission range between two nRF24 modules using an integrated small-sized printed antenna and an external pin antenna, as well as a comparison of the results obtained with theoretical calculations using the Friis formula. The study analyzes the causes of discrepancies between theory and practice, including the impact of various types of losses.

Keywords

Wireless, local, network, nRF24, Arduino, communication range, calculating the range.

УДК 621.391:629.78

МОДЕЛИРОВАНИЕ УГРОЗ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В КАНАЛАХ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

А.П. Ким[1]
[1] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] karldukar551@mail.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Спутники дистанционного зондирования Земли ежесуточно отправляют на поверхность огромные массивы изображений и телеметрических измерений. Радиоканалы передачи остаются открытыми для активного вмешательства: злоумышленник способен перехватывать, искажать или подменять пакеты, что приводит к появлению ложных данных в наземных центрах обработки.

Цель. Смоделировать основные угрозы безопасности канала «спутник – земная станция» (искажение tampering, удаление drop, внедрение inject), количественно оценить их влияние на качество передаваемых изображений и проверить эффективность комплексной криптографической защиты на основе AES-256-GCM и HMAC-SHA256.

Результаты. Разработан программный эмулятор, разбивающий изображение на пакеты по 1 КБ и подвергающий их вероятностным атакам. Без защиты битовая ошибка (BER) растёт почти линейно от 5 % при 10-процентном tampering до 24 % при 50 %. Включение AES-GCM и HMAC выявляет и блокирует 100 % подменённых пакетов, что снижает BER более чем на треть (до 4–18 %), а визуально заменяет повреждённые участки чёткими пустыми строками. Полученные графики BER и иллюстрации демонстрируют различия между защищённым и незащищённым режимами.

Практическая значимость. Предложенная методика позволяет разработчикам аппаратуры ДЗЗ и создателям наземных станций объективно оценивать последствия кибератак, выбирать требования к криптографическим протоколам и проверять их реализацию на этапе проектирования. Инструмент легко расширяется для исследования гибридных атак и комбинации криптографической защиты с помехоустойчивым кодированием, обеспечивая повышенную надёжность и достоверность космических данных.

Ключевые слова

Информационная безопасность, спутниковая связь, дистанционное зондирование, защита каналов передачи, AES, HMAC, имитация атак, целостность данных, криптография.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Космические системы дистанционного зондирования Земли обеспечивают съемку и передачу на Землю большого объема ценной информации (спутниковые изображения, данные сенсоров и т.д.). Данные дистанционного зондирования используются в экологии, сельском хозяйстве, картографии и многих других областях, поэтому критически важно гарантировать их достоверность и защиту от несанкционированного вмешательства. Однако спутниковые каналы связи уязвимы для различных киберугроз. Известны случаи, когда злоумышленники пытались вмешаться в управление спутниками и перехватить или исказить передаваемые ими данные [2]. Например, в 2007–2008 гг. были зафиксированы кибератаки на спутники Terra и Landsat-7 [2], осуществленные через уязвимость наземной станции: атакующие смогли кратковременно перехватить управление и могли потенциально подделать или исказить передаваемую телеметрию. Данный инцидент демонстрирует, что каналы передачи данных спутников представляют привлекательную цель для атак, направленных на нарушение целостности передаваемой информации.

Среди основных угроз безопасности космических каналов можно выделить следующие:

1. Умышленное искажение данных в канале (внедрение ошибок, изменение содержимого пакетов).

2. Препятствование передаче (полное удаление или потеря части данных, аналог отказа в обслуживании на уровне канала).

3. Внедрение посторонних данных (инъекция ложных пакетов, выдаваемых за часть потока). Реализация таких атак может привести к тому, что наземная служба получит искаженную картину наблюдений и сделает неверные выводы. Например, подмена отдельных блоков изображения спутниковой съемки может изменить визуальное восприятие (рисунок местности) и повлиять на результаты обработки. Таким образом, обеспечение целостности и подлинности (аутентичности) данных дистанционного зондирования [3] является столь же важной задачей, как и их конфиденциальность.

Для защиты передаваемых по спутниковому радиоканалу данных традиционно применяются криптографические методы: шифрование для сохранения конфиденциальности и коды аутентичности сообщений (MAC) для проверки целостности. Однако шифрование само по себе не гарантирует неизменности данных – атакующий с доступом к каналу может модифицировать зашифрованный поток, что без дополнительных мер может остаться незамеченным. Криптографическое сообщество выработало подход, согласно которому для надежной защиты данных требуется сочетание шифрования и контроля аутентичности. В стандартах для космической связи, таких как протокол безопасности каналов передачи данных SDLS (Space Data Link Security), помимо шифрования фреймов также вводятся криптографические коды целостности и номера последовательности пакетов для предотвращения повторных передач (anti-replay) [10]. Практическая реализация такого подхода – например, с использованием алгоритма AES для шифрования и HMAC для контроля целостности – способна обеспечить одновременную конфиденциальность и защиту от несанкционированного изменения данных в канале.

Цель данной работы – смоделировать указанные виды атак (искажение, удаление, внедрение данных) на канал передачи изображений дистанционного зондирования и оценить эффективность применения шифрования (AES-256) и кода HMAC-SHA256 для нейтрализации этих угроз. В работе используется программа-эмулятор канала спутник–Земля, реализующая возможность задания вероятности каждой из атак и включения/выключения механизмов криптографической защиты. Моделирование позволяет количественно оценить степень искажения передаваемых изображений при различных сценариях атаки, а также показать, насколько применение криптографии снижает эти искажения и позволяет обнаруживать атаки. Таким образом, достигается всестороннее исследование угроз безопасности канала и методов защиты в контексте систем дистанционного зондирования Земли.

Материалы и методы

Для проведения исследований разработана программная модель канала передачи данных между спутником дистанционного зондирования и наземной приемной станцией. В качестве передаваемой информации рассматривались цифровые изображения (графические данные), разбитые на блоки фиксированного размера (пакеты). Модель реализована на языке Python и включает следующие основные компоненты: канал связи, злоумышленник (интерцептор) и модуль безопасности. Полный исходный код эмулятора размещен в открытом репозитории [11].

Канал связи эмулирует разбиение исходного сообщения (изображения) на блоки и последовательную отправку их от спутника к земле. В канале возможны потери пакетов и нарушение порядка доставки, для чего каждому пакету присваивается порядковый номер. Злоумышленник (модель “Man-in-the-Middle”) перехватывает исходящие от спутника пакеты с заданными вероятностями реализации атак:

1. Tamper (искажение): с вероятностью t злоумышленник изменяет содержимое пакета (заменяет его случайными данными той же длины).

2. Drop (удаление): с вероятностью d злоумышленник блокирует пакет, не позволяя ему дойти до получателя (имитация глушения или селективного отказа).

3. Inject (внедрение): с вероятностью i злоумышленник добавляет в поток передачи фиктивный пакет с псевдослучайными данными. Для упрощения реализации такой пакет

маркируется сильно удаленным номером последовательности, чтобы отличаться от реальных данных и не перезаписывать их в буфере получателя.

Реализация представлена на рисунке 1.

```python
class MITM:
    def __init__(self, t: float, d: float, i: float): self.t, self.d, self.i = t, d, i
    def act(self, p: Packet) -> List[Packet]:
        out = []
        if random.random() < self.d:
            return out
        if random.random() < self.t:
            p.payload = rand_block()
        out.append(p)
        if random.random() < self.i:
            out.append(Packet(p.seq + 10_000_000, rand_block()))
        return out
```

Рис. 1. Фрагмент кода модели MITM: симуляция атак tamper, drop и inject
Fig. 1. MITM model code snippet: tampering, drop and injection simulation

Модуль безопасности на стороне передатчика и получателя осуществляет криптографическую защиту перед отправкой и проверку при получении. В работе рассматривались два механизма:

1. Шифрование – перед отправкой каждый пакет шифруется алгоритмом AES с ключом длиной 256 бит в режиме GCM. AES является симметричным блоковым шифром, стандартизованным NIST (FIPS 197) и широко применяемым для защиты данных [9]. Режим GCM (Galois/Counter Mode) выбран из-за способности одновременно шифровать и вычислять код аутентичности (т.е. обеспечивать “шифрование с проверкой подлинности”). В данном моделировании шифрование на основе AES обеспечивает как конфиденциальность, так и встроенный контроль целостности за счет алгоритма аутентификации, встроенного в GCM.

2. Код аутентичности HMAC – для каждого пакета перед отправкой вычисляется Hash-based Message Authentication Code (HMAC) на основе алгоритма SHA-256. HMAC представляет собой криптографическую функцию, использующую секретный ключ и хеш-алгоритм; значение HMAC прикрепляется к пакету в виде тега. На приемной стороне вычисляется свой HMAC и сравнивается с переданным тегом для проверки целостности и подлинности пакета [8]. Данный метод позволяет обнаружить любое изменение данных в пакете во время передачи: при малейшем искажении бит значение HMAC не сойдется, и пакет помечается как поврежденный.

Реализация этого механизма представлена на рисунке 2.

```python
class Channel:
    def __init__(self, aes: bool, hmac_on: bool):
        self.aes, self.hmac = aes, hmac_on
        self.key = gk() if aes else None
    def tx(self, p: Packet) -> Packet:
        if self.aes and self.key:
            p.payload, p.nonce = aes_enc(p.payload, self.key)
        if self.hmac:
            p.tag = mac(p.payload)
        return p
    def rx(self, p: Packet, blk_len: int) -> Tuple[bytes, bool]:
        ok = True
        if self.hmac:
            ok &= p.tag is not None and hmac.compare_digest(mac(p.payload),
p.tag)
        data = p.payload
        if self.aes and self.key:
            try: data = aes_dec(p.payload, p.nonce, self.key)
            except Exception: ok = False; data = b""
        if not ok:
            data = BLACK if blk_len == PACKET else b"\0" * blk_len
        return data, ok
```

Рис. 2. Метод приёма и расшифровки пакета Channel.rx()
Fig. 2. Channel.rx() method: decryption and integrity verification

В программной модели предусмотрены различные конфигурации:

1. Без защиты (выключены и AES, и HMAC).
2. Только шифрование AES.
3. Только код целостности HMAC.
4. Одновременное использование AES и HMAC.

Это позволяет оценить вклад каждого механизма в обеспечение безопасности. Для количественного анализа последствий атак введены метрики:

1. BER (Bit Error Rate, доля ошибочных бит) – рассчитывается путем побитового сравнения полученного изображения с оригиналом. Поскольку при включенном контроле целостности поврежденные пакеты не принимаются к декодированию, в расчет BER включаются только данные из пакетов, считанных приемником как корректные. Таким образом, BER показывает степень искажения не обнаруженных ошибок. В случае отсутствия механизмов контроля все пакеты принимаются как есть, и BER отражает общую долю искажений в принятом изображении.

2. Доля поврежденных блоков – отношение количества пакетов, содержимое которых было искажено атакой или не доставлено, к общему числу пакетов исходного сообщения (в процентах). В сценарии без защиты приемник не распознает повреждения, поэтому данная величина определяется постфактум (путем сравнения с эталонными данными). В сценариях с защитой эта величина эквивалентна числу пакетов, которые не прошли проверку целостности (и были отброшены) или не дошли (drop).

В ходе экспериментов передавалось тестовое цифровое изображение размером ~1,6 МБ (например, спутниковый снимок местности). Вероятности атак tampering варьировались от 10% до 50% (с шагом 10%), при фиксированных d = 0, i = 0 (для чистоты анализа влияния искажений). Для каждой конфигурации безопасности вычислялись BER и процент поврежденных блоков. Кроме того, проводилось качественное визуальное сравнение полученных изображений.

Объединение модели канала, атакующего и системы оценки происходит в функции simulate(). Она вызывает транслятор, моделирует влияние MITM, а затем собирает выходные фреймы и флаги целостности. Логика работы показана на рисунке 3.

```python
def simulate(src: bytes, *, use_aes: bool, use_hmac: bool,
             attacker: MITM | None) -> Tuple[List[bytes], List[bool],
List[bytes]]:
    chan = Channel(use_aes, use_hmac)
    src_chunks = chunks(src); n = len(src_chunks)
    recv: Dict[int, bytes] = {}; ok_map: Dict[int, bool] = {}

    for seq, raw in enumerate(src_chunks):
        for f in (attacker.act(chan.tx(Packet(seq, raw))) if attacker else
[chan.tx(Packet(seq, raw))]):
            if f.seq >= n or f.seq in recv:
                continue
            data, ok = chan.rx(f, len(raw))
            if not (use_aes or use_hmac):
                ok = True
            recv[f.seq] = data; ok_map[f.seq] = ok

    for seq in range(n):
        if seq not in recv:
            blk = BLACK if len(src_chunks[seq]) == PACKET else b"\0" *
len(src_chunks[seq])
            recv[seq] = blk; ok_map[seq] = False if (use_aes or use_hmac) else
True

    dst_chunks = [recv[i] for i in range(n)]
    ok_flags   = [ok_map[i] for i in range(n)]
    return dst_chunks, ok_flags, src_chunks
```

Рис. 3. Главная функция simulate(): организация передачи с учётом атак
Fig. 3. Core simulate() function: transmission with attacker model

Результаты

Без применения мер защиты (шифрования и контроля целостности) атака типа tampering приводит к появлению заметных искажений в полученном изображении. На рисунке 4 приведен пример фрагмента спутникового снимка при 30% искаженных пакетов: в отсутствии защиты злоумышленник незаметно внедряет в изображение посторонние пиксельные блоки (шумовые вставки), из-за чего на снимке появляются артефакты и потеря деталей. При включенном же шифровании и HMAC те же самые искаженные пакеты распознаются приемной системой как недостоверные и отбрасываются – на их месте в изображении остаются пустые блоки (например, заполненные нулевыми пикселями), что явно указывает на потерю данных, но предотвращает появление ложной информации. В данном случае получатель видит пробелы на месте поврежденных участков, однако все сохранившиеся части изображения полностью совпадают с оригиналом (отсутствует размывание или битовые ошибки в достоверных данных).

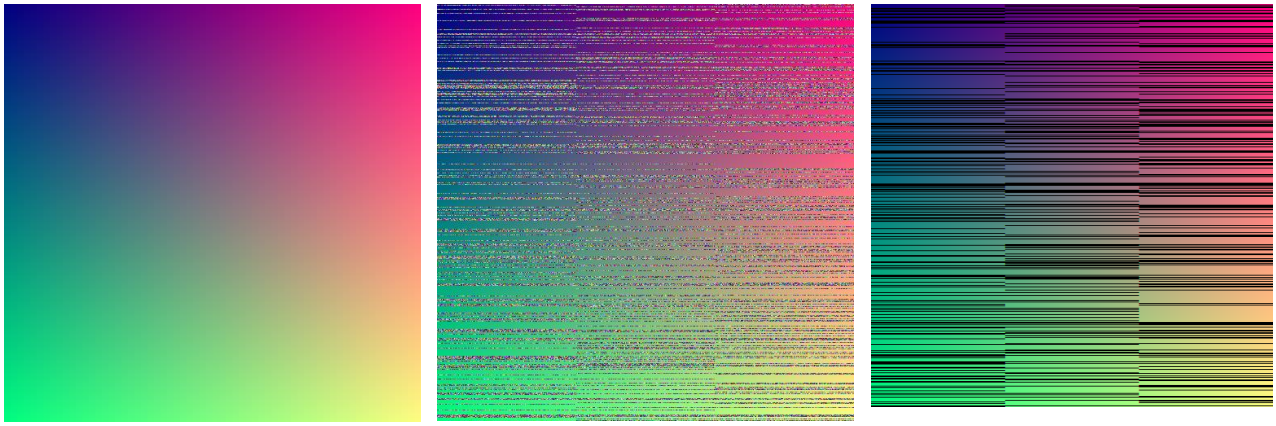


Рис. 4. Пример воздействия атаки tampering на изображение; слева – оригинал, в центре – результат без защиты (случайный шум в искажённых блоках), справа – результат при защите (повреждённые блоки исключены)
Fig. 4. Example of a tampering attack on an image; left – original, center – result without security (random noise in tampered blocks), right – result with security (corrupted blocks removed)

В количественном отношении картина подтверждается графиком на рисунке 5. Без защиты средняя доля ошибочных бит (BER) практически линейно возрастает вместе с интенсивностью tampering: при искажении ≈ 10 % пакетов BER составляет около 5 %, при 30 %–15 %, а при 50 % достигает ≈ 24 % (кривая BER без защиты). Одновременно доля повреждённых блоков растёт от ≈ 10 % до ≈ 48 %.

Напротив, при активированных AES-GCM и HMAC-SHA256 практически все повреждённые пакеты обнаруживаются и отбрасываются, поэтому BER остаётся близкой к 0 % по всему диапазону вероятности tampering (кривая BER AES+HMAC лежит вдоль оси OX). При этом доля отброшенных блоков при защите полностью совпадает с долей атакованных пакетов (розовая кривая Повреждённые блоки AES+HMAC), что ясно указывает пользователю на утрату информации, но исключает незаметное искажение содержимого. Таким образом, злоумышленник может нарушить полноту данных, однако не способен внедрить ошибочные биты в конечное изображение.

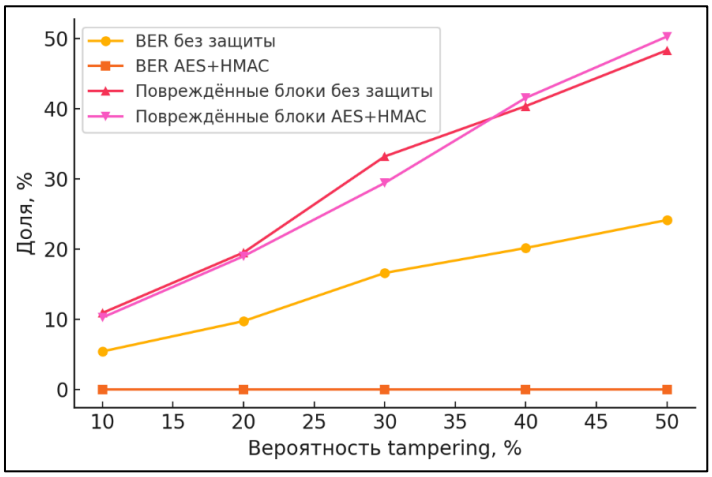


Рис. 5. Зависимость битовой ошибки (BER) и доли повреждённых блоков от интенсивности атаки tampering (искажение пакетов) при различных вариантах защиты
Fig. 5. Bit error rate (BER) and fraction of corrupted blocks vs tampering attack intensity for different security configurations

На рисунке 5 также показано, что при отсутствии защиты доля поврежденных (искаженных) блоков совпадает с заданной вероятностью атаки (практически каждый запланированный злоумышленником пакет действительно оказывался поврежденным). При включении же контроля целостности (HMAC или шифрования с аутентификацией) все эти искаженные блоки выявляются, поэтому они хотя и присутствуют в полученном потоке (в виде пустых или

обнуленных пакетов), не вносят битовых ошибок – вместо них приемник регистрирует потерю данных. Таким образом, количество поврежденных блоков при наличии защиты остается равным числу атакованных пакетов, но эти повреждения не распространяются на соседние данные. Сравнение двух вариантов защиты – только HMAC и только шифрование (AES-GCM) – показало сходные результаты: и в том, и в другом случае обеспечивается обнаружение ~100% искажений, что подтверждает способность как алгоритма HMAC-SHA256, так и режима AES-GCM надежно выявлять нарушение целостности. При одновременном использовании AES+HMAC достигается тот же эффект (так как и шифр, и код аутентичности дублируют функцию контроля целостности). Разница между этими вариантами проявляется при других типах атак: например, при атаке типа drop (блокировка пакетов) оба механизма фиксируют потерю (шифратор – по пропуску номера последовательности, HMAC – по отсутствию ожидаемого тега), но при inject (добавление ложных пакетов) наличие HMAC не даст приемнику обработать пакет с неверным тегом, в то время как одно лишь шифрование (без аутентификации) могло бы допустить расшифровку мусорных данных (если бы злоумышленник каким-то образом сгенерировал валидный формат шифртекста). В нашей модели ложные пакеты имели заведомо неверную нумерацию, поэтому они отбрасывались приемником по порядку и не влияли на картину. Однако в реальных условиях для отражения подобных угроз также применяется нумерация и проверка последовательности пакетов.

Результаты моделирования подтверждают, что отсутствие мер защиты целостности передаваемых данных создает серьезный риск для пользователей информации дистанционного зондирования. Наземная система приема без встроенных средств аутентификации не в состоянии отличить подмененные (или внедренные) злоумышленником фрагменты от подлинных данных. Это может привести к скрытому искажению критически важных сведений. Например, враждебно настроенный субъект, имеющий доступ к радиоканалу, в теории способен изменить небольшую часть изображения (например, замаскировать на снимке определенный объект или участок местности шумом) и тем самым исказить выводы, сделанные аналитиками. В случае же применения криптографической защиты такая атака теряет смысл: измененные данные либо вообще не расшифровываются (блокируются на этапе проверки), либо явно помечаются как недостоверные. Наше моделирование показало, что при включенном AES-GCM и HMAC всякое искажение данных не осталось незамеченным. Таким образом, можно сделать вывод, что комбинированное использование шифрования и контролируемой хеш-функции (HMAC) обеспечивает высокий уровень целостности канала передачи данных. Этот вывод согласуется с общепринятой точкой зрения в области кибербезопасности: шифрование без одновременной проверки подлинности уязвимо для атак с подменой данных, поэтому современные стандарты требуют дополнять его механизмами аутентификации [4]. Еще одной важной проблемой является обеспечение непрерывности или доступности данных при атаках. Включение контроля целостности приводит к тому, что поврежденные пакеты отбрасываются, и на их месте получатель имеет «пробелы» в информации. Это наблюдалось в наших экспериментах: защищенная система вместо искаженных фрагментов получала пустые блоки. С точки зрения конечного пользователя, оба случая нежелательны – ни искаженные, ни потерянные данные не несут пользы. Однако с точки зрения безопасности предпочтительнее потерять часть информации, но быть уверенным в достоверности полученного, чем незаметно получить искаженную информацию и принять ее за истину. Тем не менее, такое деградированное обслуживание требует принятия мер для восстановления утраченных данных (например, повторной передачи по запросу, применения помехоустойчивого кодирования или заполнения прогнозируемыми данными). В рамках данной работы эти вопросы не рассматривались, однако они являются предметом дальнейших исследований – например, целесообразно изучить сочетание криптографической защиты с механизмами помехоустойчивого кодирования, чтобы одновременно повышать вероятность доставки и гарантировать выявление любых искажений.

Следует также отметить, что кроме криптографических методов возможны и дополнительные меры защиты спутниковых каналов на уровне сетевого трафика. Одним из подходов является поведенческий анализ и обнаружение аномалий: резкие отклонения в объеме или структуре данных могут сигнализировать о вмешательстве. Внедрение систем мониторинга трафика способно дополнять криптографическую защиту, обнаруживая, например, массовое удаление пакетов или вставку большого числа лишних пакетов (флуд). Однако подобные методы не дают гарантии обнаружения целенаправленных незаметных изменений, тогда как криптографический HMAC надежно фиксирует даже единичный измененный бит. Таким образом, оптимальная стратегия обеспечения безопасности канала связи дистанционного зондирования – это комбинация: использование криптостойкого шифрования совместно с механизмом проверки целостности каждого пакета, регулярное обновление ключей и мониторинг аномалий работы канала. Эксперты отрасли отмечают, что своевременная смена ключей шифрования и контроль доступа к ним являются одними из главных мер противодействия компрометации спутников [7]. В новейших спутниковых системах связи эти принципы уже внедрены на практике – например, сообщается, что группировка Starlink использует сквозное шифрование всех данных на уровне прошивки оборудования. Стандартизация в этой области также ведется: CCSDS разрабатывает рекомендации по обеспечению безопасности каналов связи (протокол SDLS и др.), которые включают как шифрование, так и аутентификацию кадров, а также механизмы противодействия повторным передачам и анализ трафика.

Заключение

В данной работе выполнено моделирование воздействия основных типов атак на канал передачи данных в системе дистанционного зондирования и показана эффективность криптографической защиты от этих атак. Атаки типа tampering (подмена данных) приводят к появлению значительных искажений в принимаемых изображениях при отсутствии системы контроля целостности. Атаки типа drop (блокировка) и inject (внедрение) без защиты также остаются незамеченными для получателя, что потенциально может нарушить полноту и последовательность данных. Применение же сочетания шифрования AES-256 и кода HMAC-SHA256 обеспечивает обнаружение 100% случаев нарушения целостности пакетов. Ни один измененный злоумышленником блок не был принят приемником как подлинный – все атаки были выявлены по недействительным тегам или невозможности расшифровки. Это полностью исключило появление некорректных битов в конечных данных (BER≈0 при любых сценариях атак, вместо роста BER до ~25% без защиты). Таким образом, подтверждена необходимость совмещения шифрования с механизмом контроля целостности для защиты данных дистанционного зондирования Земли [8, 9, 10]. Тем не менее, даже при наличии такой защиты часть данных может быть утрачена (отброшена) в случае атаки, поэтому для комплексной надежности канала рекомендуется дополнять криптографические средства методами увеличения помехоустойчивости и резервирования каналов. В перспективе планируется исследовать влияние помех и ошибок передачи (не вызванных злоумышленником, а возникающих естественным образом) и эффективность кодов исправления ошибок совместно с HMAC. Кроме того, представляется актуальным изучение сценариев с одновременным воздействием нескольких типов атак и разработка методов одновременного обнаружения искажений и восстановления утерянной информации. Работа носит междисциплинарный характер, объединяя вопросы информационной безопасности и технологии космической связи. Ее результаты могут быть полезны при проектировании защищенных спутниковых систем передачи данных, предназначенных для наблюдения Земли, где требуется гарантировать целостность и достоверность поступающей научной и прикладной информации.

Список источников

1. *NOAA NESDIS.* Cybersecurity for Remote Sensing: FBI-DHS joint briefing to NOAA ACCRES. Вашингтон: NOAA, 2022. – 38 с.
2. *Arthur C.* Chinese hackers suspected of interfering with US satellites. Лондон: The Guardian, 2011. – URL: https://www.theguardian.com/technology/2011/oct/27/chinese-hacking-us-satellites-suspected (дата обращения: 10.05.2025).
3. *Manulis M., Bridges C.P., Harrison R., Sekar V.* Cyber-security in New Space: analysis of threats, key enabling technologies and challenges. International Journal of Information Security, 2021. – Т. 20, №2. – 287-311
4. *Consultative Committee for Space Data Systems.* Report Concerning Space Data System Standards: Cryptographic Algorithms. CCSDS, 2023. – 108 с.
5. *Airlangga G., Liu A.* A study of data-security attack and defense pattern in a centralized UAV–cloud architecture. Drones, 2023. – Т. 7, № 5. – URL: https://www.mdpi.com/2504-446X/7/5/289 (дата обращения: 10.05.2025).
6. *Антипов А.В.* Как работает механизм HMAC. SecurityLab, 2023. – URL: https://www.securitylab.ru/analytics/538191.php (дата обращения: 10.05.2025).
7. *Овчинников Д.* Кибербезопасность спутниковых систем: вызовы и решения. SecurityMedia, 2024. – URL: https://securitymedia.org/info/kiberbezopasnost-sputnikovykh-sistem-vyzovy-i-resheniya-v-epokhu-kosmicheskogo-trafika.html (дата обращения: 10.05.2025).
8. *Krawczyk H., Bellare M., Canetti R.* HMAC: Keyed-Hashing for Message Authentication. RFC 2104, 1997. – 11 с.
9. *National Institute of Standards and Technology.* FIPS 197: Advanced Encryption Standard (AES). Гейтерсберг: NIST, 2001. – 46 с.
10. *CCSDS.* Space Data Link Security Protocol. CCSDS, 2015. – 234 с.
11. *Ким А.П.* Security Space-Link Emulator: репозиторий проекта. – URL: https://github.com/Forman75/SecureSpaceLink/ (дата обращения: 11.05.2025).

MODELING OF DATA TRANSMISSION SECURITY THREATS IN CHANNELS OF SPACE REMOTE SENSING SYSTEMS

A.P. Kim [1]
[1] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] karldukar551@mail.ru

Abstract

Problem statement. Ensuring the integrity of transmitted data is a key security requirement for Earth observation (EO) satellite systems. Open downlink radio channels are vulnerable to active cyberattacks, including tampering, dropping, and injection of false packets. In the absence of proper protection, intercepted and altered data can mislead users and compromise the usefulness of satellite imagery.

Purpose. This paper presents a model for simulating information security threats in the "satellite–ground station" communication link. The aim is to quantify the effect of various attack types on image integrity and evaluate the effectiveness of cryptographic countermeasures based on AES-256 encryption in GCM mode and HMAC-SHA256 integrity control.

Results. A Python-based emulator was developed to simulate packetized image transmission over a potentially compromised channel. The model includes probabilistic tampering, loss, and injection of data blocks. Without protection, bit error rates (BER) increased linearly, reaching 24 % at 50 % tampering. With cryptographic protection enabled, BER remained near 0 % due to rejection of all corrupted packets, which were substituted with zero-filled placeholders. The emulator enabled a visual and statistical comparison between secure and insecure communication modes. Graphs and image outputs confirm the reliability of integrity verification.

Practical significance. The proposed methodology allows developers of remote sensing systems to assess the impact of attacks and test the efficiency of embedded cryptographic tools under simulated conditions. The model can serve as a foundation for designing secure satellite communication protocols and evaluating resilience to cyber threats in both civilian and defense EO missions.

Keywords

Information security, satellite communication, remote sensing, tampering, AES, HMAC, BER, integrity control, cyberattack simulation.

УДК 621.39

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВИДА МОДУЛЯЦИИ СВЯЗНОГО СИГНАЛА ПРИ НЕКОГЕРЕНТНОМ ПРИЕМЕ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Ю.П. Киселев [1], **Г.А. Милорадов** [2]
[1–2] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] kiselev.y.p@edu.mirea.ru, [2] miloradov@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Современные адаптивные системы радиосвязи требуют всё более высокой степени автоматизации анализа сигналов в условиях ограниченной априорной информации, особенно при некогерентном приёме. Одной из ключевых задач таких систем является определение вида цифровой модуляции входного сигнала, что осложняется фазовой неопределённостью и высокой вариативностью параметров передачи. Традиционные алгоритмы, основанные на эвристических правилах или статистических признаках, не всегда обеспечивают необходимую помехоустойчивость и точность распознавания в реальных условиях при заданной вычислительной мощности устройств обработки сигналов.

Цель. Целью данной работы является разработка метода распознавания типа модуляции цифрового сигнала при некогерентном приёме с использованием архитектуры искусственной нейронной сети, позволяющей эффективно классифицировать сигналы с различной позиционностью в условиях фазовой неопределённости.

Результаты. Был предложен комплексный подход к решению задачи классификации, включающий разработку специализированных нейросетевых классификаторов для сигналов с модуляцией типа M-PSK и M-FSK, а также объединяющий их мета-классификатор. Проведено компьютерное моделирование классификации восьми типов сигналов в условиях аддитивного белого гауссова шума и случайной фазы сигнала. Результаты экспериментов показали высокую эффективность предложенного подхода: итоговая точность классификации достигла 90% для 2-PSK, 4-PSK, 2-FSK, 4-FSK, 8-FSK, 16-FSK. Особенно высокая точность наблюдалась при распознавании сигналов FSK-модуляции, в то время как PSK-сигналы потребовали более сложной обработки фазовых признаков.

Практическая значимость. Разработанный нейросетевой метод обладает высокой практической значимостью и может быть использован в системах радиоконтроля, когнитивных радиосетях, а также в приёмных устройствах с ограниченными вычислительными ресурсами. Использование искусственных нейронных сетей позволяет повысить степень автоматизации анализа сигнальной информации и обеспечить устойчивость к фазовым и шумовым искажениям при классификации цифровых сигналов.

Ключевые слова

Цифровая модуляция, когнитивное радио, классификация радиосигналов, спектр сигнала, некогерентный прием радиосигналов, белый шум, искусственная нейронная сеть, машинное обучение

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Современные системы связи всё чаще функционируют в условиях динамично изменяющейся радиосреды, где важную роль играют адаптивные механизмы обработки принимаемых сигналов. Одной из ключевых задач в таких системах является автоматическое определение типа цифровой модуляции, особенно в условиях некогерентного приёма, когда отсутствует информация о фазе несущей. Подобные условия часто возникают при реальной эксплуатации систем радиомониторинга, связи и когнитивного радио, где необходимо выполнять классификацию сигналов в присутствии случайной фазы и различных искажений канала.

Традиционные методы распознавания модуляции, основанные на спектральном и статистическом анализе признаков сигнала, демонстрируют ограниченную эффективность при низком отношении сигнал/шум (SNR) и наличии фазовых искажений [1,2]. При этом достоверное определение модуляции критически важно для построения интеллектуальных приёмников и автоматизированных радиосистем, обеспечивающих адаптацию к параметрам внешней среды и спектральной загруженности.

Альтернативным подходом является использование методов искусственного интеллекта, в частности — искусственных нейронных сетей (ИНС), способных обучаться на основе представленных данных и выявлять скрытые закономерности в структуре сигнала [3-8]. Применение ИНС позволяет обойти ограничения традиционных алгоритмов и добиться высокой точности классификации даже при некогерентном приёме в сравнении с классическими методами в том числе при малом количестве гипотез в сравнении с методом максимального правдоподобия.

Моделирование сигналов и условий некогерентного приёма

В рамках данной работы выполняется компьютерное моделирование сигналов с различными видами модуляции (M-FSK и M-PSK) и генерация синтетических обучающих и тестовых выборок для последующего обучения искусственных нейронных сетей. Особое внимание уделяется моделированию условий некогерентного приёма, при котором отсутствует априорная информация о начальной фазе несущей, что приближает модель к реальным условиям функционирования радиосистем.

Генерация сигналов с M-FSK и M-PSK модуляцией

В качестве исследуемых сигналов рассматриваются:

- M-FSK (Frequency Shift Keying) — передача информации посредством изменения частоты несущей (рис. 1). Значения M принимали значения 2, 4, 8, 16.

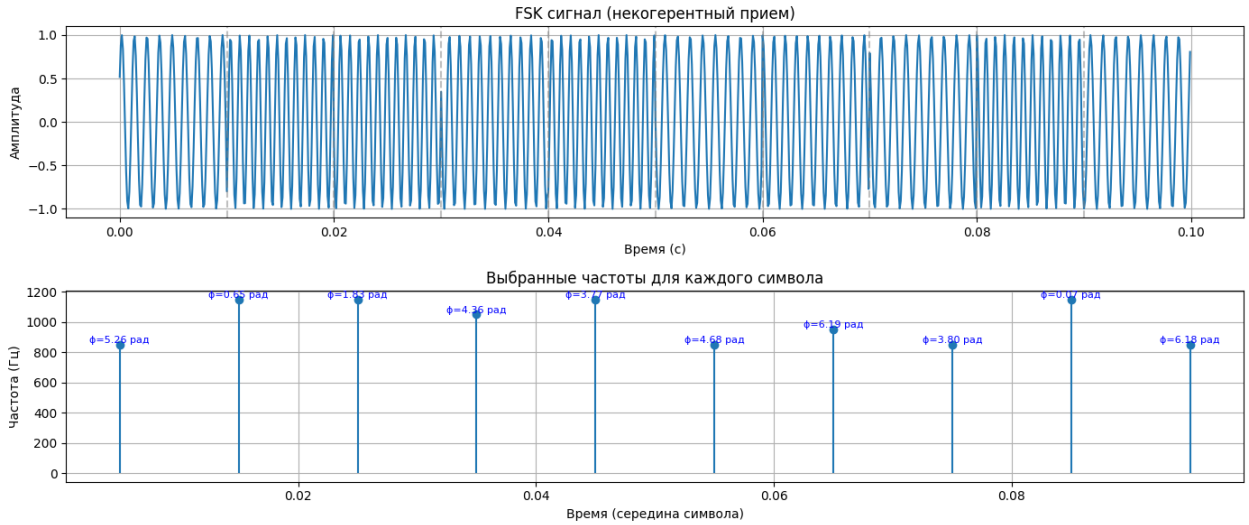


Рис. 1. M-FSK сигнал во временной области и значение частоты каждого символа при некогерентном приеме
Fig. 1. M-FSK signal in the time domain and the frequency value of each symbol during non-coherent reception

- M-PSK (Phase Shift Keying) — передача информации за счёт фазовой модуляции несущей с теми же значениями M (рис. 2).

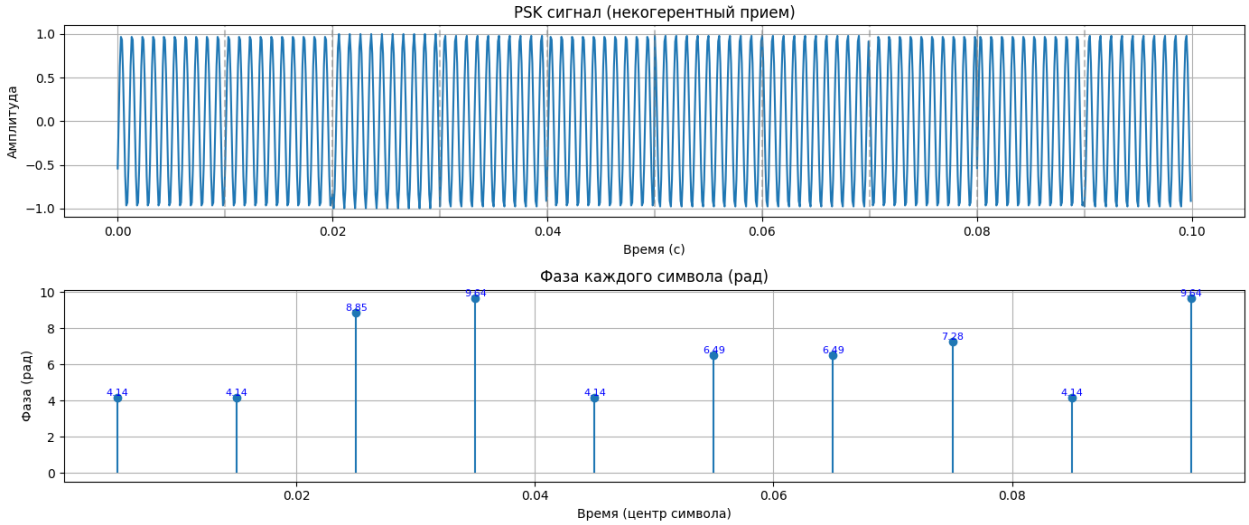


Рис. 2. M-PSK сигнал во временной области и значение фазы каждого символа при некогерентном приеме
Fig. 2. M-PSK signal in the time domain and the phase value of each symbol during non-coherent reception

Для каждого типа сигнала задаются:

- случайные начальные фазы в диапазоне [0, 2π] с шагом 0.25;
- параметры модуляции (частотные/фазовые состояния);
- фиксированные длительности символов и параметры дискретизации;
- добавление аддитивного белого гауссова шума (AWGN) с различными значениями отношения сигнал/шум (SNR).

Генерация сигналов осуществляется поблочно, где для каждого символа случайным образом выбирается одно из допустимых модуляционных состояний (частота для FSK, фаза — для PSK) с учетом рандомизированного фазового смещения. Это обеспечивает имитацию некогерентных условий приёма.

Особенности некогерентного приёма

Некогерентный приём подразумевает случайную фазу несущей, не отслеживаемую приёмником. При моделировании фаза каждого символа выбиралась случайно и независимо в пределах [0, 2π], что соответствует условиям практической передачи в неизвестной фазовой обстановке. Такой подход закладывает дополнительную нагрузку на архитектуру классификатора и проверяет устойчивость моделей к этой разновидности искажений.

Моделирование белого шума

Для приближения к реальным условиям канала на каждый сигнал накладывается аддитивный белый гауссов шум (БГШ) с различными уровнями SNR — от 5 до 20 дБ (рис. 3,4). Это позволяет сформировать разноуровневые выборки, затрудняющие задачу классификации и улучшающие устойчивость моделей при ухудшении качества приёма.

Информационные признаки

Процесс подготовки обучающих данных включает экстракцию различных типов признаков, разделённых по задачам:

- Для FSK-классификатора используются временные отсчёты сигнала.
- Для PSK-классификатора применяются комплексные признаки: временные формы, спектр сигнала, а также диаграммы сигнальных созвездий, представляющие комплексные амплитудно-фазовые отсчёты в двумерной форме.
- Для мета-классификатора на вход подаются агрегированные вероятностные выходы (softmax) от двух предыдущих ИНС, формируя вектор признаков длиной 8.

Все признаки предварительно нормализуются: временные — по среднему и отклонению, спектры и изображения — по min-max шкале в диапазоне [0, 1].

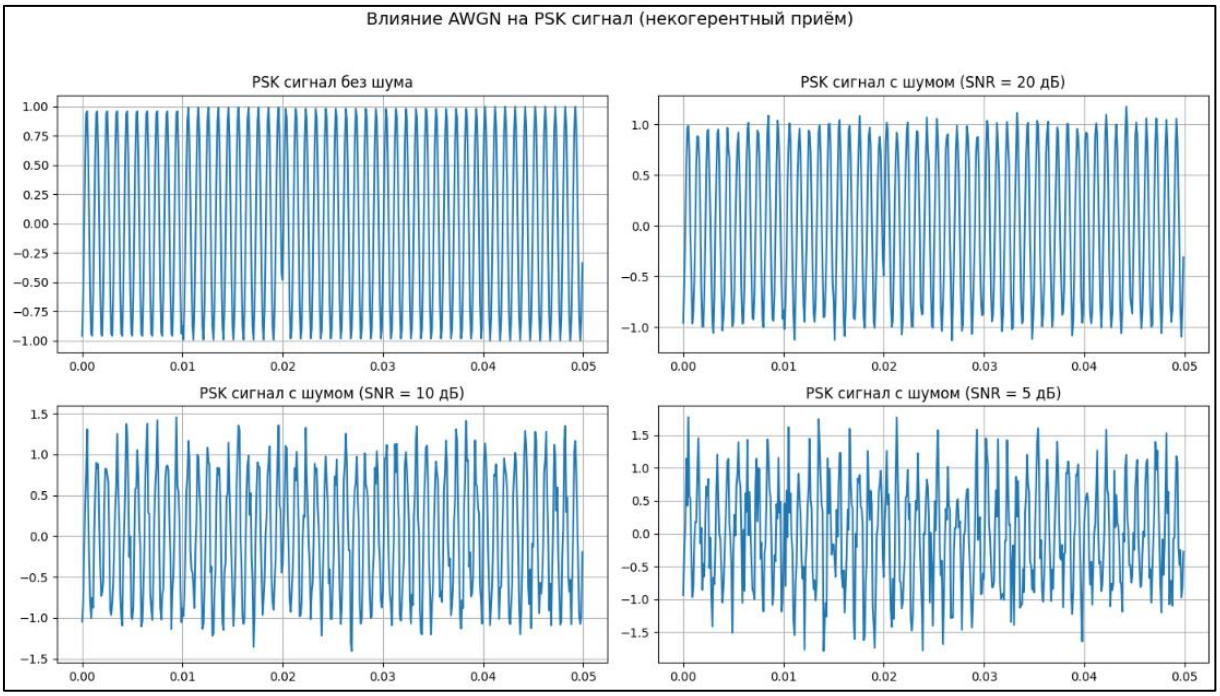


Рис. 3. M-PSK сигнал во временной области при воздействии БГШ при некогерентном приеме
Fig. 3. M-PSK signal in the time domain under the influence of BGS during non-coherent reception

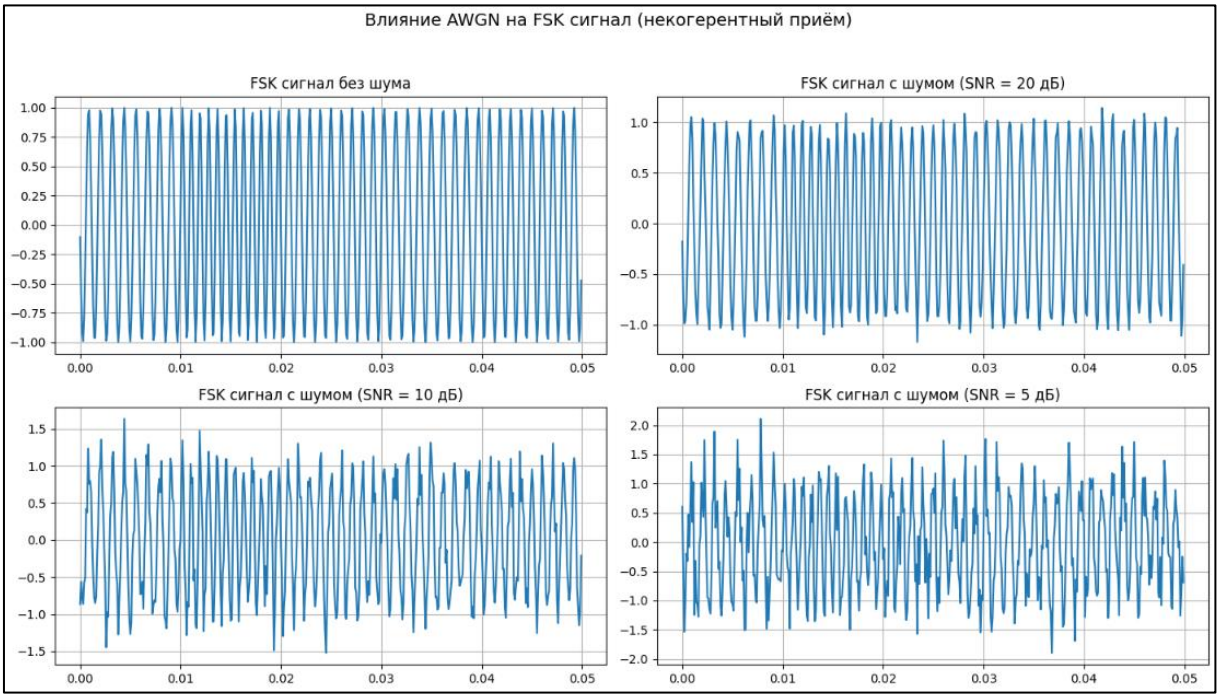


Рис. 4. M-FSK сигнал во временной области при воздействии БГШ при некогерентном приеме
Fig. 4. M-FSK signal in the time domain under the influence of BGS during non-coherent reception

Формирование выборок

Для каждого значения M формируются по 500 обучающих сигналов как для PSK, так и для FSK. Это обеспечивает:

- сбалансированные классы по каждому типу модуляции;
- по 2000 сигналов в тренировочных наборах для каждой ИНС;
- финальный агрегированный датасет для мета-классификатора — 16000 сигналов.

Все данные разбиваются по схеме 70% — обучение, 15% — валидация, 15% — тестирование, что даёт объективную оценку обобщающей способности моделей. Датасет

сформирован в виде структурированных массивов (NumPy, PyTorch), содержащих сигналы, признаки и метки.

Преимущества и ограничения

Основные преимущества выбранного подхода:

1. Контролируемая генерация репрезентативных данных;
2. Гибкость настройки параметров моделирования;
3. Возможность моделировать большое число сценариев;
4. Высокая воспроизводимость экспериментов.

Главное ограничение — идеализированность условий: даже с учётом шума и фазовой флуктуации не учитываются все возможные эффекты реальных радиоканалов. Тем не менее, для задач сравнения архитектур ИНС и отладки классификаторов данный подход остаётся обоснованным и эффективным.

Архитектуры нейронных сетей и методы классификации

Структурная схема классификатора вида модуляции сигнала на основе нейронной сети представлена на рис. 5.

Для задачи распознавания сигналов FSK-модуляции спроектирована модель 1D-CNN, работающая с временными отсчётами. Архитектура включает:

- несколько сверточных слоёв с нелинейной активацией ReLU;
- операции max pooling после каждого сверточного слоя;
- слой batch normalization для ускорения и стабилизации обучения;
- Dropout-слой для регуляризации;
- выходной слой с функцией softmax, выдающий вероятности принадлежности к одному из четырёх классов (2-FSK, 4-FSK, 8-FSK, 16-FSK).

Модель обучается с использованием оптимизатора Adam и функции потерь categorical crossentropy. Обеспечивается контроль переобучения за счёт early stopping. Даже в сложных условиях (низкий SNR, смена фаз) сеть демонстрирует высокую точность, что подтверждает эффективность сверточного подхода для временной аппроксимации структуры FSK-сигналов.

Классификация сигналов M-PSK с помощью многоканальной CNN

Для обработки более сложных PSK-сигналов применена многоканальная сверточная нейронная сеть, обрабатывающая разнообразные признаки. Архитектура формируется следующим образом:

- Первая ветвь: Conv1D + LSTM для временных отсчётов (выделение зависимостей и фазовых переходов).
- Вторая ветвь: Conv2D для изображений сигнальных созвездий, позволяющая анализировать пространственные структуры кластеров.
- Третья ветвь: Conv1D для спектральных признаков (вектор мощности спектра).

Выходы всех ветвей конкатенируются в сводный вектор признаков, проходящий через полносвязные слои, Dropout и softmax. Модель обучается аналогично FSK-сети (Adam, categorical crossentropy, early stopping). Основной вывод: сочетание разнородных типов признаков существенно повышает точность классификации, особенно для близких значений M (например, различие 8-PSK и 16-PSK).

Мета-классификация с использованием ансамбля softmax-выходов

Последней архитектурой является мета-классификатор, реализующий подход ансамблирования. На вход он получает softmax-выходы предыдущих двух ИНС (всего 8 признаков — по 4 от каждой сети). Сеть имеет компактную двухслойную полносвязную архитектуру с:

- ReLU-активацией;
- Dropout-слоями;
- Batch Normalization;
- softmax-выходом с 8 классами (M=2,4,8,16 для PSK и FSK).

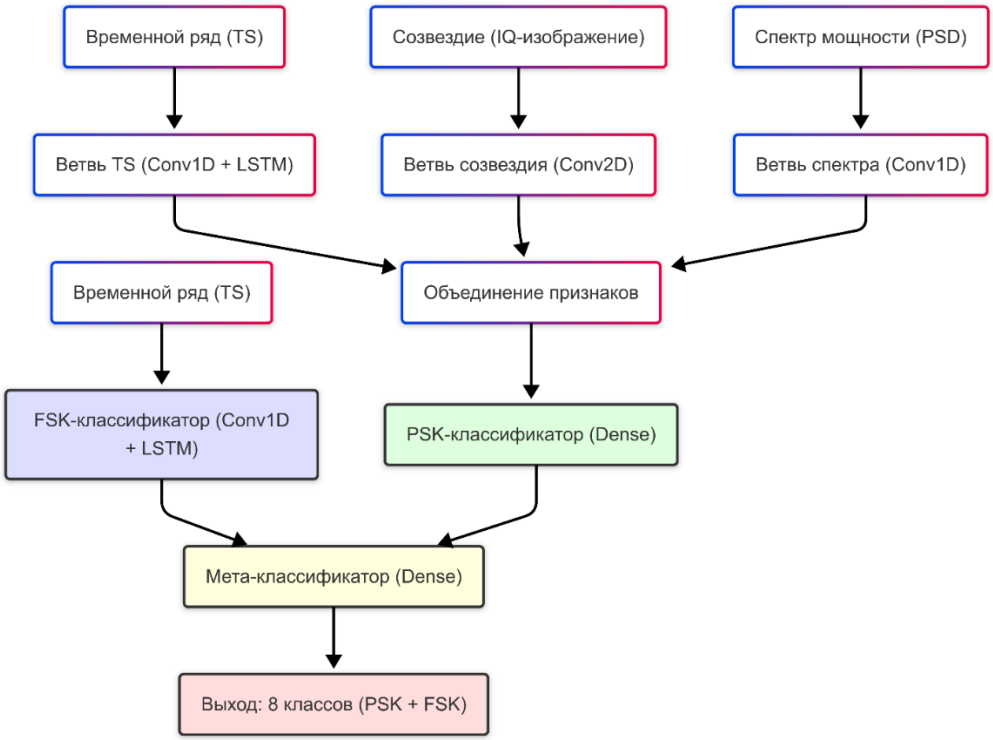


Рис. 5. Структурная схема классификатора вида модуляции сигнала
Fig. 5. Structural diagram of the signal modulation type classifier

Итоговая точность мета-классификатора при распознавании восьми типов модуляции составила более 90% для 2-PSK, 4-PSK, 2-FSK, 4-FSK, 8-FSK, 16-FSK (рис. 6,7) что подтверждает эффективность ансамблевого подхода, однако остается нерешенным вопрос классификации сигналов 8-PSK и 16-PSK с высокой точностью, что является вопросом дальнейших исследований.

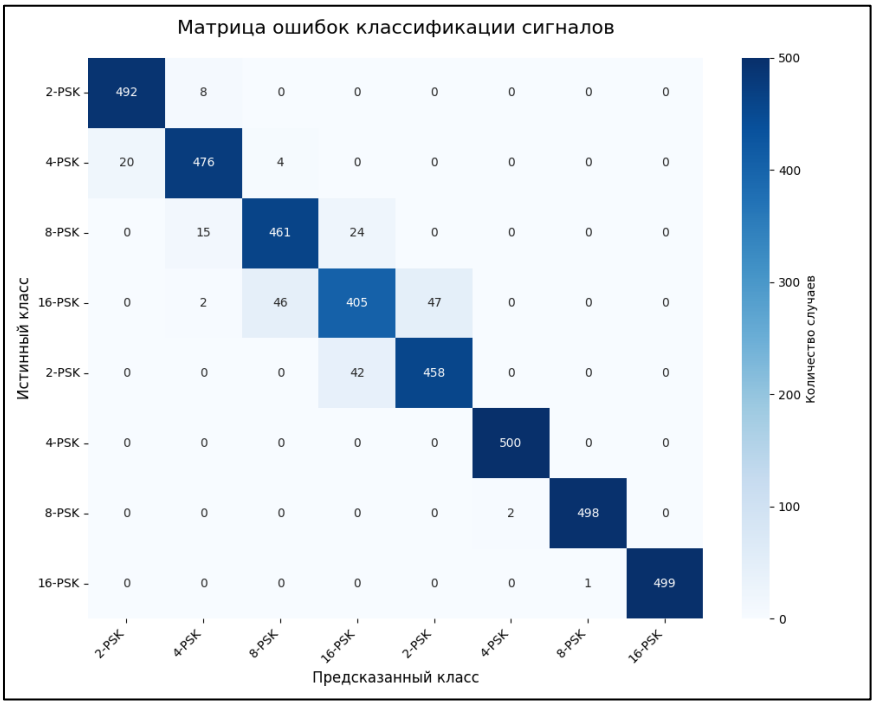


Рис. 6. Матрица ошибок классификации вида модуляции сигналов в абсолютных значениях
Fig. 6. Error matrix of classification of signal modulation type in absolute values

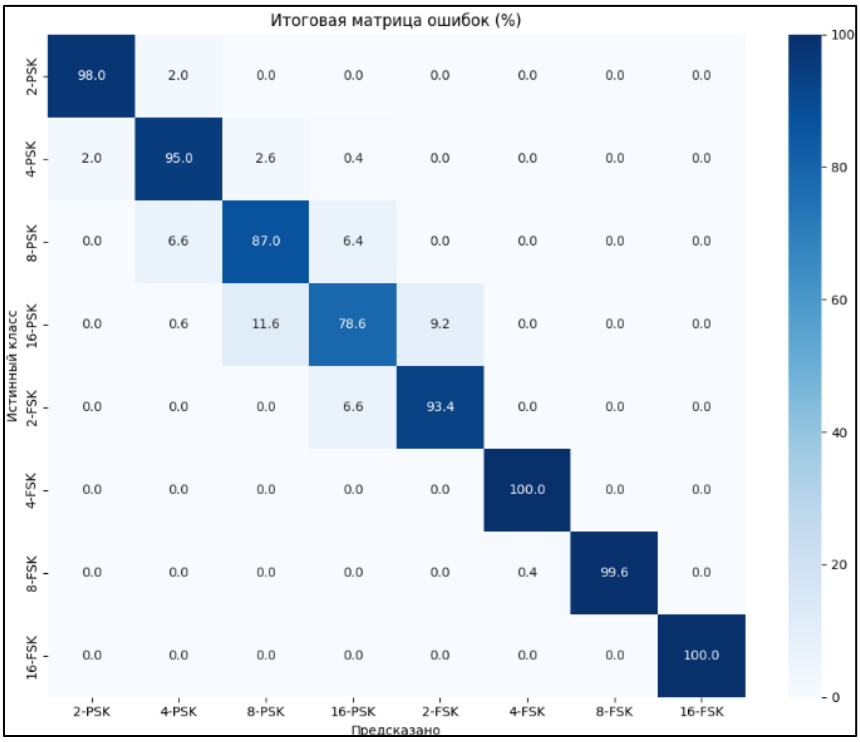


Рис. 7. Матрица ошибок классификации вида модуляции сигналов в процентах
Fig. 7. Matrix of classification errors of the type of signal modulation in percent

Модель обучается классическим способом и позволяет эффективно агрегировать информацию от разных типов сетей (специализированных под FSK и PSK). Согласно результатам тестирования, мета-классификатор демонстрирует наивысшую итоговую точность, что подтверждает высокую эффективность ансамблевого подхода при наличии гетерогенных источников признаков.

Заключение

Проведённое исследование подтвердило практическую применимость методов искусственного интеллекта, в частности — искусственных нейронных сетей, для автоматического определения вида модуляции цифрового сигнала в условиях некогерентного приёма. Разработан комплексный подход, включающий специализированные классификаторы для сигналов с модуляцией типа M-FSK и M-PSK, а также мета-классификатор, объединяющий выходные данные двух моделей и обеспечивающий повышение общей точности распознавания.

Наилучшие результаты показали модели, использующие структурированную архитектуру сверточных нейронных сетей для анализа временных, спектральных и пространственных признаков сигналов. В частности:

- высокая точность классификации FSK-сигналов была достигнута при использовании одномерных временных признаков даже в условиях случайной фазы;
- классификация PSK-сигналов потребовала более сложной архитектуры с многоканальной обработкой признаков, включая диаграммы сигнальных созвездий;
- итоговая точность мета-классификатора при распознавании восьми типов модуляции составила более 90% для 2-PSK, 4-PSK, 2-FSK, 4-FSK, 8-FSK, 16-FSK что подтверждает эффективность ансамблевого подхода, однако остается нерешенным вопрос классификации сигналов 8-PSK и 16-PSK с высокой точностью, что является вопросом дальнейших исследований.

Ключевые преимущества разработанного подхода:

- Устойчивость к фазовым и шумовым искажениям благодаря обработке разнообразных признаков.

- Архитектурная гибкость, обеспеченная модульным принципом построения специализированных ИНС.

- Высокая обобщающая способность через применение ансамблевых методов и мультимодального представления данных.

Список источников

1. Методы распознавания видов цифровой модуляции сигналов в когнитивных радиосистемах / С. С. Аджемов, Н. В. Кленов, М. В. Терешонок, Д. С. Чиров // Вестник Московского университета. Серия 3: Физика. Астрономия. – 2015. – № 6. – С. 19-27. – EDN VNUIOX.
2. *Курбаналиев, В. К. Кумулянтные* Признаки для определения типа манипуляции сигналов / В. К. Курбаналиев // Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии. – 2020. – Т. 12, № 3. – С. 319-328. – DOI 10.17725/rensit.2020.12.319. – EDN SLMVTS.
3. Система распознавания модуляции сигналов на основе нейронной сети с использованием ПЛИС / А. А. Бахтин, А. С. Волков, А. В. Солодков, И. А. Свиридов // Труды МАИ. – 2021. – № 121. – DOI 10.34759/trd-2021-121-13. – EDN TSKUCZ.
4. *Прощенок, Э. В.* Анализ современных видов манипуляции сигнала беспроводных систем связи / Э. В. Прощенок, А. Ю. Родионов // Вестник СибГУТИ. – 2022. – Т. 16, № 4. – С. 43-58. – DOI 10.55648/1998-6920-2022-16-4-43-58. – EDN HCUTGH.
5. Сравнительный анализ методов идетификации вида манипуляции радиосигнала при решении задач радиомониторинга / Г. А. Милорадов, В. М. Нгуен, А. А. Парамонов, К. В. Авдеев // Актуальные проблемы и перспективы развития радиотехнических и инфокоммуникационных систем" ("Радиоинфоком-2022") : Сборник научных статей по материалам VI Международной научно-практической конференции, Москва, 06–10 июня 2022 года. – Москва: МИРЭА - Российский технологический университет, 2022. – С. 176-180. – EDN QFNZPY.
6. *Нгуен, В. М.* Сверточная нейронная сеть в задаче распознавания цифровой модуляции радиосигналов / В. М. Нгуен, Г. А. Милорадов, А. А. Парамонов // Актуальные проблемы и перспективы развития радиотехнических и инфокоммуникационных систем" ("Радиоинфоком-2022") : Сборник научных статей по материалам VI Международной научно-практической конференции, Москва, 06–10 июня 2022 года. – Москва: МИРЭА - Российский технологический университет, 2022. – С. 181-185. – EDN YKBSGJ.
7. *Парамонов, А. А.* Распознавание видов цифровой модуляции радиосигналов с использованием многозадачной нейронной сети / А. А. Парамонов, М. В. Нгуен // Вестник воздушно-космической обороны. – 2022. – № 4(36). – С. 91-97. – EDN CQBGHY.
8. *Аджемов, С. С.* Распознавание видов цифровой модуляции радиосигналов с использованием нейронных сетей / С. С. Аджемов, М. В. Терешонок, Д. С. Чиров // Вестник Московского университета. Серия 3: Физика. Астрономия. – 2015. – № 1. – С. 23-28. – EDN TMFZHL.

DETERMINING THE TYPE OF COMMUNICATION SIGNAL MODULATION IN INCOHERENT RECEPTION USING AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

Y.P. Kiselev [1], **G.A. Miloradov** [2]
[1–2] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] kiselev.y.p @edu.mirea.ru, [2] miloradov@mirea.ru

Abstract

Problem Statement. Modern adaptive radio communication systems require increasingly high levels of automation in signal analysis under conditions of limited prior information, especially during non-coherent reception. One of the key tasks of such systems is determining the type of digital modulation of the input signal, which is complicated by phase ambiguity and high variability in transmission parameters. Traditional algorithms based on heuristic rules or statistical features do not always provide the necessary noise immunity and recognition accuracy in real-world conditions
given the computing power of signal processing devices.

Objective. The aim of this work is to develop a method for recognizing the modulation type of a digital signal during non-coherent reception using an artificial neural network architecture capable of effectively classifying signals with different positional characteristics under phase uncertainty.

Results. A comprehensive approach to the classification task was proposed, including the development of specialized neural network classifiers for M-PSK and M-FSK modulated signals, as well as a meta-classifier combining them. Computer simulations were conducted to classify eight signal types under additive white Gaussian noise and random signal phase conditions. The experimental results demonstrated the high efficiency of the proposed approach: the final classification accuracy reached 90% for 2-PSK, 4-PSK, 2-FSK, 4-FSK, 8-FSK, and 16-FSK. Particularly high accuracy was observed in recognizing FSK-modulated signals, while PSK signals required more complex processing of phase features.

Practical Significance. The developed neural network method holds significant practical value and can be applied in radio monitoring systems, cognitive radio networks, and receiving devices with limited computational resources. The use of artificial neural networks enhances the automation of signal information analysis and ensures robustness against phase and noise distortions in digital signal classification.

Keywords

Digital phase modulation, narrowband interference, additive noise, artificial neural network, radio communication, adaptive radio systems.

УДК 621.376.9

РАЗВЕРТЫВАНИЕ MESH-СЕТЕЙ СУБГИГАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА

А.П. Краснослободцев[1], **Е.В. Самохина**[2]
[1–2] МИРЭА – Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] alsdir@yandex.ru, [2] samohina@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. В условиях современной цифровой трансформации наблюдается устойчивая тенденция к расширению спектра услуг, предоставляемых посредством беспроводных технологий связи. Например, интернет вещей (IoT), который способен функционировать и взаимодействовать с различными стандартами связи, например, Wi-Fi, Bluetooth, Z-Wave, Zigbee. Существуют и другие узкоспециализированные стандарты связи со своими особенностями, но всех их объединяет несколько недостатков, которые заключаются в небольшой дальности распространения сигнала (для большинства протоколов не более 100 м), высоким уровнем энергопотребления, зависимости от подключения к сети интернет и наличии сотовой инфраструктуры. Возникает необходимость в создании и развертывании сетей, способных обеспечивать критически важный обмен информацией при отсутствии коммуникации не только в повседневной жизни, но и в условиях высокой неопределенности. Перспективным направлением решения обозначенных проблем представляется разработка и внедрение Mesh-сетей. Их изучение и дальнейшее внедрение может серьезно повлиять не только на жизнь человека в традиционном цифровом ее понимании, но и на подходы в организации связи у спецслужб в труднодоступных местах.

Цель. Развернуть экспериментальные Mesh-сети на базе как готовых дооснащенных коммерческих Mesh-изделий, так и самостоятельно разработанного радиоустройства на базе Lora-модуля с применением программного обеспечения с открытым кодом «Meshtastic», измерить дальность передачи сигнала.

Результаты. В рамках данной статьи авторам удалось успешно развернуть Mesh-сети на рабочих частотах 433 МГц и 868 МГц как с готовыми дооснащенными устройствами, так и с внедрением авторского. В рамках проведенных опытов были выполнены измерения дальности передачи текстового сообщения при следующих конфигурациях: прямая радиосвязь между коммерческими устройствами, транзитная через разработанный ретранслятор.

Практическая значимость. Разработка автономных Mesh-сетей имеет не только значительный научно-практический интерес в части организации устойчивых телекоммуникационных систем специального назначения, но и практическую ценность в различных сферах. Это обеспечение связью в удаленных и труднодоступных регионах с отсутствующей телекоммуникационной инфраструктурой, применение в коммерческих проектах в качестве резервной линии связи, задействование в спасательных операциях. Mesh-сети могут найти самое разнообразное применение в различных отраслях благодаря своей надежности, автономности и безопасности.

Ключевые слова

Mesh-сеть, Meshtastic, радиомодуль, Lora, автономная связь, децентрализованная сеть, приемопередатчик.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

В условиях стремительного развития цифровых технологий и возрастающей зависимости общества от телекоммуникационных услуг особую привлекательность приобретают исследования в области создания автономных систем связи, способных функционировать при отсутствии традиционных сетевых инфраструктур, такой сетью является Mesh-сеть. Данная технология представляет значительный интерес благодаря своей децентрализованной архитектуре и отсутствию жестких требований к сложной инфраструктуре. Одним из наиболее перспективных направлений в этой области может стать Mesh-радиосеть на базе Lora-модулей, позволяющих обеспечить дальнюю связь при сравнительно низком энергопотреблении.

Цель работы – развернуть экспериментальные Mesh-сети на базе как готовых дооснащенных коммерческих Mesh-изделий, так и самостоятельно разработанного радиоустройства на базе Lora-модуля и программного обеспечения с открытым кодом «Meshtastic», измерить дальность передачи сигнала.

Краткие теоретические сведения

Радиосеть – беспроводная система передачи информации между несколько устройствами с применением радиоволн. Она не требует физического соединения между устройствами и позволяет организовать обмен данными на расстоянии от нескольких метров до сотен километров. Сами радиосети различаются по архитектуре, дальности действия, назначению [1].

В данной работе пойдет речь о децентрализованной Mesh-сети (ячеистой), где каждое устройство может не только передавать и принимать информацию, но и ретранслировать ее. Такую сеть можно назвать самоорганизующейся по следующим критериям:

– добавление новых устройств в радиосеть происходит путем достижения ими зоны радиовидимости;

– наличие способности автоматически подбирать наиболее оптимальные маршруты для доставки сообщения.

Основное отличие децентрализованной от централизованной радиосети заключается в равноправии всех узлов. В случае выхода из строя какого-либо узла, Mesh-сеть самостоятельно найдет другой путь доставки сообщения до получателя. Визуальное представление ячеистой топологии представлено на рисунке 1. Данная сеть лишь формально имеет два типа узлов: беспроводные Mesh-маршрутизаторы и беспроводные Mesh-конечные пользователи. Уникальной особенностью является то, что одно Mesh-устройство может выполнять функции как маршрутизатора, так и конечного пользователя.

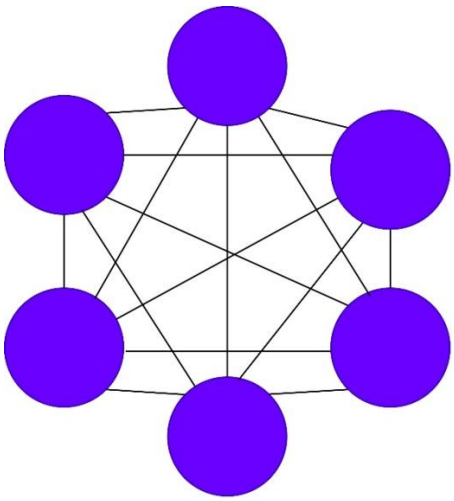


Рис. 1. Пример ячеистой топологии Mesh-сети
Fig. 1. Example of a mesh topology of a Mesh network

Mesh-сети обладают рядом важных особенностей, например:

- децентрализованная архитектура;
- динамическая организация;
- гибкость расширения;
- безопасность.

Динамическая организация показывает, что новые узлы самостоятельно встраиваются в Mesh-сеть без участия оператора и без дополнительной донастройки оборудования.

Под гибкостью расширения подразумевается, что присоединяемые новые узлы увеличивают зону покрытия всей сети и улучшают ее пропускную способность.

Под безопасностью подразумевается наличие протоколов шифрования с поддержкой AES-128/256.

Mesh-сети могут быть реализованы с помощью различных беспроводных технологий, каждая из которых имеет свои отличительные особенности. Основные из них приведены в таблице 1.

Таблица 1. Виды беспроводных технологий передачи информации

№	Технология	Частота	Дальность действия, м	Скорость передачи данных	Энергопотребление
1	Wi-fi Mesh	2,4 ГГц	100	100+ Мбит/с	1 А
2	Zigbee	2,4 ГГц	100	250 Кбит/с	180 мА
3	Bluetooth Mesh	2,4 ГГц	30	2 Мбит/с	0,5 А
4	Lora Mesh	433/868/915 МГц	20 000	До 50Кбит/с	0,1-1 мА в режиме сна, 10-120 мА при функционировании

Дальнейший материал статьи будет посвящен Lora Mesh [2, 3]. При использовании Lora модулей можно добиться максимальной дальности передачи информации при условии автономности сети, где энергопотребление изделия критически важно. Дальность действия таких устройств доходит до 20 км при прямой видимости и 1-5 км в городской застройке. Авторы проводили эксперименты в субгигагерцовом диапазоне на частотах 433 МГц и 868 МГц, которые разрешены к использованию на территории Российской Федерации, с мощностью излучения сигнала 10 мВт. Каждая из заявленных частот Lora Mesh имеет свои характеристики, указанные в таблице 2.

Таблица 2. Характеристики частот, задействованных в статье

№	Критерий	433 МГц	868 МГц
1	Дальность связи: Город; Поле; Лес.	Дальность связи: 1,5 – 3 км; 10 – 15 км; 4 – 6 км.	Дальность связи: 1 – 2 км; 8 – 12 км; 3 – 5 км.
2	Проникновение сигнала	Эффективно проходит через стены, деревья, сложный рельеф	Теряет эффективность при препятствиях
3	Доступные каналы	Узкий диапазон (433,05 – 434,79 МГц)	Широкий диапазон (868. 1/868,3/868,5 МГц)
4	Скорость передачи	До 50 Кбит/с	До 50 Кбит/с
5	Энергопотребление	Более эффективен на дальних расстояниях	Требует больше энергии для аналогичной дальности
6	Разрешение на использование	До 10 мВт без лицензии	До 10 мВт без лицензии
7	Лучшие условия применения	Сельская местность, лесные массивы, промышленные объекты	Городские условия, коммерческие системы
8	Помехи	Меньше промышленных помех, но больше бытовых устройств	Больше промышленных помех, но в целом эфир чище

Акцентировать внимание стоит на пункте №1. Написанные дальности связи могут быть весьма субъективны, поскольку существует множество факторов, которые оказывают влияние на этот параметр.

Первые эксперименты будут проводиться с использованием готовых, но дооснащенных Meshtastic – устройств с частотами 433 и 868 МГц.

Meshtastic – платформа, суть которой заключается в организации децентрализованных mesh-сетей с открытым исходным кодом на базе Lora модулей [4]. Данная технология позволяет передавать на большие расстояния текстовую информацию при отсутствии вышек сотовой связи и интернета. Особенностью данной технологии является ее ячеистая топология, позволяющая отправить сигнал конечному получателю через его соседей, путем организации динамического маршрута, то есть каждое расположенное в сети устройство может быть, как конечным пользователем, так и ретранслятором.

Lora модуль – приемопередатчик, реализующий технологию Lora (Long Range) с целью энергоэффективной передачи информации на дистанции до 20 км. Основной базовый компонент – RF-чип, в более старых моделях это Semtech SX1276/SX1278, в более новых поколениях SX1262. К микроконтроллеру данные модули присоединяются по интерфейсу SPI. Lora модули имеют 2 основных вида модуляции: CSS и FSK.

CSS – Chirp Spread Spectrum – линейно-частотная модуляция с динамическим диапазоном – 148 дБм и скоростью передачи информации до 50 Кбит/с. Именно при CSS получалось добиваться наивысшей дальности передачи сигнала.

FSK – частотная манипуляция, характеризуется чувствительностью -130 дБм и скоростью передачи до 300 Кбит/с.

Несмотря на заявленные скорости передачи информация у CSS – 50 Кбит/с и FSK – 300 Кбит/с добиться таких значений в радиосети «Meshtastic» невозможно, максимальная скорость передачи данных у радиоустройств может быть 37,5 Кбит/с.

Ниже представлены данные с официального сайта «Meshtastic», которые поясняют настройки Lora-модулей (таблица 3) и зависимость чувствительности устройства от скорости передачи информации (рисунок 2) [5].

Таблица 3. Настройки Lora-модулей

Режим работы	Наименование режима	Скорость передачи информации	Коэффициент распределения	Скорость кодирования	Полоса пропускания	Чувствительность
Short Range / Turbo	Short Turbo	21,88 Кбит/с	7 / 128	4/5	500 КГц	140 дБ
Short Range / Fast	Short Fast	10,94 Кбит/с	7 / 128	4/5	250 КГц	143 дБ
Short Range / Slow	Short Slow	6,25 Кбит/с	8 / 256	4/5	250 КГц	145,5 дБ
Medium Range / Fast	Medium Fast	3,52 Кбит/с	9 / 512	4/5	250 КГц	148 дБ
Medium Range / Slow	Medium Slow	1,95 Кбит/с	10 / 1024	4/5	250 КГц	150,5 дБ
Long Range / Fast	Long Fast	1,07 Кбит/с	11 / 2048	4/5	250 КГц	153 дБ
Long Range / Moderate	Long Moderate	0,34 Кбит/с	11 / 2048	4/8	125 КГц	156 дБ
Long Range / Slow	Long Slow	0,18 Кбит/с	12 / 4096	4/8	125 КГц	158,5дБ

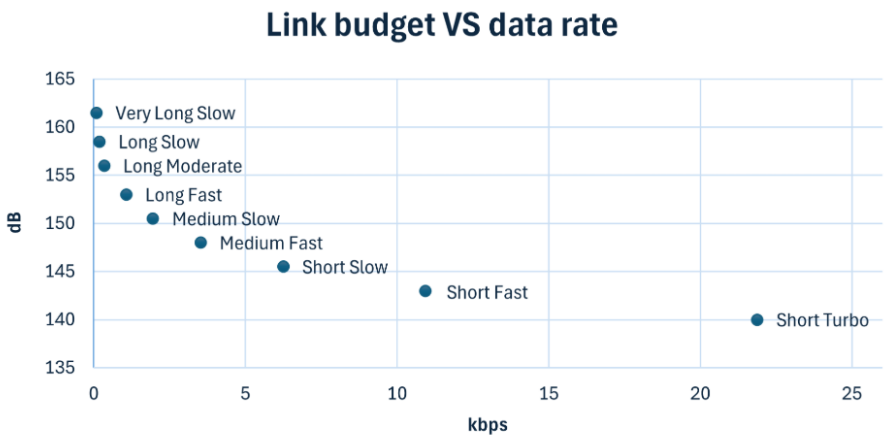


Рис. 2. Зависимость чувствительности от скорости передачи информации
Fig. 2. Dependence of sensitivity on the speed of information transmission

Дооснащение коммерческих Meshtastic – решений

На рисунке 3 представлено готовое изделие производства компании LILYGO, выбранное в качестве базовой платформы для проведения первых измерительных экспериментов, электропитание устройства осуществляется через интерфейс Mini USB. С целью получения необходимой автономности устройства авторы реализовали модификацию системы питания: с помощью точечной сварки и паяльной станции к изделию был интегрирован Li-ion аккумулятор формата 21700 емкостью 5000 мАч как показано на рисунке 4. Данное техническое решение позволило обеспечить автономную непрерывную работу устройства.

Для удобства и комфорта проведения будущих измерений была выполнена разработка защитного корпуса в системе автоматизированного проектирования «Компас – 3D». Внешний вид разработанной модели, напечатанной на 3D-принтере, представлен на рисунке 5.



Рис. 3. Внешний вид изделия LILYGO TTGO Meshtastic LoRa32 модель V2.1_1.6.1
Fig. 3. External view of the product LILYGO TTGO Meshtastic LoRa32 model V2.1_1.6.1

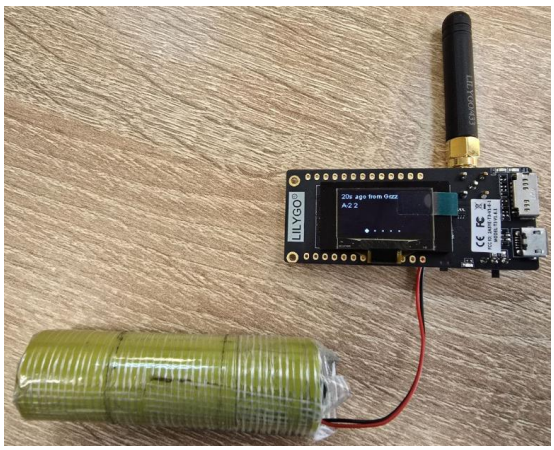


Рис. 4. Подключенный к изделию Li-ion аккумулятор 21700
Fig. 4. Li-ion battery 21700 connected to the product



Рис. 5. Напечатанный корпус для изделия
Fig. 5. Printed enclosure for the product

Прошивка устройства

Используя web-версию загрузчика программного обеспечения с официального сайта «Meshtastic» авторы выбрали используемое устройство и установили актуальную прошивку на момент начала работ (Рисунок 6). После чего произвели установку специализированного клиентского приложения на мобильное устройство с ОС Android [6]. На рисунке 7 представлен скриншот об успешном подключении к устройству».

В процессе подготовки публикации авторы обнаружили новые релизы прошивок устройств. Это свидетельствует о необходимости мониторинга обновленных версий программного обеспечения, поскольку авторы проекта «Meshtastic» могут устранять выявленные ошибки и уязвимости.

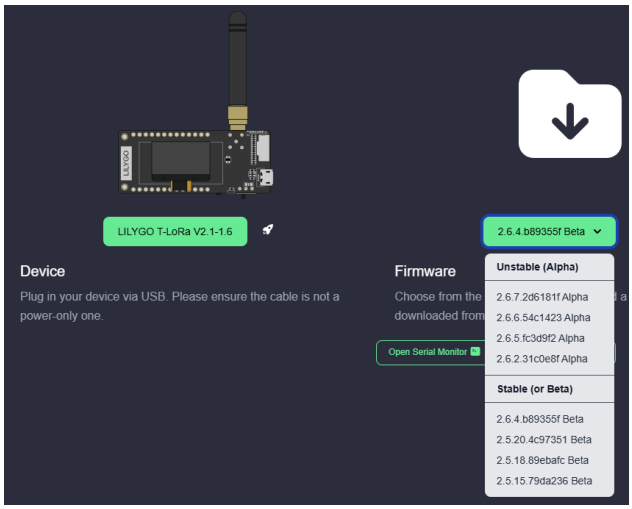


Рис. 6. Загрузка прошивки на устройство
Fig. 6. Loading the device firmware

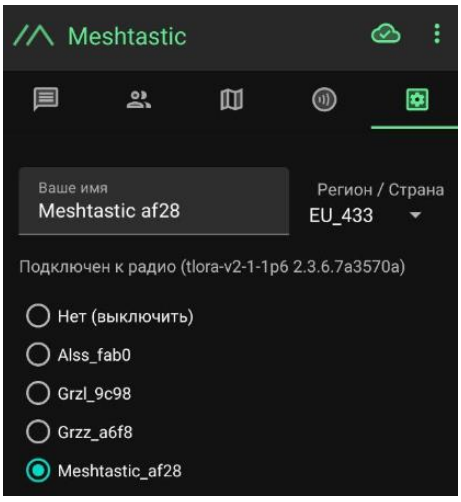


Рис. 7. Скриншот подключения к устройству
Fig. 7. Screenshot of connection to the device

Развертывание Mesh – сети с коммерческими изделиями на рабочей частоте 433 МГц

Во время проведения первого опыта по передаче информации между коммерческими устройствами «Meshtastic» на рабочей частоте 433 МГц авторы обратили внимание на отсутствие на карте других активных устройств в момент проведения опыта. На форумах активно обсуждается выбор рабочей частоты в черте города, пользователи устройств сходятся во мнении, что в городской застройке наиболее предпочтительно использовать частоту 868 МГц. Проанализировав имеющиеся данные, авторы пришли к заключению, что в районе «Тропарёво-Никулино» отсутствуют активные Meshtastic-устройства, функционирующие в радиочастотном диапазоне 433 МГц.

Тем не менее, авторы продолжили проверку текстовой коммуникации друг с другом. В ходе измерений установлено: возможность общаться текстовыми сообщениями сохранялась на дистанции до 1,5 км, после чего наблюдалось ухудшение связи, начинались частичные потери сообщений, некоторые из которых совсем не доходили до получателя, ретрансляторы отсутствовали (рисунок 8).

В последующем, авторами был осуществлен повторный эксперимент по радиосвязи в диапазоне 433 МГц уже на территории другого района. В результате наблюдений удалось обнаружить активные устройства и установить с ними стабильное соединение посредством трассировки сигнала (Рисунок 9). Следует отметить: при прямом обмене данными между устройствами отображаются значения таких параметров как отношение сигнал-шум (SNR) и уровень принимаемого сигнала (RSSI), в то время как при организации связи через ретранслятор вышеописанные значения параметров отсутствуют. Это может быть обусловлено особенностями реализации протокола передачи данных при многоузловой конфигурации, когда промежуточные узлы выполняют функции ретрансляции без сохранения и отображения характеристик сигнала.

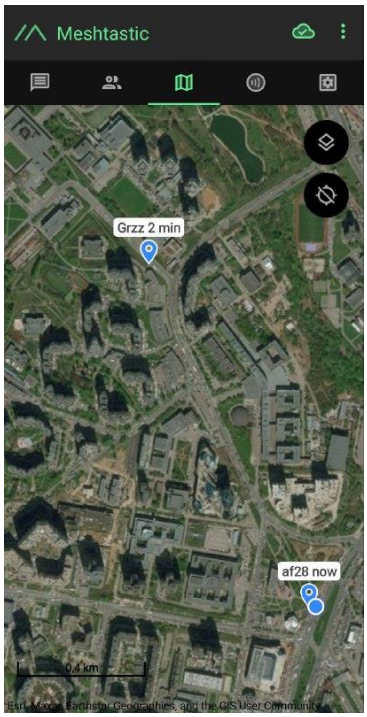


Рис. 8. Дальность действия устройств на частоте 433 МГц
Fig. 8. Range of 433 MHz devices

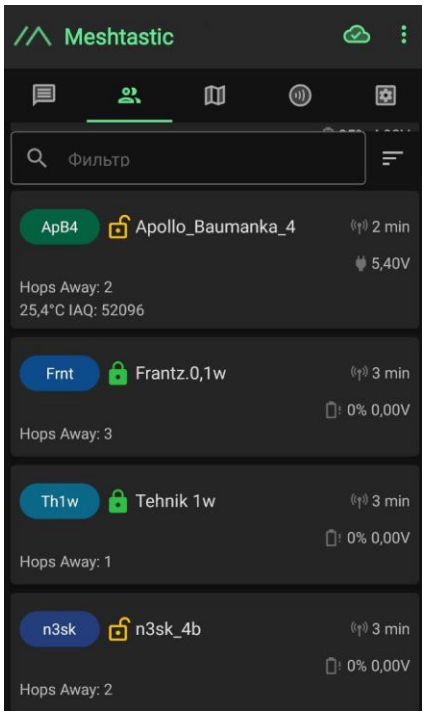


Рис. 9. Обнаруженные устройства на частоте 433 МГц
Fig. 9. Detected devices on the 433 MHz frequency

В процессе проведения дальнейших сеансов связи на рабочей частоте 433 МГц авторам удалось установить соединение с Meshtastic-устройством с позывным «RA5CQ client 1» на расстоянии в 43,5 км посредством трассировки сигнала, при этом были задействованы три ретранслятора, как показано на рисунке 10 (Hops Away: 3).

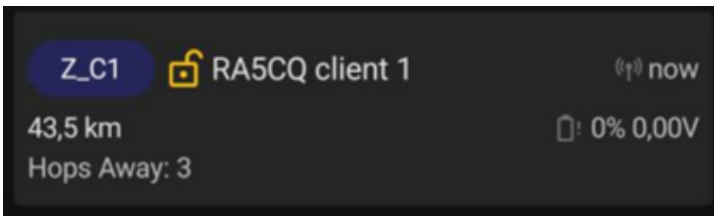


Рис. 10. Максимально зафиксированная дальность обмена информацией.
Fig. 10. Maximum recorded range of information exchange.

Разработка авторского радиоустройства

Авторами было разработано собственное Meshtastic-устройство с помощью которого была организована закрытая Mesh-сеть, состоящая из трёх устройств: 2 – готовые дооснащенные продукты, 1 – самостоятельно разработанный.

Основные сборочные единицы собранного Meshtastic-устройства представлены ниже:

– Микроконтроллер ESP 32.
– OLED-дисплей TENSTAR ROBOT.
– Lora module SX1278.
– GPS модуль NEO-6M.

Монтаж компонентов на двухстороннюю макетную плату осуществлялся методом пайки в соответствии с электрической схемой соединения, отображенной на рисунке 11.

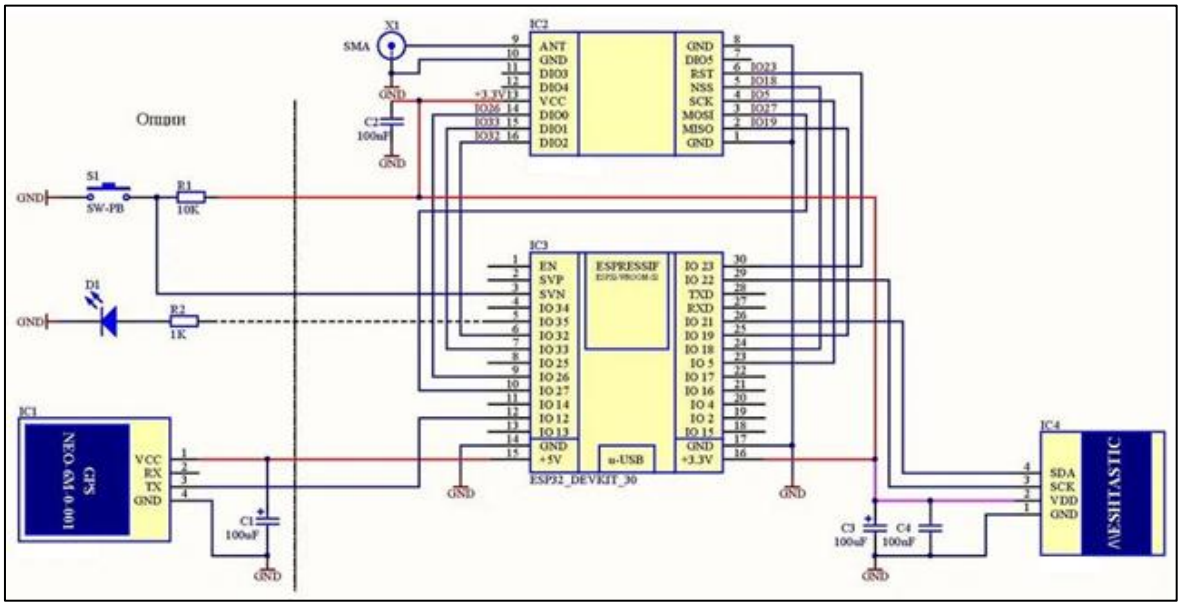


Рис.11. Электрическая схема соединения сборочных единиц
Fig.11. Electrical connection diagram of assembly units

Внешний вид разработанного и собранного изделия представлен на рисунке 12.

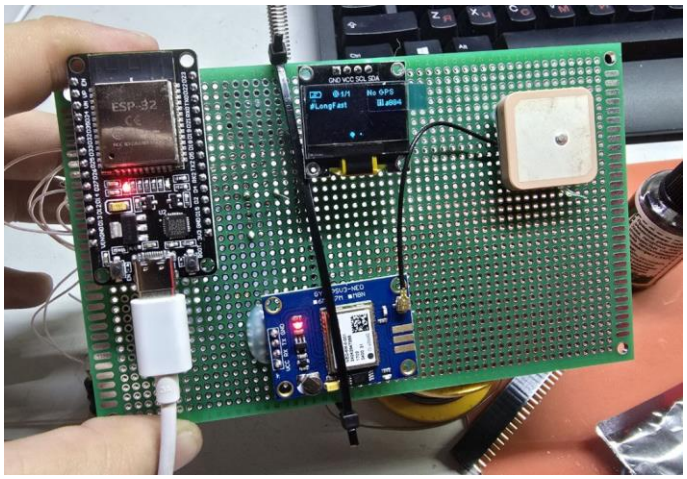


Рис. 12. Внешний вид разработанного устройства
Fig. 12. Appearance of the developed device

Развертывание Mesh-сети с авторским ретранслятором

В рамках исследования была развернута радиосеть, включающая два коммерческих радиопередатчика и один авторской разработки. С целью идентификации устройств авторы присвоили следующие логические позывные своим устройствам: M1_433 и M2_433 – готовые дооснащенные изделия, M_avt_433 – собранное решение авторов статьи. Как показано на рисунке 13 в сети присутствуют три активных устройства. Следует отметить: на изделие с позывным «M1_433» от «M2_433» информация передается через ретранслятор, о чем свидетельствует параметр «Hops Away: 1», тогда как связь с авторским решением (ретранслятором) устанавливается напрямую. На рисунке 14 представлен пример переписки авторов, рисунок 15 демонстрирует трассировку информационного обмена между устройствами «M2_433» и «M1_433».

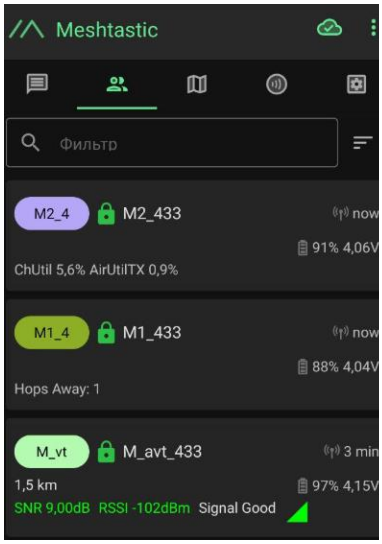


Рис. 13. Отображение видимых устройств
Fig. 13. Display of visible devices

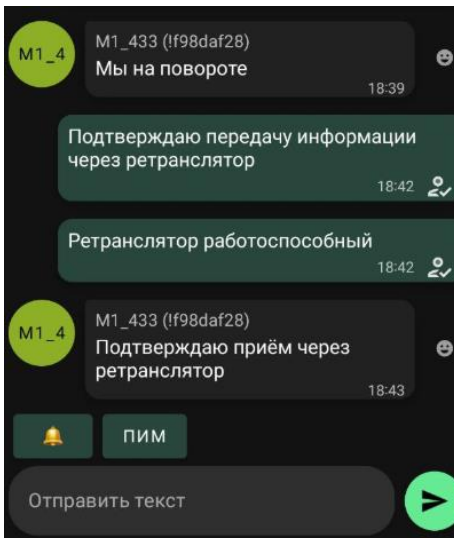


Рис. 14. Обмен сообщениями
Fig. 14. Message exchange

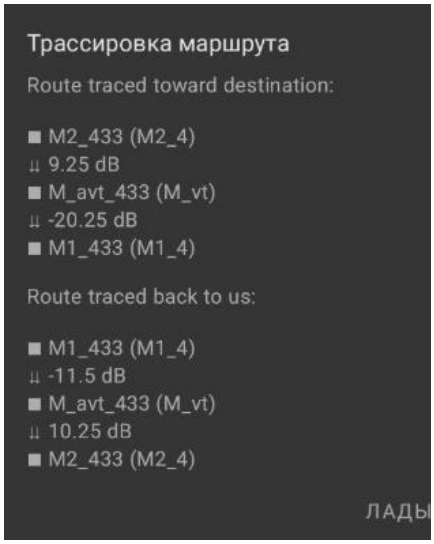


Рис. 15. Трассировка информационного обмена
Fig. 15. Tracing the information exchange

Полученные результаты свидетельствуют о том, что технически предлагаемый авторами ретранслятор работоспособный и исправно функционирующий, дальность передачи текстового сообщения составила порядка 5 км, что является хорошим результатом.

Развертывание Mesh-сети на рабочей частоте 868 МГц

Параллельно с испытаниями устройств, работающих на частоте 433 МГц, авторы приступили к проведению измерений параметров готовых изделий в количестве 3 шт., работающих на частоте 868 МГц. В роли готового устройства использовался Heltec Wifi Lora V3. С целью получения его автономности и удобства эксплуатации к изделию так же был присоединен аккумулятор 21700, спроектирован и напечатан на 3D-принтере корпус. Фотография готового изделия представлена на рисунке 16.



Рис. 16. Внешний вид Meshtastick – устройства 868 МГц
Fig. 16. External view of Meshtastick – 868 MHz device

Одно устройство в течении получаса смогло обнаружить около 30 активных Meshtastic-изделий на территории Москвы и Московской области. Скриншот карты из приложения представлен на рисунке 17.

Как показала практика, устройств, работающих по Москве и Московской области на частоте 868 МГц намного больше. Из-за обильного количества ретрансляторов у авторов была возможность организовать обмен информацией с устройствами практически по всей Москве. Важно обратить внимание на область покрытия Mesh-сети, авторам удалось обнаружить несколько устройств в Московской области. До устройства с позывным «Bagdad», который находился от авторов на расстоянии 17,3 км сообщение дошло через два ретранслятора, а до устройства с позывным «Cherta_N8» сообщение прошло напрямую, минуя 9,1 км, при этом SNR = 16,5 дБ, RSSI = 126 ДБм (Рисунок 18). «Hops Away» показывает количество «пересылок» сигнала до конечного пользователя.

Авторы статьи со своими устройства смогли обнаружить друг друга через «чужие» ретрансляторы и провести сеанс общения на дистанции около 10 км. В ходе проведенных опытов максимальная зафиксированная дальность возможной передачи текстового сообщения на частоте 868 МГц составила 32,3 км через 3 ретранслятора как отображено на рисунке 19.

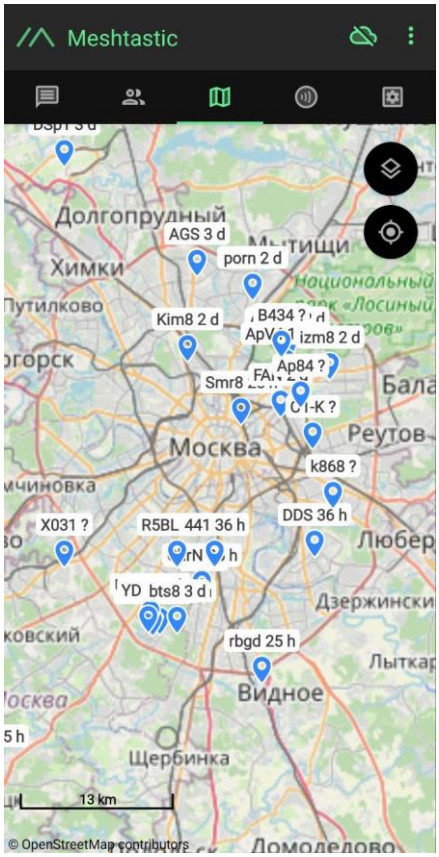


Рис. 17. Карта с обнаруженными устройствами
Fig. 17. Map with detected devices

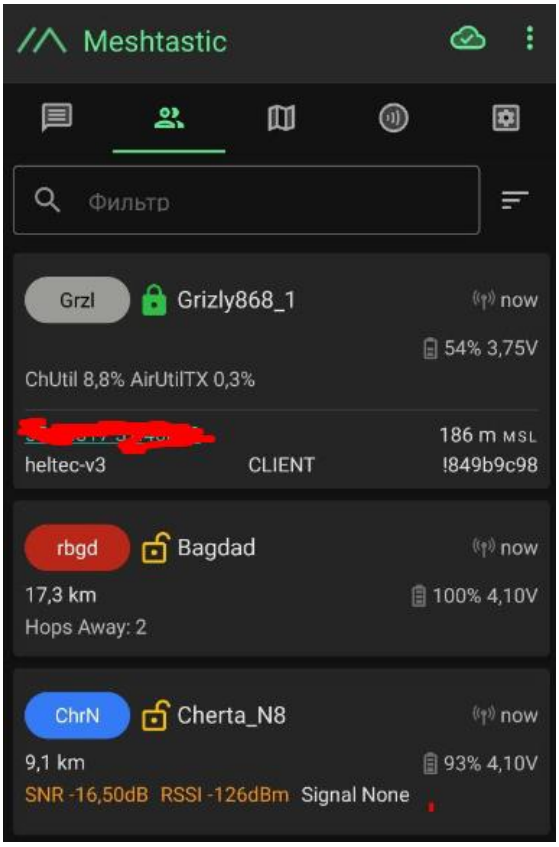


Рис. 18. Полученные данные по дальности связи
Fig. 18. Obtained data on communication range

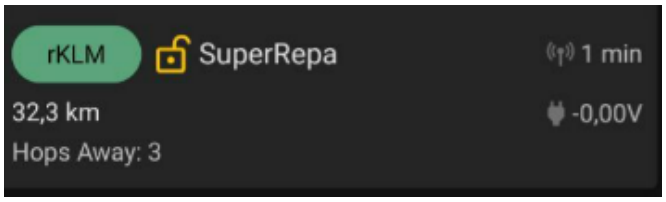


Рис. 19. Максимально зафиксированная дальность возможной передачи сообщения 868 МГц
Fig. 19: Maximum recorded range of possible message transmission 868 MHz

Заключение

В данной работе были развернуты Mesh-сети, в которые включены как дооснащенные коммерческие, так и самостоятельно разработанное Meshtastic-устройство. В ходе проведения опытов были получены удовлетворительные результаты для устройств диапазона 433 МГц: в условиях плотной городской застройки максимальная дальность прямой связи между узлами составила 1.5 км, тогда как при задействовании разработанного ретранслятора данный показатель увеличился до 5 км. Так же были проведены опыты с коммерческими устройствами, функционирующими на рабочей частоте 868 МГц. Авторы смогли провести сеанс текстового обмена через «чужие» ретрансляторы на дальности порядка 10 км. Необходимо отметить, что полученные результаты измерений носят индивидуальный характер и требуют дополнительных проверок. На дальность распространения радиоволны влияет множество факторов. Важно учитывать рельеф местности, препятствия, технические параметры антенны (особенно коэффициент усиления) и т.д.

Максимально возможная измеренная дальность передачи информации путем трассировки сигнала на рабочей частоте 433 МГц составила 43,5 км, при 868 МГц – 32,3 км, что является отличным результатом, максимальное количество обнаруженных активных устройств с рабочей частотой 868 МГц в процессе проведения измерений достигало 70 единиц

на территории Москвы и Московской области. Полученные данные подтверждают жизнеспособность построения закрытой Mesh-сети на базе Lora-модулей. Устройства обеспечивали стабильную передачу сигнала через несколько промежуточных узлов, а встроенное в алгоритм обмена информацией шифрование обеспечивало защиту передаваемой информации. Так же проведённые опыты подтвердили возможность создания отказоустойчивой Mesh-сети на базе самостоятельно разработанных радиоустройств, которые можно интегрировать в существующею Meshtastic – радиосеть.
В рамках перспективных исследований авторы планируют развернуть Mesh-сеть на базе собственных аппаратных разработок, включающих специализированные приемопередатчики с программным обеспечением для взаимодействия с ними. Данную система будет интегрирована с существующими платформами программно-конфигурируемого радио (ПКР, SDR) [7]. Подобная гибридная архитектура позволит создать высокоэффективную инфраструктуру, где устройства SDR, обладая существенно расширенными функциональными возможностями, повышенной пропускной способностью и мощностью смогут выступать в качестве мощных ретрансляционных узлов, обеспечивая этим существенное увеличение радиуса покрытия сети.

Список источников

1. *Летфуллин, И. Р.* Стандарты и технологии беспроводных сетей связи ближнего радиуса действия // Труды МАИ. – 2022. – № 124.
2. *Ардыханов, Б. И.* Варианты построения радиосетей специального назначения на основе Lora технологий / Б. И. Ардыханов, С. Е. Орехов // Радиоэлектронные устройства и системы для инфокоммуникационных технологий" ("РЭУС-ИТ 2024") : Доклады Всероссийской конференции, посвященной Дню радио, Москва, 31 мая 2024 года. – Москва: Российское научно-техническое общество радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова, 2024. – С. 123-125.
3. *Звонарев, В. А.* Основные принципы разработки программного комплекса, основанного на технологии Lora для систем «Интернет вещей» / В. А. Звонарев, В. Ю. Колосков, А. А. Равина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 9. – С. 360-362.
4. *Дунаев, И. Д.* Беспроводная сенсорная сеть LORA для интернета вещей / И. Д. Дунаев, В. А. Архинчеев, Д. В. Скареднева // Вопросы устойчивого развития общества. – 2022. – № 3. – С. 602-612.
5. URL: https://meshtastic.org/docs/overview/radio-settings/
6. *Лузин, И. А.* Создание передатчика для децентрализованной сети / И. А. Лузин, В. С. Русецкий // Проблемы и перспективы развития АПК региона : Материалы Межвузовской студенческой научно-практической конференции, Пермь, 25–29 ноября 2024 года. – Пермь: ИПЦ Прокростъ, 2025. – С. 253-259.
7. *Краснослободцев, А. П.* Многоканальная система сбора и обработки данных на базе SDR-технологий / А. П. Краснослободцев, Е. В. Самохина // Актуальные проблемы и перспективы развития радиотехнических и инфокоммуникационных систем ("Радиоинфоком-2024") : Сборник научных статей по материалам VIII Международной научно-практической конференции, Москва, 18–22 ноября 2024 года. – Москва: МИРЭА - Российский технологический университет, 2024. – С. 436-440.

DESIGN AND DEPLOYMENTCLOSED MESH NETWORK USING THE DEVELOPED RADIO DEVICE

A.P. Krasnoslobodtsev[1], **E.V. Samokhina**[2]
[1–2] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] alsdir@yandex.ru, [2] samohina@mirea.ru

Abstract

With the rapidly developing global digital transformation covering all spheres of modern society, there is a steady trend towards exponential growth in the need for highly efficient wireless communication technologies. Of particular importance in this context are promising Internet of Things (IoT) systems, the functioning of which is based on the integrated use of heterogeneous data transmission protocols, including, but not limited to: Wi-Fi (IEEE 802.11 standard), Bluetooth (IEEE 802.15.1 specification), Z-Wave (ITU-T G.9959 recommendation) and Zigbee (IEEE 802.15.4 standard). However, a comprehensive analysis of existing technological solutions demonstrates the presence of significant system limitations, among which the most critical are: extremely limited range (in most cases not exceeding 100 meters for standard physical layer protocols), increased power consumption due to the peculiarities of modulation schemes and algorithms of access to the transmission medium, as well as the fundamental dependence on the availability of centralized infrastructure (including Internet gateways and base stations). These limitations become especially acute when considering the tasks of providing reliable communications for critical infrastructure facilities, emergency response systems, as well as when organizing communications in remote and inaccessible areas. As the most promising direction for solving these problems, modern research considers the development and implementation of innovative decentralized Mesh-networks, which have a number of fundamental competitive advantages, including: architectural fault tolerance due to the distributed structure, full autonomy of operation, the ability to dynamically expand the coverage area, as well as the use of adaptive routing algorithms. Numerous experimental studies and theoretical developments convincingly demonstrate that competent implementation of Mesh-technologies can not only radically transform existing approaches to the organization of telecommunication systems, but also provide a fundamentally new level of reliability and survivability of communications, as well as significantly expand the operational capabilities of special services and emergency rescue teams. Thus, scientific research aimed at the development of innovative solutions in the field of organization of autonomous wireless networks for special purposes, capable of stable operation in conditions of full or partial degradation of traditional communication infrastructure, with special attention to the optimization of power consumption, ensuring system scalability and guaranteeing the necessary level of information security of transmitted data, is of particular relevance.

Keywords

Mesh network, Meshtastic, radio module, Lora, autonomous communication, decentralized network, transceiver.

УДК 527.62

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЛОКАЛЬНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ПОМЕЩЕНИЯ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

М.Н. Крижановский[1]
[1] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1]mihakri007@mail.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Системы локального позиционирования решают важную задачу навигации в пространствах, где по причинам изолированности от внешних сигналов или же в виду наличия помех использование глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) недоступно. Развертывание систем локального позиционирования позволяет реализовать навигационную инфраструктуру непосредственно в пределах замкнутого пространства, являющегося рабочей зоной, зачастую в том числе на базе уже имеющейся инфраструктуры обеспечения беспроводной связи.

Ключевой проблемой систем локального позиционирования является параметр точности определения координат. Существует множество научных работ, где авторы, как правило, предлагают методики и алгоритмы способствующие снижению погрешности измерений за счет введения различных ступеней обработки измеряемых для расчета координат величин. Но не менее важным является осуществление мер по минимизации ошибки еще на стадии проектирования и развертывания системы позиционирования.

Цель данной статьи – применить разработанный ранее набор методик и программного обеспечения для проектирования систем локального позиционирования, для проектирования и последующего развертывания системы навигации в помещении сложной геометрической формы. По результатам макетирования оценить эффективность предлагаемых мер.

Результаты. Была спроектирована, и развернута в помещении система локального позиционирования. Предложенный в опубликованных ранее статьях программно-методический комплекс решений позволил обеспечить погрешность 0.4 метра что в среднем на 50 процентов ниже чем получено другими авторами в ходе развертывания аналогичных систем на сходной элементной базе и тем самым показал свою эффективность.

Практическая значимость. По результатам проведения эксперимента была доказана эффективность предложенного ранее комплекса решений.

Ключевые слова:

DOP, геометрический фактор, позиционирование, погрешность измерения координат.

A brief version in English is given at the end of the article

Предложенные методики разработки систем локального позиционирования

В опубликованных ранее материалах были предложены различные решения для проектирования систем локального позиционирования.

В статье [1] был разработан и предложен алгоритм формирования подзон для расстановки базовых станций, с целью дальнейшего размещения в каждой такой подзоне базовых станций. Данная методика позволяет минимизировать наличие теневых зон в рабочем пространстве, по возможности обеспечить каждую точку рабочего пространства прямой видимостью сс необходимым для навигации количеством станций, а также обеспечить равномерность покрытия рабочей зоны навигационными сигналами.

Задача реализуется за счет разбиения рабочей зоны на подзоны из выпуклых многоугольников, согласно описанному в работе [1] алгоритму.

Для расстановки в каждой выделенной подзоне базовых станций предлагается использовать программный алгоритм [2]. В роли критерия качества расстановки в данной работе выступает геометрический фактор. Данная величина изначально взята из систем ГНСС. Для расстановки базовых станций в каждом выделенном ранее полигоне разработан оптимизированный по времени алгоритм [2] подбирающий методом перебора конфигурацию расстановки обеспечивающую минимальный средний по подзоне геометрический фактор.

Для снижения ошибки позиционирования в реализуемой системе предлагается использовать алгоритм представленный в работе [3] позволяющий учитывать наличие или

отсутствие прямой видимости между базовой станцией и объектом. Для успешной работы данного алгоритма необходимо предварительное разбиение базовых станций на группы. Сделать это можно при помощи использования программного алгоритма описанного в статье [4].

Выбор элементной базы

Систему локального позиционирования было решено реализовать на базе BLE технологии с использованием в роли базовых станций модулей ESP32-DevKitC Core Board от фирмы Espressif (рис.1). Выбор модулей обусловлен наличием возможности работы с протоколами Bluetooth, BLE и Wi-Fi без использования дополнительного оборудования.

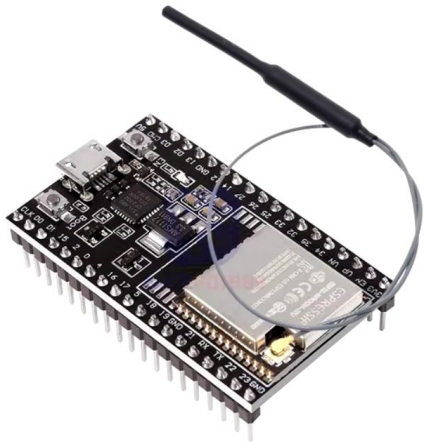
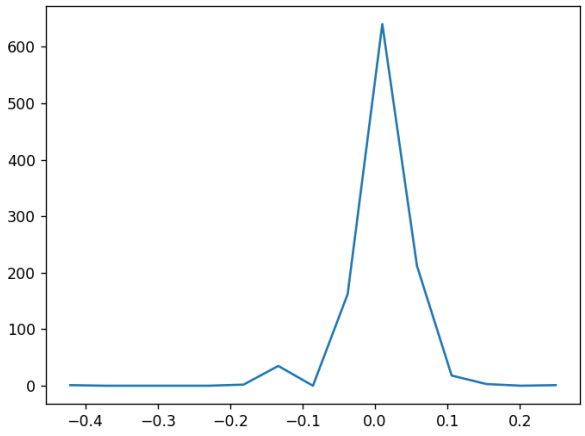
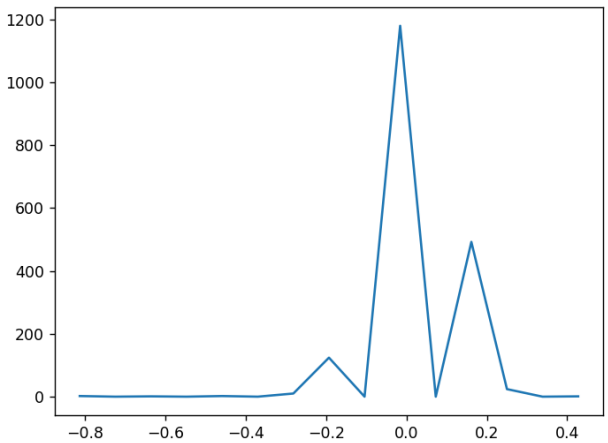


Рис. 1. Используемый в макете модуль ESP32
Fig. 1. The ESP 32 module used in the layout

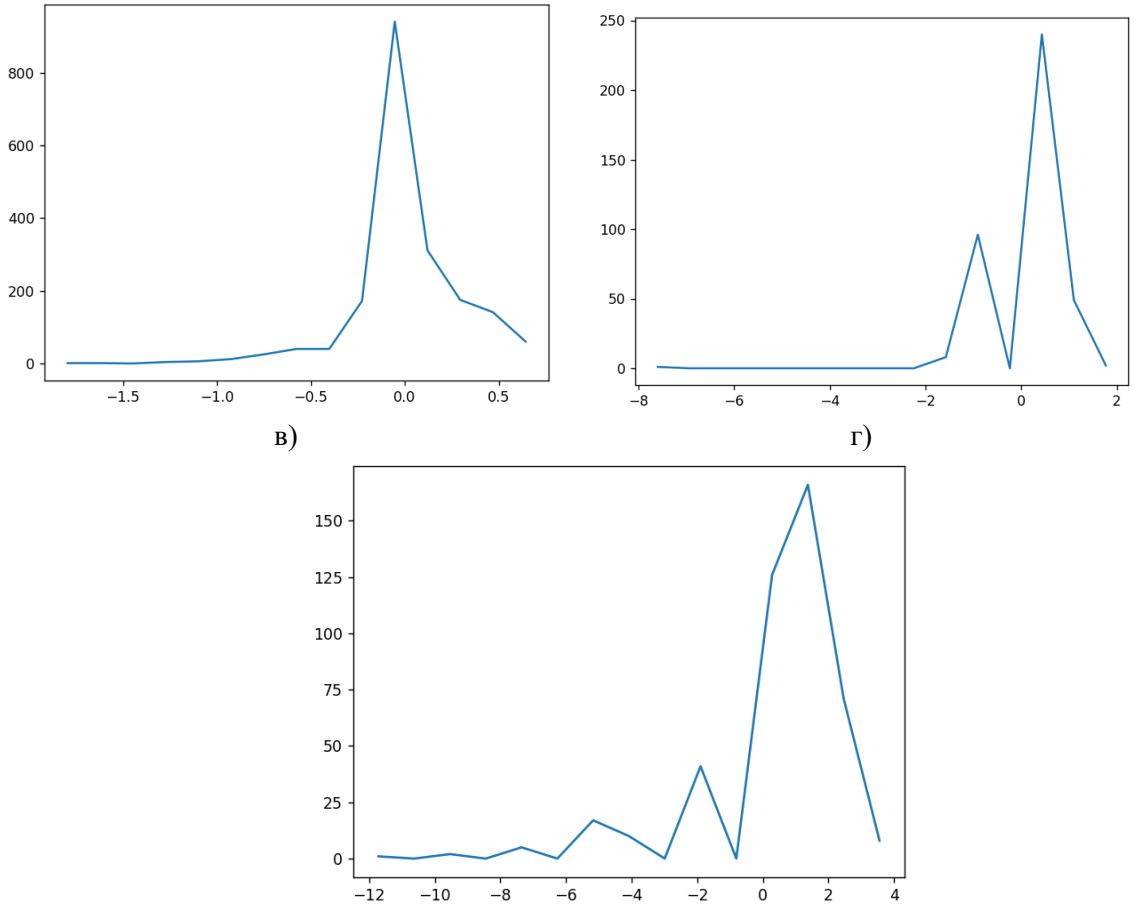
Технология BLE в условиях открытого пространства поддерживает обмен данными на расстояниях до 20 метров. Но, так как задача позиционирования имеет свою специфику, было принято решение проверить погрешность определения расстояния от базовых станций используемого типа на различных расстояниях. Ниже представлены гистограммы отклонения полученного результата от истинного.



а)



б)



в) г)

д)

Рис. 2. Гистограммы погрешностей измерения расстояния на разных дистанциях. а) – 1 метр; б) – 2 метра; в) – 5 метров; г) – 10 метров; д – 20 метров.

Fig. 2. Histograms of distance measurement errors at different distances. a) - 1 meter; b) – 2 meters; c) – 5 meters; d) – 10 meters; e – 20 meters.

Как видно распределение является либо нормальным, либо нормальным с отклонением. Эксперимент показал что при измерении на расстоянии 5 метров 90% выборок имеют погрешность распределенную в пределах от -0.5 до 0.5 метра, при этом уже на 10 метрах погрешность основной массы выборок распределяется в пределах от -2 до 3 метров что не является приемлемым результатом так как желаемая точность работы системы должна иметь значение примерно 1 метр. Исходя из проведенного исследования было решено что при выделении зон расстановки базовых станций каждая зона должна иметь возможность быть вписанной в окружность с радиусом 5 метров.

Выбор рабочей зоны

В роли рабочей зоны было выбрано помещение со сложной геометрией, разделенное внутрикомнатными перегородками. Карта рассматриваемой рабочей зоны приведена на рисунке 3.

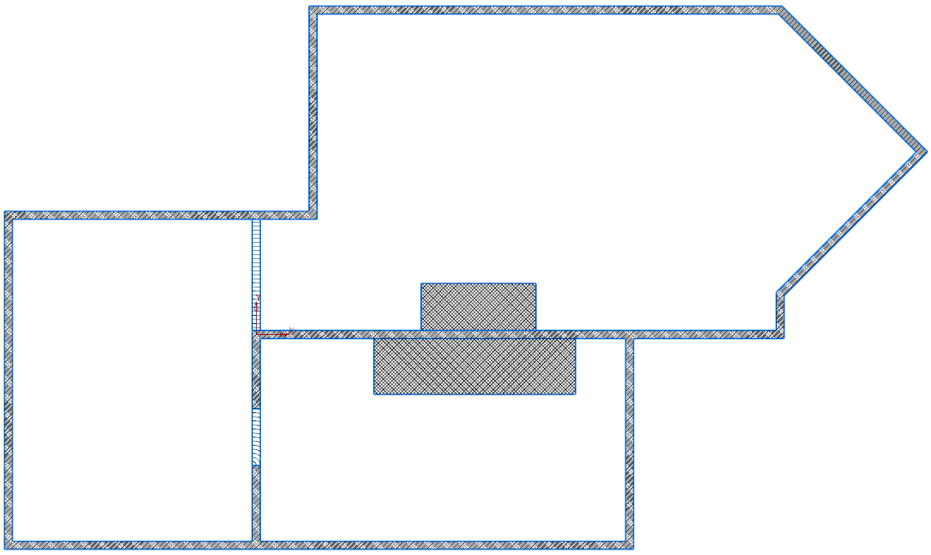


Рис. 3. Планировка рабочей зоны
Fig. 3. Layout of the work area

Расстановка станций

Прежде чем начать осуществлять расстановку необходимо согласно методике, изложенной в статье [1] произвести разделение рабочей зоны на выпуклые многоугольники. Это необходимо для реализации качественного покрытия базовыми станциями площади позиционирования.

Результат разбиения на подзоны приведен на рисунке 4 ниже. Зоны, предназначенные для расстановки станций, выделены цветными контурами. Серыми контурами выделены регионы, в которых расстановка не планируется в виду их малого размера и низкой вероятности нахождения там позиционируемого мобильного устройства.

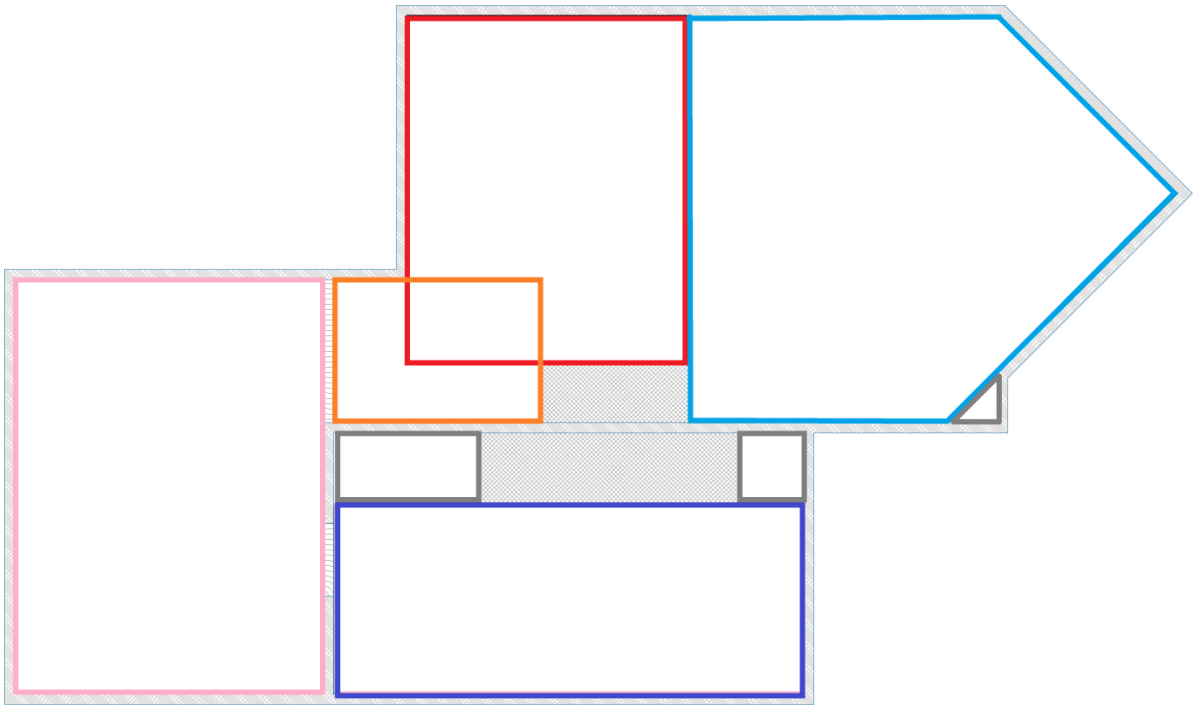


Рис. 4. Рабочая зона, разбитая на подзоны – выпуклые многоугольники
Fig. 4. The working area is divided into subzones – convex polygons

Как видно на рисунке, в результате разбиения зоны на участки для расстановки было выделено 5 выпуклых многоугольников. Таким образом, минимальное необходимое для

точного позиционирования в двумерной реализации количество базовых станций будет равно 15. При условии, что размеры каждой подзоны таковы, что при расположении станции в произвольной точке подзоны станция будет качественно покрывать сигналом всю её площадь.

Следующим этапом была реализована расстановка базовых станций в каждой отдельной выделенной подзоне. Расстановка осуществлялась по принципу обеспечения минимального среднего DOP, с использованием алгоритма [2].

Для обеспечения среднего DOP в каждой подзоне не больше 1.2, эмпирическим методом было выяснено, что необходимо производить расстановку станций в каждой подзоне в количестве 4.

Результат расстановки приведен ниже на рисунке 5.

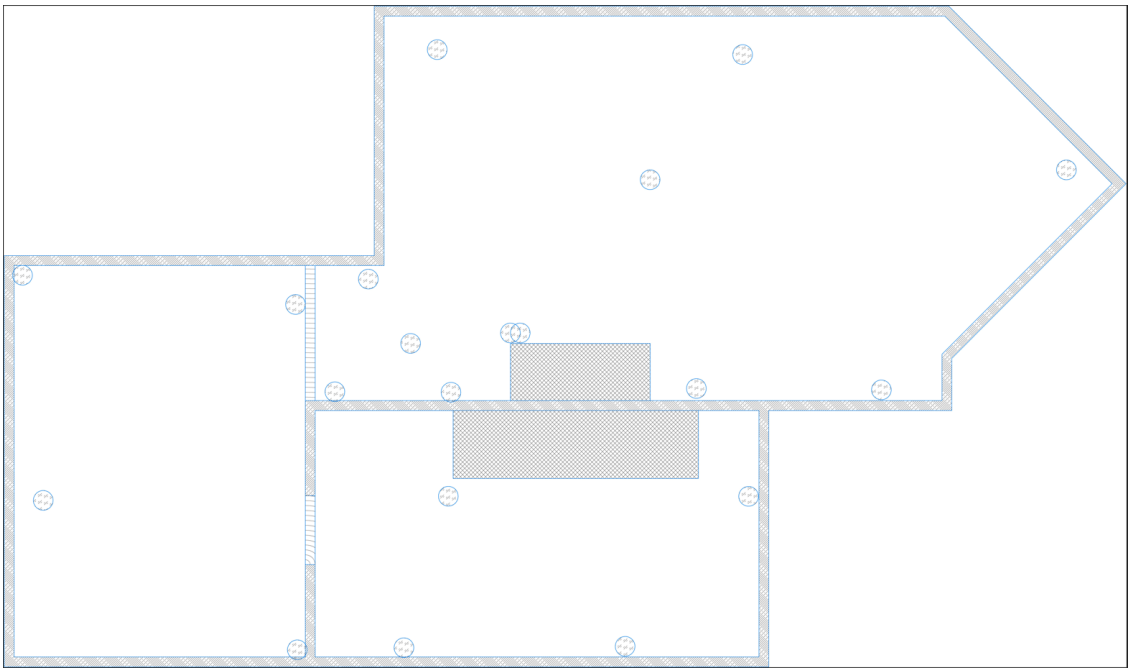


Рис. 5. Результат расстановки станций в подзонах
Fig. 5. The result of station placement in subzones

Как видно на рисунке 5, в результате проведенной расстановки по отдельным подзонам, есть станции, которые находятся близко друг к другу. Эти станции можно заменить на одну расположенную между ними. Теперь схема расстановки базовых станций приобретет следующий вид

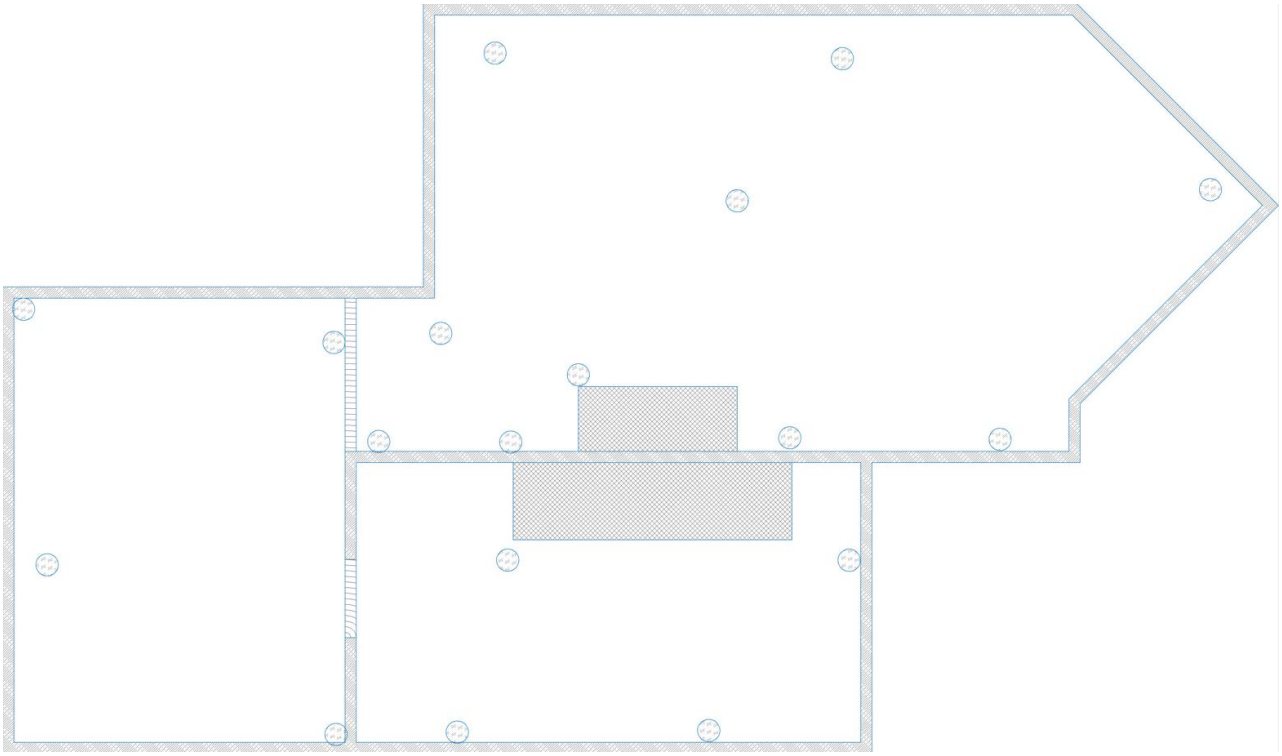


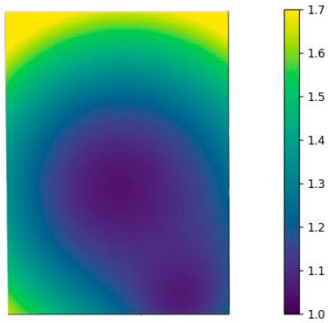
Рис. 6. Результат доработанной расстановки станций в подзонах
Fig. 6. The result of the improved placement of stations in the subzones

Ниже приведена таблица со средними значениями DOP по подзонам, полученные для каждой из зон, выделенных на рисунке 4.

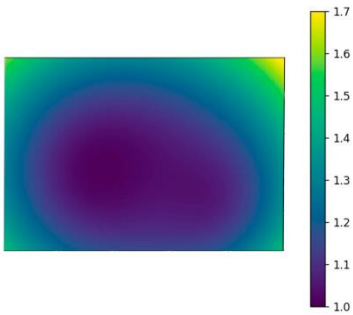
Таблица 1. Средне значения DOP по подзонам

Зона	Среднее значение DOP
Розовая	1.1217079028148418
Оранжевая	1.041512034736754
Красная	1.0827895764392121
Голубая	0.8337781559132429
Синяя	1.0928307547698441

Для оценки качества расстановки можно рассмотреть карты распределения значений DOP при текущей расстановке станций в каждой отдельной подзоне, карты представлены на рисунке 7.



a)



b)

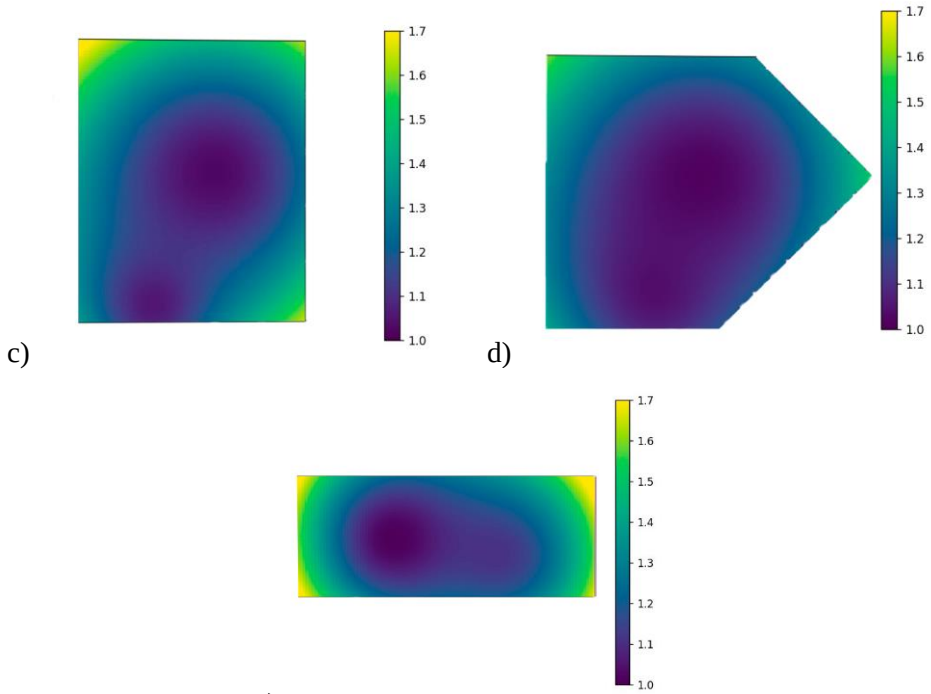


Рис. 7. Карты распределения значений геометрического фактора по подзонам. a – розовая зона, b – оранжевая, c – красная, d – голубая, e – синяя

Fig. 7. Maps of the distribution of geometric factor values by subzones. a – pink zone, b – orange, c – red, d – blue, e – blue

Анализ распределения значений геометрического фактора, на отдельно выделенных подзонах, показал, что участки с наибольшим значением увеличения погрешности находятся на небольших, мало востребованных, краевых областях.

Для окончательной оценки качества расстановки базовых станций с точки зрения геометрического фактора, было решено построить полную карту, с включенными в расчет областями ранее проигнорированными, результат приведен на рис.8.

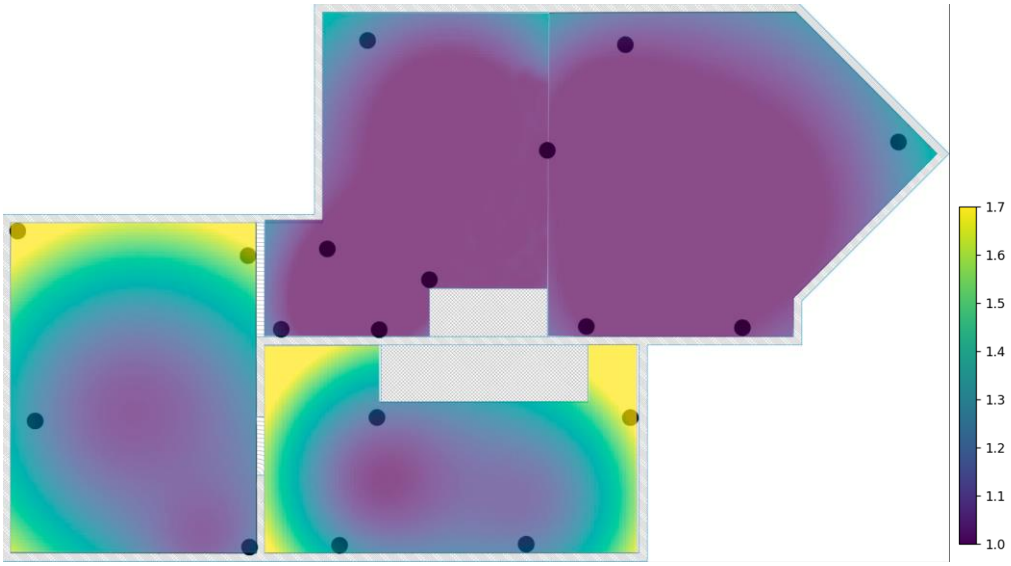


Рис. 8. Полная карта рабочей зоны со станциями и распределением значений DOP

Fig. 8. Complete map of the work area with stations and distribution of DOP values

Как видно из рис. 8 по всей площади рабочей зоны значение DOP не превышает 2, что является достаточным результатом для большинства случаев развертывания систем локальной навигации.

Разбиение станций на группы

Для реализации точного позиционирования устройств, в главе N был предложен алгоритм позиционирования, основанный на нестатистической модели распространения радиосигнала. Это нововведение позволяет получить значительное преимущество в обеспечиваемой точности определения координат относительно существующих алгоритмов.

Для расчета координат позиционируемого объекта с использованием нестатистической модели распространения радиосигнала необходимо предварительно оценить примерный регион расположения объекта позиционирования, для вынесения решения о учете потерь мощности в каких-либо препятствиях. Для этой оценки в работе [3] была предложена методика предварительной оценки места расположения устройства на базе информации о разбиении всех базовых станций на группы. В статье [4] предложен программный алгоритм для автоматизации задачи группировки базовых станций.

При произведении автогруппировки станции объединяются в том числе по принципу прямой видимости между собой. Прямая видимость считается существующей если на линии распространения радиосигнала препятствий нет в зоне Френеля. Зона радиус зоны в данном случае рассчитывается, с учетом того что для протокола беспроводной связи BLE несущая частота имеет значение примерно 2400 МГц. Радиус первой зоны Френеля рассчитывается по следующей формуле:

$$\mathrm{R} = 17.31 \cdot \sqrt{\frac{D[m]}{4 \cdot 2400[MHz]}}. \quad (1)$$

Для произвольной точки радиус зоны Френеля рассчитывается по следующей формуле:

$$R = 17.3 \cdot \sqrt{\frac{1}{2400[MHz]} \cdot \frac{D_1 D_2[m]}{D_1[m] + D_2[m]}}. \quad (2)$$

Результат применения программы автогруппировки станций к рассматриваемой в этой главе рабочей зоне представлен на рисунке 9.

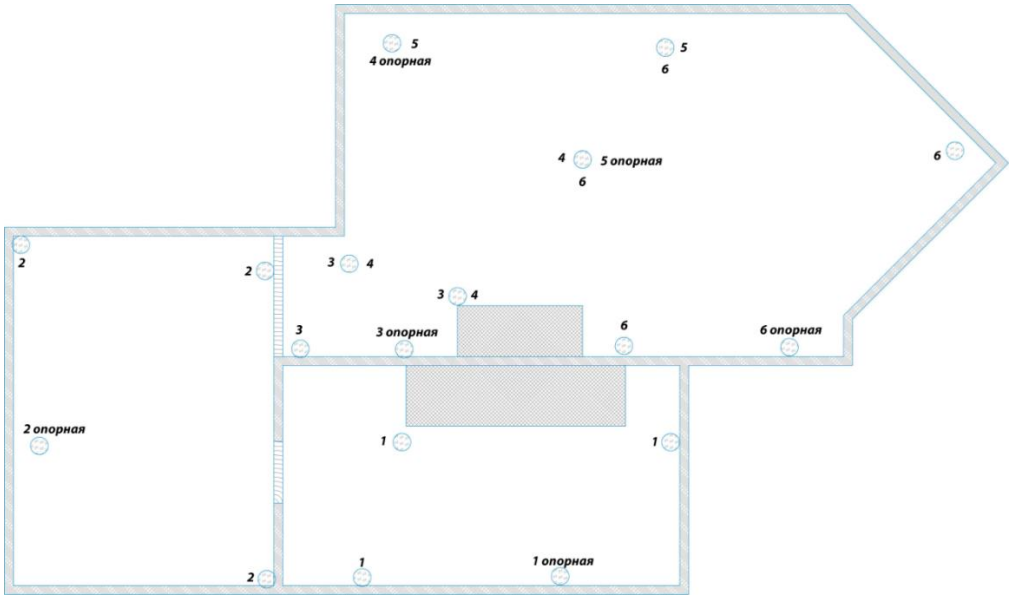


Рис. 9. Результат группировки базовых станций по группам и выделения среди них опорных станций групп
Fig. 9. The result of grouping the base stations into groups and allocating the reference stations of the groups among them

Макетирование системы

После осуществления расстановки и группировки базовых станций локальной системы координат данных о проектируемой системе становится достаточно для проведения непосредственно монтажа системы на базе выбранных модулей ESP32.

Для снижения влияния на погрешность измерений от диаграмм направленности антенн базовых станций и позиционируемого устройства, каждая базовая станция, и позиционируемое устройство оснащены ненаправленной антенной на 2.4 ГГц. Все антенны жестко закреплены в одинаковой перпендикулярной горизонтальной плоскости ориентации. Аналогичное устройство использовалось в роли приемника.

Модули ESP32 выполняющие роль базовых станций объединенные в единую сеть периодически шлют пакеты с данными. Позиционируемый объект принимает все сигналы, идентифицирует их отправителей по входящему в состав каждого пакета UID, а затем, в соответствии с алгоритмом позиционирования, изложенным в главе 3, осуществляется определение искомых координат.

Для проверки работы системы было произведено измерение погрешности в точках с различным значением геометрического фактора от ближайших базовых станций. Полученные результаты приведены ниже в табл. 1. В первом столбце представлены данные о значении геометрического фактора в точке нахождения позиционируемого устройства во время сбора статистики, во втором результирующая погрешность и дисперсия измерений. Для каждого измерения проводился эксперимент в пяти разных точках рабочей зоны с аналогичным значением геометрического фактора. В таблице ниже приведены усредненные значения.

Таблица 2. Результат измерения СКО определения координат

DOP	Среднеквадратическое отклонение	Максимально зафиксированное отклонение
1.0	0.410930898981463	0.5166236541235796
1.1	0.43050873084744403	0.4226043694847421
1.2	0.45137072103483385	0.637041537259993
1.3	0.4525445731376621	0.6867330864918258
1.4	0.47997879683483154	0.7498507316470592
1.5	0.6229447878425179	0.9752507911257179

Исходя из анализа таблиц Т и таблицы Л, можно сделать вывод что значение СКО определения координат позиционируемого объекта составляет 0.42 метра.

Стоит отметить, что при макетировании системы были использованы наиболее дешевые и доступные модули BLE. Точность системы можно повысить, дополнительно применив более дорогостоящие компоненты, например модули DWM1001-DEV.

Для оценки полученных результатов был произведен обзор существующих научных трудов посвященных разработке систем позиционирования на базе сходной элементной базы. В работе [62], предложена система, собранная на базе аналогичных используемым в данной главе микропроцессорах ESP32. Автором было получено значение точности 2.3 метра. Измерения производились в помещении разделенном стеновыми перегородками.

В работе [63] аналогичная система была спроектирована на базе микроконтроллеров ESP8266. В условиях лишенной препятствий рабочей зоны автором был получен результат погрешности измерений 0.7 метра. Данный результат так же обусловлен тем, что автором было принято решение использовать встроенные в платы антенны.

В работах [64,65,66] при проведении тестирования системы в условиях рабочих зон не лишенных препятствий, но не разделенных стеновыми перегородками получены результаты погрешности 1.04, 0.8, 0.7 метра соответственно.

Данный обзор показал, что при проектировании системы на базе технологии BLE с использованием модулей ESP32 предлагаемый комплекс решений для проектирования систем локальной навигации в рабочих зонах сложной геометрической формы и с препятствиями дает

в среднем 50-процентный выигрыш в точности определения координат позиционируемого объекта.

Заключение

Использование представленного в предыдущих главах данной работы комплекса мер позволяет частично автоматизировать процесс проектирования систем локального позиционирования, и тем самым ускорить и упростить их развертывание. Так же экспериментальным путем было определено, что применение разработанных решений позволяет снизить ошибку позиционирования на 50% по сравнению с другими распространенными решениями.

Список источников

1. *Крижановский М. Н., Тихонова О. В.,* Методика расстановки базовых станций системы локального позиционирования в рабочей зоне с препятствиями. Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2024;12(2). URL: https://moitvivt.ru/ru/journal/pdf?id=1579 DOI: 10.26102/2310-6018/2024.45.2.037
2. *Крижановский М.Н., Литвинов С.В., Тихонова О.В., Поляков Ю.С.* Программа расстановки базовых станций локальной системы позиционирования с обеспечением минимального значения геометрического фактора. № 2024692069. 2024 г.
3. *Крижановский М. Н.* Моделирование алгоритма учета препятствий при расчете локации в системах ближнего позиционирования / М. Н. Крижановский. Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. 2023. Т. 192, № 1. С. 14-20. – EDN EVDPOC. https://jurnal.vniiem.ru/text/192/14-20.pdf
4. *Крижановский М. Н., Тихонова О. Н.* Разбиение множества базовых станций локальной системы позиционирования на пересекающиеся группы //Russian Technological Journal. – 2025. – Т. 13. – №. 1. – С. 68-75.

DEVELOPMENT OF A LOCAL POSITIONING SYSTEM IN A COMPLEX-SHAPED ROOM

M.N. Krizhanovsky[1]
[1] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1]mihakri007@mail.ru

Abstract

Problem statement. Local positioning systems solve the important task of navigation in spaces where, for reasons of isolation from external signals or due to interference, the use of global navigation satellite systems (GNSS) is unavailable. The deployment of local positioning systems makes it possible to implement navigation infrastructure directly within an enclosed space, which is a work area, often including on the basis of an existing wireless communication infrastructure. The key problem of local positioning systems is the accuracy parameter of determining coordinates. There are many scientific papers where the authors, as a rule, propose techniques and algorithms that help reduce measurement error by introducing various processing stages of the measured values to calculate the coordinates. But it is equally important to take measures to minimize errors even at the design and deployment stage of the positioning system. The purpose of this article is to apply a previously developed set of techniques and software for the design of local positioning systems, for the design and subsequent deployment of a navigation system in a room of complex geometric shape. Based on the results of the mock-up, evaluate the effectiveness of the proposed measures. Results. A local positioning system was designed and deployed indoors. The software and methodological package of solutions proposed in previously published articles made it possible to ensure an error of 0.4 meters, which is on average 50 percent lower than that obtained by other authors during the deployment of similar systems on a similar element base, and thus proved its effectiveness. Practical significance. Based on the results of the experiment, the effectiveness of the previously proposed set of solutions was proved.

Keywords
DOP, geometric factor, positioning, coordinate measurement error

УДК 621.396

КООРДИНАТНОЕ ПРОСТРАНСТВО ДЛЯ ДАЛЬНОМЕРНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ

А.В. Кащаева[1], А.В. Максимович[2], С.В. Литвинов[3]
[1–3] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] kacshaeva@mirea.ru, [2] maksimovich@mirea.ru, [3] litvinov_s@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Беспилотные воздушные средства, применяемые для решения широкого круга задач, критически зависят от устойчивого принятия сигналов ГНСС. Возможное решение таких проблем - инерциальные навигационные системы. Также видится, хоть и пробелматичным, но возможным определение координат по анализу посдтилающей поверхности с использованием машинного зрения.

Цель. Провести анализ возможности создания эффективного координатного пространства для определения местоположения дальномерным методом.

Результаты. Приведено обоснование применение радионавигационных систем, создающих собственное координатное пространство, для ориентации беспилотных воздушных средств. Проведены исследования дальномерных радионавигационных систем с ответчиком и без ответчика.

Практическая значимость. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что целесообразно применение дальномерных радионавигационных систем для создания координатного пространства для БВС. Реализация такой системы возможна с применением програмно-определяемых радиосистем.

Ключевые слова

Беспилотные воздушные средства, БВС, дроны, ГНСС, радионавигация, дальномерная радионавигация.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

В настоящее время наблюдается рост количества беспилотных воздушных средств (БВС), управление которыми производится посредством оптоволоконного кабеля. Такие БВС применяются для решения специальных задач и, в большинстве своем, представлены FPV-дронами (First Person View, с англ. — «вид от первого лица»). Несмотря на это, подавляющее количество БВС по прежнему используют сигналы глобальных навигационных систем (ГНСС) для определения своего местонахождения и навигации. Стандартные БВС самолетного и мультироторного типа не являются по сути беспилотными, поскольку управляются оператором дистанционно (внешний пилот). Выполнение задач такими БВС напрямую зависит от устойчивого приема сигналов ГНСС или связи с оператором. Это приводит к риску срыва выполнения задания из-за проблем со связью: помехи, удаленность, складки местности. Сигналы ГНСС могут подменяться, глушиться, заслоняться помехами, что может привести к самоопределению БВС в ошибочных координатах и, как следствие, срыв задания, аварию, потерю БВС.

Вариантом решения этой проблемы являются инерциальные навигационные системы (ИНС), обеспечивающие навигацию в отсутствие сигналов ГНСС, по данным о координатах старта и дальнейшего движения БВС. Однако такие системы имеют свойство накапливать ошибку позиционирования, которая нивелируется внешней коррекцией. Инерциальная навигация основана на непрерывном измерении параметров движения — ускорения и угловых скоростей — относительно установленной системы отсчета (СО). В качестве таковой могут выступать астрономические объекты (звезды), Земля, горизонт, собственная СО.

Совершенно логичным видится идея по совмещению различных методов навигации БВС в условиях отсутствия спутниковой навигационной информации. Координационно-временные данные от спутника анализируются на предмет ионосферного искажения, ошибок, подмены координат и используются в качестве первичной привязки.

Дальнейшая навигация осуществляется путем комплексирования различных методов:

— Инерционная навигация;

— Ориентация по созданному координатному пространству;

— Определения местонахождения по анализу подстилающей поверхности.

Для получения БИНС наилучшей точности ее возможно разместить на стабилизированной по двум осям платформе, используя датчики и для навигации, и для стабилизации платформы, однако такая система получится более громоздкой, дорогой, со сложной конструкцией. Именно поэтому предлагается интегрированная навигационная система, в которых БИНС объединена с другой измерительной или навигационной системой — спутниковой. В интегрированном исполнении происходит периодический перезапуск БИНС с новыми начальными данными, полученными от спутниковой системы. При отсутствии спутникового сигнала погрешность компенсируется с помощью алгоритмов оценивания и прогнозирования.

Также в отсутствие либо отбраковки сигналов ГНСС, корректировка местоположения осуществляется по привязке к собственному координатному пространству, созданному по радионавигационным точкам (РНТ). В качестве таких РНТ могут выступать как собственные приемо-передатчики (в т.ч. мобильные), так и уже известные стационарные радиоволновые передатчики.

В случае автономной работы БВС на большом удалении либо в случае потери сигнала оператора БВС сможет корректировать местоположение по анализу подстилающей поверхности. Подавляющее большинство БВС оснащается оптической камерой разного разрешения, позволяющего осуществлять фото и/или видео съемку местности непосредственно под БВС. Проводя анализ этих изображений с применением машинного зрения БВС может определять, где именно находится в конкретный момент времени.

Таким образом комплексирование вышеописанных методов, дублирующего назначения, позволит эффективно осуществлять навигацию беспилотного воздушного судна в отсутствие сигналов ГНСС.

Радионавигация

Системы радионавигации предназначены для определения координат, скорости потребителя, а также для синхронизации по системам единого времени (СЕВ). Являясь радиоэлектронными, эти системы подчиняются законам распространения радиоволн, которыми будем руководствоваться далее: прямолинейность и постоянная скорость распространения радиоволн.

В системах радионавигации используются частоты ~ 1,5 ГГц, не способные огибать препятствия существенных размеров, а значит сигналы могут быть приняты только в области прямой видимости. Релятивистские эффекты, которые могут сказываться на прямолинейности распространения, в данной ситуации малы и не учитываются. Более важным фактором является многолучевость, которая однако характерна для городской застройки, а значит на БВС также не будет оказывать влияния.

Радиоволны в вакууме распространяются со скоростью света. Зная это и, измерив задержку прихода сигнала, можно получить дальность до передатчика. Однако на скорость распространения вне вакуума влияют различные факторы, такие как ионосфера, тропосфера и др, что может приводить к появлению ошибки оценки дальности, достигающей десятка метров. В случае с БВС, трасса распространения радиоволн достигает несколько десятков километров и не подвержена влиянию атмосферных помех.

По характеру измеряемых параметров радионавигационные системы делятся на следующие группы:

1. угломерные — позволяют определять направление от РНТ на БВС;
2. дальномерные — позволяют определять расстояние (дальность) от БВС до РНТ;
3. угломерно-дальномерные — позволяют одновременно измерять направление и дальность;
4. разностно-дальномерные (гиперболические) — в качестве изолинии используются линии равных разностей расстояний.

Дальномерный метод видится наиболее перспективным для создания координатного пространства для БВС.

Дальномерные радионавигационные устройства и системы

Дальномерная радионавигационная система (ДРНС) состоит из наземного оборудования радионавигационной точки и бортового оборудования (в нашем случае на пример БВС). В международной практике такие системы получили название DME (Distance Measuring Equipment — оборудование измерения дальности). В аэронавигационных документах России также используется это название, хотя можно встретить название РМД – радиомаяк дальномерный или РНД – радионавигационный дальномер. По принципу измерения дальности РНД делятся на РНД без ответчика и РНД с ответчиком.

В РНД с ответчиком имеются два канала связи: запроса и ответа. На рисунке 1 приведена структурная схема РНД с ответчиком в общем случае. Бортовой передатчик через всенаправленную анатенну излучает сигнал, наземный радиомаяк принимает этот сигнал и через фиксированное время (~ 50 мкс) излучает ответный сигнал, который принимается на борту.

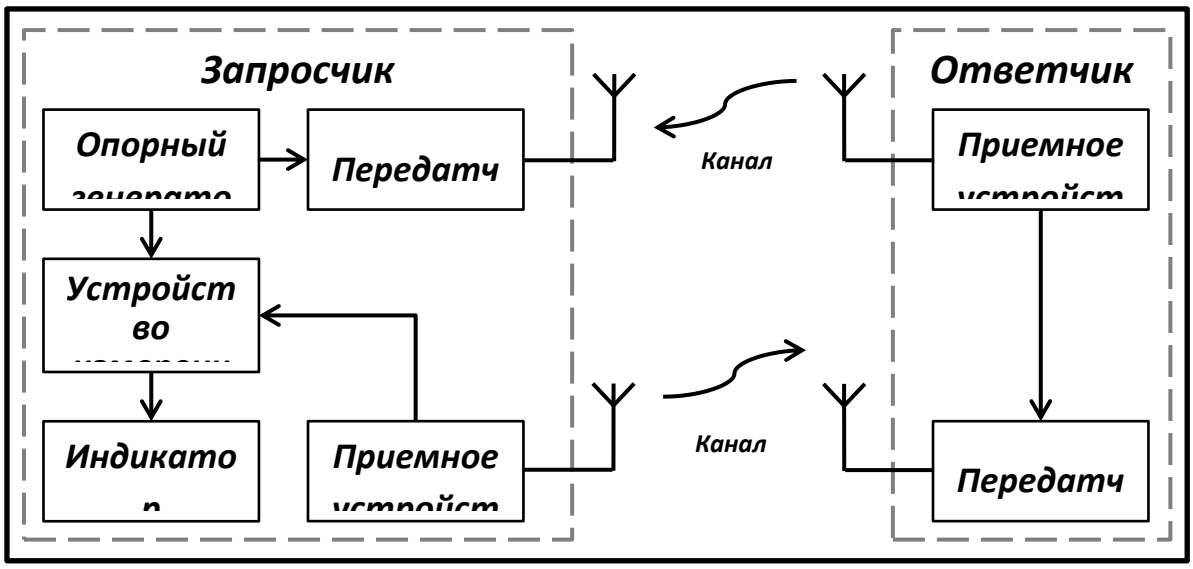


Рис. 1. Структурная схема радионавигационного дальномера с ответчиком.
Fig. 1. Visualization of the main ionospheric research methods.

В результате на борту БВС измеряется суммарное время распространения радиосигнала $\boldsymbol{\tau_D}$ от БВС к РНД и обратно:

$$\tau_D = \frac{2D}{c}. \quad (1)$$

Погрешность измерения дальности будет составлять:

$$\delta D = \frac{2\delta\tau_D}{2} \quad (2)$$

Эта ошибка в основном определяется нестабильностью опорного генератора и не зависит от времени полета. На борту навигационных спутников устанавливаются высокостабильные опорные генераторы на основе атомного стандарта частоты. Они отличаются очень малым уходом шкалы времени, при этом все-равно требуют постоянной коррекции с главными часами системы, находящимся на Земле. Такую дорогую аппаратуру нецелесообразно устанавливать на БВС. Требования к стабильности опорного генератора в РНД имеют порядок $df_0/f_0 = 10^{-5}$, которая обеспечивается обычным кварцевым генератором. Это является основным

достоинством РНД с ответчиком, благодаря чему они находят широкое распространение в системах ближней радионавигации.

Среди недостатков РНД с ответчиком стоит отметить ограниченную пропускную способность, отсутствие скрытности работы бортового оборудования, ограниченная мощностью передатчиков дальность действия, недостаточная помехоустойчивость, расширение занимаемого диапазона частот (ответный сигнал, как правило, излучается на другой частоте чтобы БВС не принял за ответ сигнал, отраженный от подстилающей поверхности).

В РНД только один канал связи: приемное устройство на борту БВС измеряет время прихода сигнала, излучаемого наземным РНД. На рисунке 2 приведена структурная схема РНД без ответчика в общем случае. В данном случае проблема синхронизации высокостабильных эталонных генераторов стоит более остро. Как правило, они синхронизируются перед вылетом сигналом наземной станции.

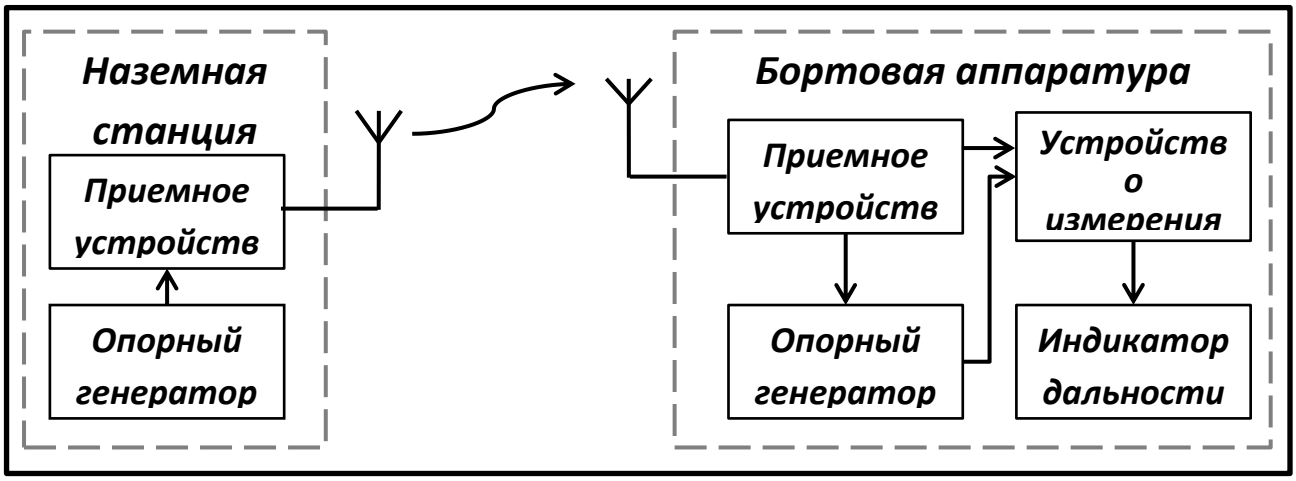


Рис. 2. Структурная схема радионавигационного дальномера без ответчика.
Fig. 2. Visualization of the main ionospheric research methods.

На борту БВС измеряется либо интервал времени между принятым и опорным сигналом или разность фаз между напряжением бортового опорного генератора и выходным напряжением приемника. Измеряемая дальность определяется выражениями:

$$D = c\,\tau_D; \tag{3}$$

$$D = c\,\frac{\Delta\varphi}{\omega_{\text{ср}}} = \frac{\lambda_{\text{ср}}}{2\pi}\,\Delta\varphi; \tag{4}$$

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi D}{\lambda_{\text{ср}}}, \tag{5}$$

где c — скорость распространения радиоволн, $\omega_{\text{ср}}$ — частота сравнения, на которой осуществляется измерение разности фаз.

Из выражений выше следует, что погрешность измерения дальности будет равна $\delta D = c\delta\tau_{\text{д}}$ или $\delta\text{D} = \frac{\lambda_{\text{ср}}}{2\pi}\delta\varphi_{\text{д}}$. Величина $\delta\tau_{\text{д}}$ (или $\delta\varphi_{\text{д}}$) в большей степени зависит от нестабильности опорного генератора и времени полета и может быть представлена в виде:

$$\delta\tau_{\text{д}} = \frac{df_0}{f_0}t_{\text{пол}} + dt_1\,, \tag{6}$$

где $\frac{df_0}{f_0}$ - относительная нестабильность несущей частоты опорного генератора, $t_{пол}$ - время полета, dt_1 - ошибка измерения времени распространения радиоволн. Эта ошибка обуславливается неточностью синхронизации бортового генератора, нестабильностью скорости распространения радиоволн, воздействием помех и рядом других факторов.

Опорные генераторы должны иметь относительную нестабильность частоты $\frac{df_0}{f_0} = 10^{-9} - 10^{-10}$, чтобы удовлетворять современным требованиям, предъявляемым к точности измерения дальности (δD = 1-3 км при tпол ≤ 10 ч). Как уже указывалось выше, такая высокая стабильность может быть достигнута в атомных стандартах частоты. Именно необходимость обеспечения высокой стабильности частоты эталонных генераторов является основным недостатком РНД без ответчика. К достоинствам таких РНД следует отнести: высокая скрытность бортового оборудования, которое работает только на прием, неограниченная пропускная способность, сравнительно большая дальность действия (за счет мощности наземной станции).

Дальномерный метод определения координат

Дальномерный метод позволяет определить пространственные координаты объекта путём измерения дальностей R1, R2, R3 до трёх точек с известными координатами: {x1, y1, z1}, {x2, y2, z2}, {x3, y3, z3}. Неизвестные координаты объекта x = | x0, y0, z0 |T находятся из решения системы уравнений:

$$\begin{cases} R_1 = \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 + (z_1 - z_0)^2} \\ R_2 = \sqrt{(x_2 - x_0)^2 + (y_2 - y_0)^2 + (z_2 - z_0)^2} \\ R_3 = \sqrt{(x_3 - x_0)^2 + (y_3 - y_0)^2 + (z_3 - z_0)^2} \end{cases} \quad (7)$$

Система из трех уравнений с тремя неизвестными имеет единственное решение. Остальные величины считаем известными: координаты РНТ известны (либо передаются вместе с навигационным сигналом), расстояния измеряются приемником как произведение разности моментов передачи и приема сигнала на скорость света.

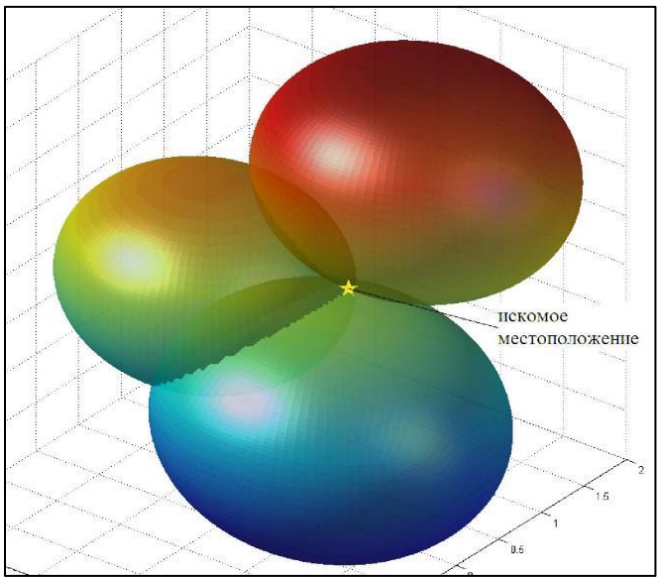


Рис. 3. Визуализация дальномерного метода

Fig. 3. Visualization of the main ionospheric research methods.

Однако такая система не учитывает рассинхронизацию системной шкалы времени (СШВ) передатчика и бортовой шкалы времени (БШВ) приемника. Т.е. время излучения определяется также по БШВ, которая на каждом БВС своя, но в первом приближении синхронизированы.

Пересчитывая время приема в СШВ, вводим погрешность $\Delta\tau$, тогда система уравнений примет вид:

$$\begin{cases} R_1 = \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 + (z_1 - z_0)^2} + \Delta\tau * c \\ R_2 = \sqrt{(x_2 - x_0)^2 + (y_2 - y_0)^2 + (z_2 - z_0)^2} + \Delta\tau * c \\ R_3 = \sqrt{(x_3 - x_0)^2 + (y_3 - y_0)^2 + (z_3 - z_0)^2} + \Delta\tau * c \end{cases} \quad (8)$$

Таким образом то, что изначально принималось за истинную дальность таковым не является и получило название «псевдодальность». Т.е. дальность, вычисленная по формуле произведения скорости света на разность моментов приема и излучения, но моменты приема и излучения взяты по разным шкалам времени.

В итоге получаем систему из трех уравнений с четырьмя неизвестными - x0, y0, z0 и $\Delta\tau$. Величина $\Delta\tau$ одинакова для всех измерений, поскольку БШВ едина на все каналы. А значит для решения такой системы нужно дополнительное уравнение, которое получается из четвертого измерения.

$$\begin{cases} R_1 = \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 + (z_1 - z_0)^2} + \Delta\tau * c \\ R_2 = \sqrt{(x_2 - x_0)^2 + (y_2 - y_0)^2 + (z_2 - z_0)^2} + \Delta\tau * c \\ R_3 = \sqrt{(x_3 - x_0)^2 + (y_3 - y_0)^2 + (z_3 - z_0)^2} + \Delta\tau * c \\ R_4 = \sqrt{(x_4 - x_0)^2 + (y_4 - y_0)^2 + (z_4 - z_0)^2} + \Delta\tau * c \end{cases} \quad (9)$$

Полученная система из четырех уравнений с четырьмя неизвестными имеет решение. Поскольку это уравнение второго порядка, то решений будет два, одно из которых - ложное. Таким образом, информация с четырех спутников позволяет определить три координаты приемника и смещение его шкалы времени. Смещение часов повзоляет скорректировать часы приемника и выдать точное время с погрешностью порядка десятков наносекунд. В итоге точность определения кординат составляет величины порядка метров.

Заключение

Прямое получение высотного профиля электронной концентрации возможно только при использовании методов вертикального, наклонного и возвратно-наклонного зондирования. Эти методы обеспечивают наиболее полную информацию о вертикальном распределении параметров ионосферы.

Полное электронное содержание может быть определено практически всеми методами исследования ионосферы. Однако для некоторых методов (например, ГНСС, радиозатменное зондирование) это значение представляет собой интегральную характеристику вдоль пути распространения сигнала.

Для методов, не позволяющих прямого получения высотного профиля (внешнее зондирование, трансионосферное зондирование, ГНСС), восстановление профиля требует дополнительных процедур интерпретации и использования априорных моделей ионосферы.

Таким образом, выбор метода исследования зависит от конкретных задач: если требуется получить детальное вертикальное распределение параметров ионосферы, предпочтительны методы зондирования; для оперативного мониторинга полного электронного содержания эффективны спутниковые и радиофизические методы.

Список источников

1. ГОСТ 21535-76 «Системы радионавигационные дальномерные и разностно-дальномерные. Термины и определения».
2. *Куприянов А.О.* Глобальные навигационные спутниковые системы: Учебное пособие. – М.: МИИГАиК, 2017. – 76 с.
3. *Сарайский Ю. Н., Липин А. В., Либерман Ю.И.* Аэронавигация. Часть II. Радионавигация в полете по маршруту: Учебное пособие. / СПбГУ ГА. Санкт-Петербург, 2013. - 383 с.
4. *Гринкевич А.В.* Радионавигация : учебно-методическое пособие / А. В. Гринкевич. – Минск : БГУИР, 2018. – 214 с.

5. *Полевода Ю.А., Крижановский М.Н., Литвинов С.В., Горбунов Р.В.* Возможности применения SDR-технологий для работы с сигналами ГНСС // Сборник трудов Национальной научно-практической конференции – Москва: РТУ МИРЭА, 2022. – С. 330-335. – EDN AUQDSX.
6. Прикладной потребительский центр Роскосмоса // [Электронный ресурс] URL: https://www.glonass-iac.ru
7. *Черных М.А., Черных Д.А.* Методы координатно-временного обеспечения беспилотных летательных аппаратов // Молодой ученый. – 2023. – № 37(484). – С. 29-31.
8. *Афраймович Э.Л., Перевалова Н.П.* GPS-мониторинг верхней атмосферы Земли. – Иркутск: ГУ НЦ РВХ ВСНЦ СО РАМН, 2006. 480 с.
9. Плазменная гелиофизика. В 2 т. /Под ред. Л.М. Зеленого и И.С. Веселовского. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008.
10. Модель космоса: Научно-информационное издание: В 2 т./ Под ред. М.И. Панасюка, Л.С. Новикова.- М.: КДУ, 2007.
11. *Afraimovich E.L.* GPS global detection of the ionospheric response to solar flares, Radio Sci., 35, 1417-1424.
12. *Горбунов Р.В., Литвинов С.В., Чистяков Е.А., Салеев В.Ю.* Методы компенсации влияния ионосферы на прохождение сигналов ГНСС // Сборник трудов I Национальной научно-практической конференции – Москва: РТУ МИРЭА. – С. 310-315. – EDN POIZON.

COORDINATE SPACE FOR LONG-RANGE POSITIONING

A.V. Kashchaeva[1], A.V. Maksimovich[2], S.V. Litvinov[3]
[1–3] MIREA — Russian technological university (Moscow, Russia)
[1] kacshaeva@mirea.ru, [2] maksimovich@mirea.ru, [3] litvinov_s@mirea.ru

Abstract

Unmanned aerial vehicles used for a wide range of missions are critically dependent on the stable reception of GNSS signals. Inertial navigation systems are a possible solution to such problems. It is also seen, though prodlematic, but possible to determine coordinates by analyzing the postdlalayuschaya surface using machine vision. The substantiation of application of radio-navigation systems creating their own coordinate space for orientation of unmanned air vehicles is given. Investigations of range radionavigation systems with and without a transponder are carried out. The obtained results allow us to conclude that it is reasonable to use range radionavigation systems to create a coordinate space for UAVs. The realization of such a system is possible with the use of software-defined radio systems.

Keywords

Unmanned Aerial Vehicles, UAVs, drones, GNSS, radionavigation, range radionavigation

УДК 621.396

ОРИЕНТАЦИЯ ПО МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ GSM

А.В. Козловский[1], С.В. Литвинов[2]
[1–2] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] Kozlovskiy@mirea.ru, [2] Litvinov_S@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. В современных условиях определение местоположения и ориентации мобильных устройств с высокой точностью остается актуальной задачей, особенно в зонах с ограниченным покрытием сотовой сети, где использование GPS невозможно или нецелесообразно. При этом плотность размещения базовых станций в удаленных районах часто оказывается недостаточной для точного позиционирования традиционными методами. Традиционные методы GSM-позиционирования, такие как CELL ID и RSSI, обладают значительной погрешностью, что особенно заметно в условиях работы с одной базовой станцией. Это существенно ограничивает их применение в удаленных районах и требует разработки новых подходов к обработке сигналов.

Цель. Разработать и оценить эффективность комбинированного метода позиционирования на основе CELL ID TA и RSSI для определения местоположения мобильного устройства при работе с одной базовой станцией. Особое внимание уделяется минимизации погрешности измерений за счет алгоритма интервального пересечения и анализу влияния шага TA на итоговую точность определения координат.

Результаты. Проведен анализ методов трилатерации и триангуляции, разработан алгоритм обработки сигналов, сочетающий преимущества временных (TA) и мощностных (RSSI) характеристик. Показано, что предложенный метод интервального пересечения позволяет повысить точность позиционирования даже при ограниченном количестве доступных данных.

Практическая значимость. Результаты исследования расширяют возможности использования GSM-позиционирования в условиях, где традиционные методы навигации недоступны. Разработанный подход может быть применен в системах, требующих определения местоположения при минимальной инфраструктуре, что особенно важно для удаленных и труднодоступных территорий.

Ключевые слова

GSM, RSSI, TA, базовая станция, ориентация, интервальное пересечение, погрешность измерений.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

GSM позиционирование — это технология определения местоположения абонента мобильной сети на основе характеристик сигнала от базовых станций. Существует несколько основных методов GSM позиционирования: CELL ID (идентификатор соты), TA (Timing Advance — оценка времени прохождения сигнала), RSSI (Received Signal Strength Indicator — уровень сигнала), TDOA (Time Difference of Arrival — разница времени прихода сигнала), а также AoA (Angle of Arrival — угол прихода сигнала). В открытом пространстве, где отсутствуют помехи от застройки, можно повысить точность позиционирования, одновременно используя несколько методов. В данной статье рассматривается комбинированный подход, основанный на одновременном применении CELL ID с TA и RSSI. Такой способ позволяет получить более точные координаты абонента без привлечения GPS, что актуально для задач с ограниченными ресурсами.

Методы позиционирования

Как правило, местоположение мобильной станции неизвестно, тогда как для измерений используется несколько стационарных станций. Ниже описаны процедуры локализации в этих условиях. Это можно сделать путем измерения либо посредством триангуляции (ангуляции), определения углов, либо с помощью трилатерации (латерации, измерения расстояний), измерения расстояний. Кроме того, определение местоположения может также основываться на определении соседства (близости) и вспомогательного GPS. Различные методы более подробно описаны ниже.

Вспомогательный GPS

Системы глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) предназначены для использования вне помещений. При использовании GPS измерение осуществляется методом

времени прибытия, при котором сигналы должны быть получены как минимум от 4 спутников. Однако в помещении эти сигналы отражаются или поглощаются стенами. Чтобы не отказываться от глобальной доступности GPS, была разработана так называемая Assisted GPS. Приемник пытается принимать слабые сигналы GPS, если это возможно. Дополнительная информация о местоположении получается через сеть мобильной связи, которая предназначена для облегчения приема сигналов GPS. При использовании спутниковой системы дифференциальных поправок (SBAS) возможна точность позиционирования до 10 м.

Время прибытия

Метод времени прибытия (TOA) измеряет время прохождения сигналов. Это позволяет определить расстояние между передатчиком и приемником. Если измерение проводится в одностороннем направлении, т. е. сигналы оцениваются на приемнике, обе станции должны быть синхронизированы. Если расстояние определяется по удвоенному расстоянию, то это можно опустить. Если проводить измерение расстояния из трех разных точек, можно провести трилатерацию. (Рис. 1).

С тремя фиксированными точками в качестве центров сферы и соответствующими линиями к новой точке, можно описать уникальные сферы. Пересечение двух сфер обычно дает окружность. (Рис. 2). Окружности пересечения, полученные из сфер, снова пересекаются в двух точках, которые представляют собой возможные решения для положения новой точки. Ориентация треугольника M1, M2, M3 используется в качестве критерия принятия решения о правильности двух возможных решений.

Этот факт можно формально описать уравнением сферы, где s_i - расстояние между фиксированной станцией и новой точкой, x,y,z - координаты новой точки x_i,y_i,z_i представляют собой координаты неподвижных точек:

$$s_i = (x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2. \quad (1)$$

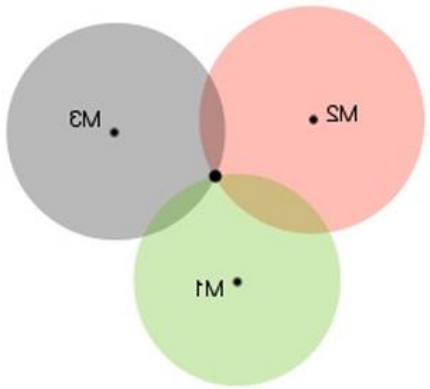


Рис. 1. Трилатерация
Fig. 1. Trilateration

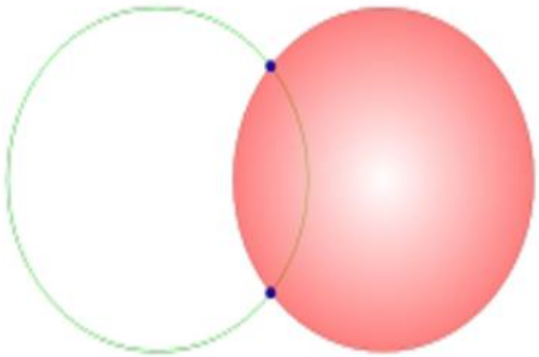


Рис. 2. Сферическое сечение
Fig. 2. Spherical section

Разница во времени прихода сигнала

Этот метод основан на измерении разницы во времени между мобильной станцией и стационарными станциями. Если мобильная станция берет на себя роль передатчика, этот сигнал принимают как минимум три базовые станции. Для расчета положения, сигналу присваивается временная метка для дальнейшей передачи информации. Затем местоположение мобильной станции можно рассчитать на основе разницы между соответствующими временными метками с использованием трилатерации. Если задача передачи данных возложена на базовые станции, то они должны быть синхронизированы по времени. В этом случае положение приемника можно рассчитать с помощью

гиперболического сечения. Гиперболические линии — это местоположения всех точек, для которых разность расстояний всегда одинакова. Пересечение этих гипербол затем дает единственное решение. (Рис.3). Гиперболическое пересечение можно распространить на трехмерный случай. Это называется пространственным гиперболическим сечением или сечением гиперболоида.

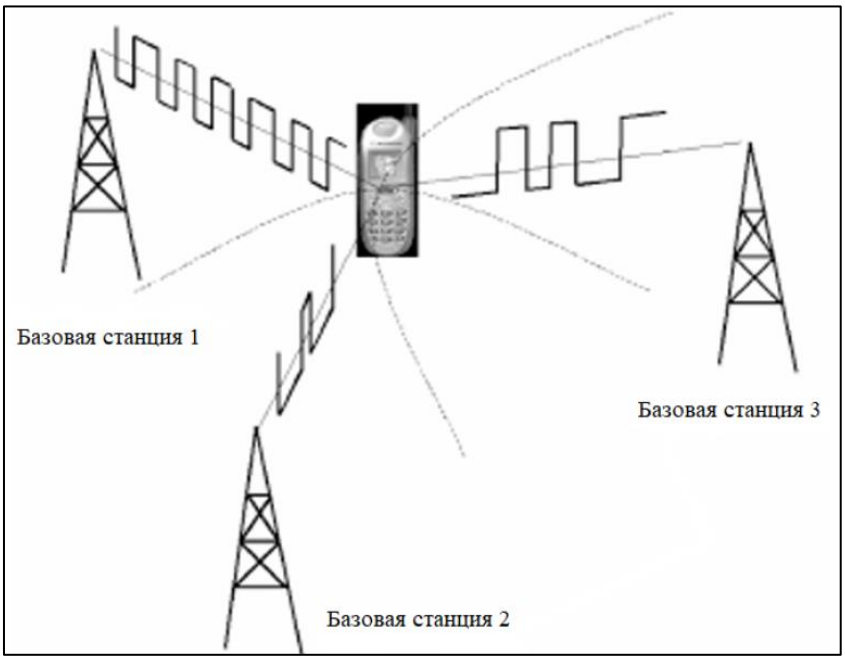


Рис. 3. Гиперболические сечения
Fig. 3. Hyperbolic sections

Угол прихода

Этот метод измеряет входной угол сигналов. Это возможно благодаря тому, что базовые станции имеют специальные антенные решетки, на которых установлено несколько приемников. В двумерном случае достаточно двух приемников, расположенных рядом друг с другом (Рис. 4). Входной угол a можно определить по разнице во времени сигнала в двух датчиках S1 и S2 падающей волны и опорного направления через нормаль к базовой линии b. Если входные углы сигналов измерены на двух базовых станциях, расстояние между которыми известно, то положение новой точки можно рассчитать по этим значениям, используя метод триангуляции (Рис. 5).

Для определения положения в трехмерном пространстве антенные решетки должны измерять угол места. Кроме того, они должны иметь вертикальную составляющую. Несмотря на то, что для определения местоположения мобильной станции при использовании этого метода достаточно всего двух базовых станций, точность можно повысить, используя дополнительные базовые станции.

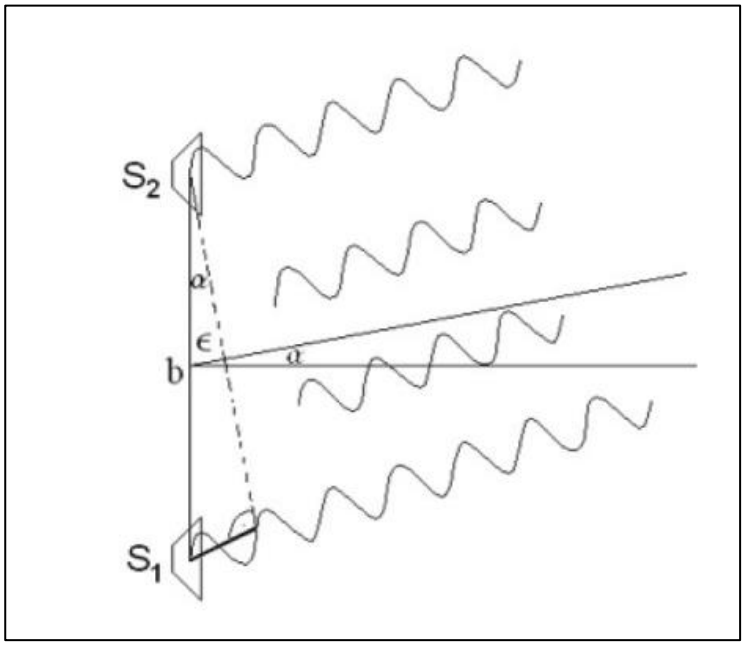


Рис. 4. Антенная решетка
Fig. 4. Antenna array

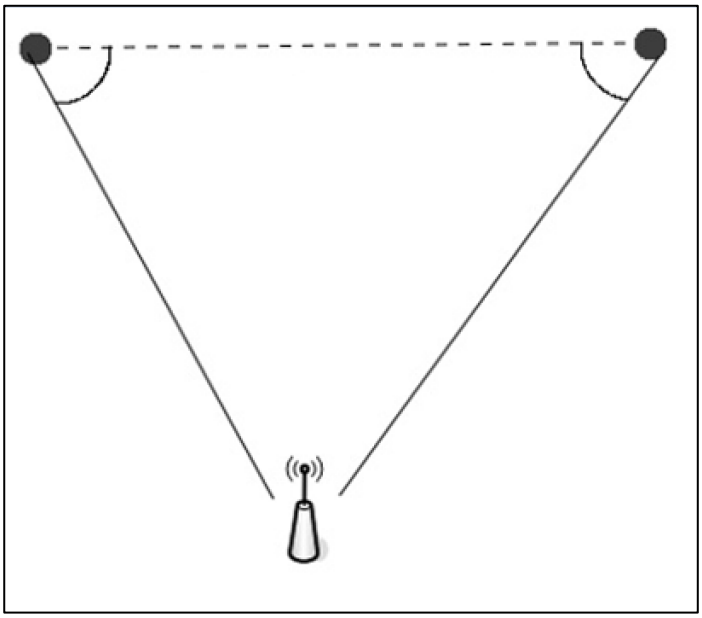


Рис. 5. Метод триангуляции
Fig. 5. Triangulation method

Ячейка происхождения

Cell of Origin (или Access Point Monitoring) — это процесс, в котором базовые станции имеют сотовую структуру. Приемник всегда подключается к ближайшей базовой станции. Если приемник подключен к базовой станции, он должен находиться в зоне действия станции. Поскольку позиции базовых станций известны, то определение расположения мобильной станции представлено следующим образом. (Рис. 6). Точность этого метода зависит от плотности базовых станций. Тем не менее, эта процедура используется, например, в Приложение для услуг определения местоположения от операторов мобильной связи, поскольку существующую инфраструктуру GSM можно использовать без дополнительных усилий.

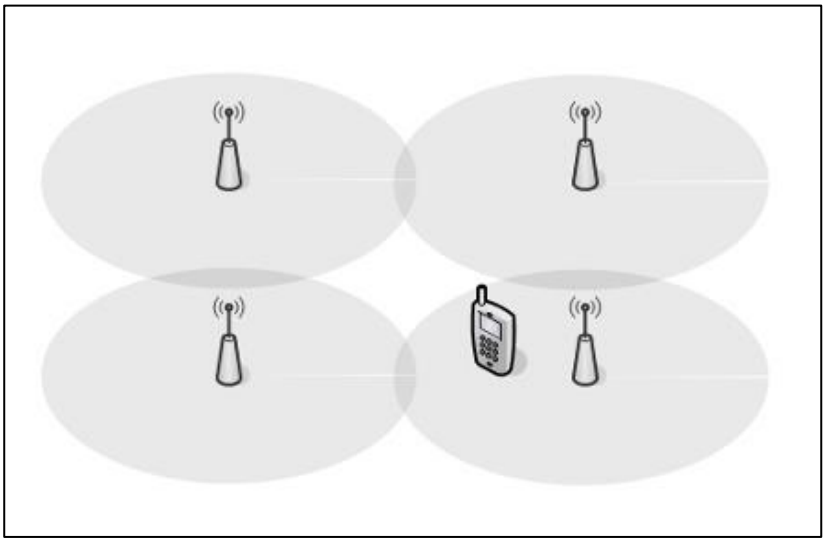


Рис. 6. Определение местоположения на основе исходной ячейки
Fig. 6. Location determination based on the source cell

Принцип определения ориентации на основе методов CELL ID TA и RSSI

В сильно отдаленных от города местностях присутствует вероятность того, что мобильное устройство будет покрывать лишь одна базовая станция. В таком случае некоторые методы позиционирования не будут работать, а у остальных наблюдается большая погрешность в вычислении дальности до цели.

Рассмотрим метод CELL ID TA. При подключении мобильного устройства к базовой станции определяется ячейка, в которой оно располагается. Таким образом, приблизительное направление до цели известно. Далее базовая станция измеряет, когда пришел сигнал от мобильного устройства и сравнивает с тем, когда должна была прийти передача, если бы устройство было поблизости. Формула для расчета расстояния по TA:

$$D = TA \times d_{TA}, \quad (2)$$

где D – расстояние от мобильного устройства до базовой станции, в метрах.

TA – значение Timing Advance (целое число от 0 до 63), всегда известное оператору, так как оно нужно для синхронизации и работы сети.

d_{TA} – расстояние, соответствующее одному шагу TA, равное 553.5 метра по стандарту.

Для определения дальности до цели методом RSSI (по уровню сигнала), воспользуемся формулой Фрииса, которая приведена для идеальных условий (отсутствуют препятствия, отражения и т. д.).

$$\frac{P_r}{P_t} = G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right)^2, \quad (3)$$

где Gt – коэффициент усиления передающей антенны.
Gr – коэффициент усиления приемной антенны.
Pt, Pr – мощности передающей и приемной антенн соответственно.
R – искомое расстояние между антеннами.
$\boldsymbol{\lambda}$ – длина волны в метрах, соответствующая частоте передачи.

В двух методах присутствует погрешность. Так, метод TA показывает лучшие результаты в чистом поле, где нет препятствий и отражений от посторонних объектов, в то время как RSSI помогает в сложной среде (лес, рельеф, постройки), где результат TA может выдавать значительную ошибку в расчетах. При этом формула Фрииса предполагает идеальные условия и также имеет погрешность в вычислении дальности до цели.

Для минимизации погрешности воспользуемся методом интервального пересечения. Учитываем погрешность TA (± 275 м) и RSSI (± 200 м), предположим, что дальность до цели рассчитана для обоих методов (RTA = 2.2 км и RRSSI = 2.5 км). Метод TA дает диапазон [1.925 – 2.475 км], RSSI [2.3 – 2.7 км]. Таким образом получим пересечение интервалов [2.3 – 2.475 км] и посчитаем среднее значение по пересечению:

$$R_{\text{итог}} = \frac{2.3 + 2.475}{2} = 2.3875 \text{ км } \pm 90 \text{ м.} \quad (4)$$

Теперь имеем более точное расстояние до искомой цели.

Заключение

В статье рассмотрен метод определения ориентации мобильного устройства с использованием технологий GSM-позиционирования, таких как CELL ID TA и RSSI. Комбинированный подход, основанный на совместном применении этих методов, позволяет повысить точность определения местоположения даже в условиях ограниченного покрытия базовыми станциями. Особое внимание уделено методам трилатерации и триангуляции, а также анализу погрешностей и способу их минимизации.

Предложенный метод интервального пересечения для объединения данных TA и RSSI демонстрирует значительное улучшение точности позиционирования, что особенно актуально для удаленных и сложных территорий. Несмотря на существующие ограничения, такие как зависимость от инфраструктуры GSM и влияние внешних факторов на сигнал, метод остается перспективным для задач, где использование GPS невозможно или нецелесообразно.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на интеграцию дополнительных технологий, таких как TDOA и AoA, а также на разработку алгоритмов машинного обучения для автоматической коррекции погрешностей в реальном времени.

Список источников

1. Сайт МИРЭА — Российский технологический университет «РТУ МИРЭА — победитель конкурса программы «Дежурный по планете», [Электронный ресурс] // URL: https://www.mirea.ru/news/rtu-mirea-pobeditel-konkursa-programmy-dezhurnyy-po-planete/ (Дата обращения: 01.09.2023).
2. МИРЭА и Геоскан // Space-π. Дайджест №11 апрель 2022, стр. 9.
3. *Горбунов Р.В., Скрипачев В.О., Литвинов С.В., Тарадаев С.В.* «Возможности малых космических аппаратов для проведения радиозатменных измерений ионосферы» Сборник научных статей по материалам VI Международной научно-практической конференции «Радиоинфоком-2022», г. Москва, РТУ МИРЭА: сборник научных статей. – М.: МИРЭА – Российский технологический университет, 2022. - С 80-85
4. *Сигов А.С., Кудж С.А., Замуруев С.Н., Куликов Г.В., Андреев Г.И.* Учебно-научный Центр космического мониторинга - новый высокотехнологичный этап взаимодействия Московского технологического университета и ЦНИРТИ им. Академика А.И. Берга // Вестник РАЕН. – 2018. – Т. 18, № 3. – С. 10-15. – EDN XRELXF.
5. Прикладной потребительский центр Роскосмоса // [Электронный ресурс] URL: https://www.glonass-iac.ru.
6. *Гаджиев Э.В., Скрипачев В.О., Генералов А.Г., Полушковский Ю.А*. К вопросу о построении антенн для радиозатменного метода диагностики ионосферы. Тезисы докладов Шестой международной научно–технической конференции «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли». – М.: АО «Корпорация «ВНИИЭМ». 2018. С. 129–131.
7. *А. С. Сигов, С. А. Кудж, А. В. Рагуткин и др.*Программа разработки, создания и эксплуатации учебно-научного центра космического мониторинга "Космоцентр" на базе Московского технологического университета // Сборник научных трудов III Международной научно-практической конференции, Москва, 13–17 ноября 2017 года / Московский технологический университет (МИРЭА). – Москва: Московский технологический университет (МИРЭА), 2017. – С. 7-18.
8. *Дорошенко В.В., Просвиров А.В., Литвинов С.В.* Организация фазированной антенной решетки на базе БПЛА посредством управления с базовой станции // Научно-технический вестник Поволжья. – 2022. – № 10. – С. 52-57. – EDN UQSKHH.

GSM MOBILE COMMUNICATION ORIENTATION

A.V. Kozlovskiy [1], **S.V. Litvinov** [2]
[1–2] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] Kozlovskiy@mirea.ru, [2] Litvinov_S@mirea.ru

Abstract

The article addresses the problem of determining the location and orientation of mobile devices with high accuracy in areas with limited cellular coverage, where GPS is unavailable. Traditional GSM positioning methods, such as CELL ID and RSSI, have significant errors, especially when working with a single base station, which limits their application in remote areas.

The study aims to develop and evaluate the effectiveness of a combined positioning method based on CELL ID TA and RSSI for determining the location of a mobile device using a single base station. The focus is on minimizing measurement errors through an interval intersection algorithm and analyzing factors affecting accuracy in low-signal conditions.

The results demonstrate that the proposed method improves positioning accuracy even with limited data. The practical significance of the study lies in expanding the capabilities of GSM positioning in environments where traditional navigation methods are unavailable, making it valuable for remote and hard-to-reach areas.

Keywords

GSM, RSSI, TA, base station, orientation, interval intersection, measurement error.

УДК 550.385.4

СОГЛАСОВАННОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ИОНОСФЕРЫ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ НАБЛЮДЕНИЙ

С.В. Литвинов[1], **Е.А. Чистяков**[2], **Ю.А. Полевода**[3]
[1–3] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] litvinov_s@mirea.ru, [2] chistyakov@mirea.ru, [3] polevoda@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Необходимость отслеживания состояния ионосферы не вызывает сомнений. Для исследования и мониторинга параметров ионосферы применяются различные аппаратно-программные методы. Условно их можно поделить на наземное и космическое размещение аппаратуры. Результатом использования этих методов являются различные данные об ионосфере. В большинстве исследований этой проблемы проводится верификация различных моделей ионосферы и/или распространения радиоволн по реальным данным.

Цель. Провести исследование видов результатов измерений параметров ионосферы.

Результаты. Проведены исследования самых распространенных методов исследования ионосферы: вертикальное, наклонное и возвратно-наклонное зондирование, внешнее зондирование ионосферы с космического аппарата, прямое и обратное трансионосферное зондирование, исследование ионосферы по сигналам ГНСС (в т.ч. радиозатменное зондирование).

Практическая значимость. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что для верификации данных об ионосфере, полученных различными методами, следует использовать результаты измерения полного электронного содержания и высотный профиль электронной концентрации, а также о необходимости продолжении исследований в данном направлении.

Ключевые слова

Космическая погода, ионосфера, вертикальное зондирование, наклонное зондирование, возвратно-наклонное зондирование, внешнее зондирование, трансионосферное зондирование, сигналы ГНСС, полное электронное содержание (ПЭС), высотный профиль электронной концентрации

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям (ФСИ) в рамках Договора 94С2/МОЛ/73887 от 25.03.2022 г.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Информация о характеристиках геокосмической среды во всём мире необходима для понимания и прогнозирования явлений космической погоды в различных условиях солнечной и магнитной активности. Известно, что сильные явления космической погоды, такие как мощные и экстремальные магнитные бури, приводят к значительным изменениям параметров ионосферы и термосферы и часто оказывают негативное влияние на инфраструктуру, особенно на космические объекты [1]. Более того, есть свидетельства того, что даже незначительные изменения параметров солнечного ветра и межпланетного магнитного поля могут оказывать серьёзное влияние на ионосферу и плазмосферу [2]. В исследованиях предвестниковых возмущений ионосферы перед сильными землетрясениями используются сигналы навигационных космических аппаратов (НКА), по характеристикам которых диагностируется состояние ионосферы вдоль трассы распространения сигнала и исследуется морфология возмущений полного электронного содержания (ПЭС) ионосферы [3].

В последние годы достигнут значительный прогресс в исследованиях ионосферы за счет комплексирования информации, полученной из различных источников и различными методами, включая наземные и космические средства зондирования, космические и наземные приемники сигналов ГНСС. Учитывая различную геометрию наблюдений, вертикальный охват и погрешности между различными методами измерений, крайне важно оценить их абсолютную точность и оценить систематические погрешности. [4]

Полное электронное содержание (TEC – Total Electron Content) является одним из ключевых параметров ионосферы. К тому же этот чуть ли не единственный параметр,

определяемый большинством методов исследования ионосферы. Полное электронное содержание определяется количеством свободных электронов вдоль пути электромагнитной волны между навигационным спутником и приемником. Стандартно TEC определяется как общее количество электронов вдоль трубки сечением один квадратный метр и выражается в специальных единицах, при этом 1 TECU = 10^{16} $м^{-2}$.

Методы исследования ионосферы и выходные данные этих методов

Не будем в очередной раз в подробностях описывать всем известные методы исследования и мониторинга ионосферы, для подробного изучения рекомендуем изучить соответствующие труды [5-7]. Здесь, кратко рассмотрев методы исследования ионосферы, сосредоточимся на результатах различных методов и их согласованность. Большинство исследований подобного толка посвящены сопоставлению реальных измерений модельным данным [8,9]. Важность таких исследований заключается в верификации математических моделей по данным измерений, что позволяет в будущем более точно прогнозировать состояние ионосферы.

Нетривиальным видится вопрос классификации аппаратно-методологического обеспечения изучения ионосферы. Сперва, логичным видится разделение на наземный и космический сегмент базирования аппаратуры. Далее мы переходим к тому, что есть два варианта реализации аппаратуры: активные и пассивные радиосистемы. Пассивные приемники сигналов ГНСС, являющиеся распространенной аппаратурой для определения параметров ионосферы, могут размещаться как на поверхности Земли так и на борту космических аппаратов (КА).

Визуализация основных методов исследования ионосферы приведены на рисунке 1.

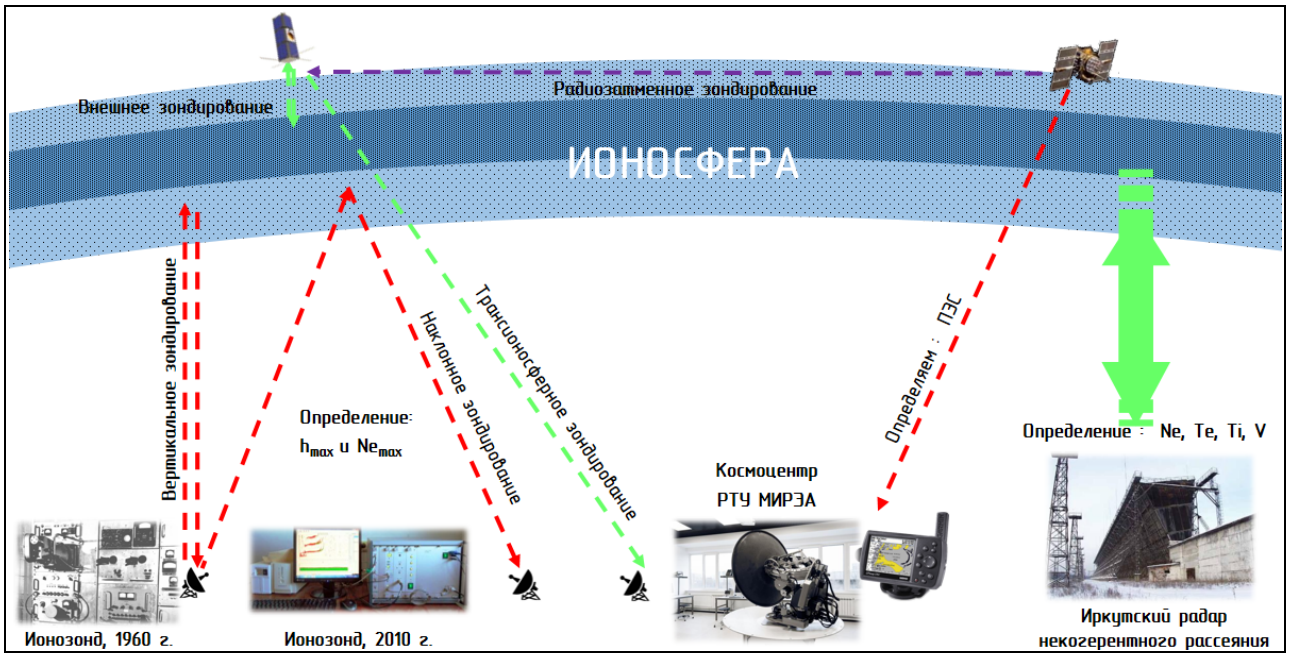


Рис. 1. Визуализация основных методов исследования ионосферы.
Fig. 1. Visualization of the main ionospheric research methods.

Вертикальное, наклонное, возвратно-наклонное зондирование ионосферы.

Зондирование ионосферы радиоэлектронными средствами наземного базирования характеризуется излучением и приемом сигналов в диапазоне коротких волн (от ~ 3 до 30 МГц) и фиксировании задержки прихода отраженного сигнала. Основным результатом такого зондирования является ионограмма - зависимость высоты отражающего слоя (пересчитываемой из задержки прихода отраженного сигнала) от частоты излученного сигнала. Ионограмма в зависимости от ее качества и степени детальности обработки может дать информацию о состоянии основных ионосферных слоев и областей (F2, F1, E, Es), о высотном профиле электронной концентрации в ионосфере, о параметрах, определяющих условия распространения

радиоволн. На рисунке 2 показаны ионограммы вертикального (слева), наклонного (в центре) и возвратно-наклонного (справа) зондирования ионосферы.

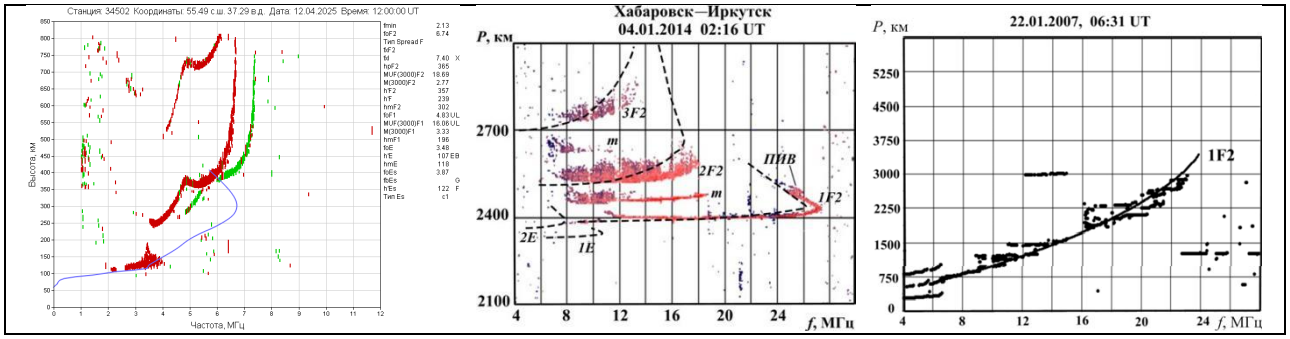


Рис. 2. Ионограммы вертикального (слева), наклонного (в центре) и возвратно-наклонного (справа) зондирования ионосферы.

Fig. 2. Ionograms of vertical (left), oblique (center) and reverse slope (right) ionospheric sounding.

Исследователи и практики спорят о достоверности полученных данных, указывая на то что точное определение высоты затрудняется неоднородностью ионосферы и невозможностью достоверно определить путь распространения сигнала в ионосфере. Высказывается мнение что единственной достоверной характеристикой является критическая частота - т.е. частота, выше которой не фиксируется отраженный сигнал.

Вместе с тем, такие методы исследования позволяют определить полное электронное содержание, которое определяется как интеграл концентрации электронов от земли до потолка высот. В статье [10] описывается метод синтеза профиля электронной концентрации ионосферы путем сравнения экспериментальных и модельных ионограмм. Профиль подбирается автоматически для достижения максимального сходства между модельной и экспериментальной ионограммами. В качестве начального приближения используются данные международной справочной модели ионосферы IRI. Важной особенностью представленного метода является возможность восстанавливать профиль электронной концентрации ионосферы не только в точке вертикального зондирования, но и в средней точке наклонного зондирования, при этом ионограмма наклонного зондирования редуцируется в ионограмму вертикального зондирования в средней точке радиотрассы.

Внешнее зондирование ионосферы

Метод внешнего зондирования ионосферы схож с вертикальным зондированием с той лишь разницей, что в таком случае иононозонд устанавливается на искусственном спутнике Земли. Такая аппаратура позволяет получить информацию о структуре и процессах на высотах между космическим аппаратом (КА) и максимум ионосферы. Результатом такого метода являются данные, полученные вдоль всей траектории полета КА: критическая частота и высота максимума слоя F2 (foF2, hmaxF2); распределение электронной концентрации от RF до главного максимума электронной концентрации слоя F2 - Ne(h)-профиль. При этом становится недоступным для анализа слой F1 и области E и D, также как и при вертикальном зондировании не могут быть получены параметры электронной концентрации выше hmaxF2.

Практически сразу с начала освоение космического пространства искусственными спутниками Земли, на борту космических аппаратов размещалась аппаратура для исследования ионосферы. Например иностранные КА Alouette-1 (1962 г.) и Alouette-2 (1965 г.), ISIS-I (1969 г.) и ISIS-B (1971 г.), ISS-b (1978 г.). широко известны результаты работ отечественных космически аппаратов Интеркосмос 19 (1979 г.), Космос 1809 (1986 г.), Пилотируемый космический комплекс МИР (1996 г.).

Новейшая эпоха изучения ионосферы из космоса ознаменовалась реализацией проекта «Ионозонд», в рамках которого планируется создать космическую группировку из четырех КА «Ионосфера-М» и одного КА «Зонд-М». Такая космическая способна обеспечить решение

группировка решение задач мониторинга околоземного космического пространства и фундаментальных исследований космической плазмы и волновых процессов в ней [11].

Так, комические аппараты «Ионосфера-М №1» и «Ионосфера-М №2» выведенны на орбиту Земли 5 ноября 2024 года с Космодрома «Восточный». Одновременно с этим, в качестве попутной полезной нагрузки, выведены малые космические аппараты формата CubeSat, среди которых есть КА также предназначенные для изучения ионосферы (напр. МКА RTU MIREA1 [12]). Космические аппараты «Ионосфера-М №3» и «Ионосфера-М №4» планируются к выведению на орбиту в 2025 году.

Основная аппаратура КА «Ионосфера-М» для измерения параметров ионосферной плазмы, космической радиации и электромагнитных полей:

– ЛАЭРТ — ионозонд для измерения вертикального распределения электронной концентрации ионосферной плазмы. Прибор имеет два основных режима работы. В пассивном режиме он работает как радиоспектрометр в диапазоне частот 100 кГц – 20 МГц. В активном режиме — как ионосферный локатор в том же диапазоне частот.

– ПЭС — приёмник сигналов навигационных спутников GPS/ГЛОНАСС для определения характеристик ионосферы радиозатменным методом.

– МАЯК — передатчик когерентных радиосигналов на частотах 150 и 400 МГц. По принятым от прибора МАЯК сигналам на наземных станциях будет восстанавливаться распределение плотности ионосферных электронов методом низковысотной томографии.

– НВК с магнитным и электрическими датчиками — приёмник-анализатор электромагнитных волн в низкочастотном диапазоне до 20 кГц для измерения естественных излучений космической плазмы и сигналов искусственного происхождения от электросетей и наземных низкочастотных передатчиков. СПЭР/1 — спектрометр плазмы и энергичной радиации (ионов и электронов в диапазоне 0.05 кэВ – 100 МэВ), предназначенный для мониторинга плазмы, приходящей в ионосферу «сверху» — из магнитосферы.

– ГАЛС/1 — спектрометр галактических космических лучей и магнитосферной радиации (электронов и протонов в диапазоне от 0.15 до 600 МэВ).

– СГ/1 — гамма-спектрометр в диапазоне энергий 20 кэВ – 10 МэВ.

Прямое и обратное трансионосферное зондирование ионосферы

Трансионосферное зондирование подразумевает измерение зависимости групповых задержек от частоты радиосигнала при прохождении радиоволны сквозь ионосферу. В случае, когда передатчик расположен на борту космического аппарата, а приемник на земле говорят о «прямом трансионосферном радиозондировании» (ТИЗ). Если же сигналы распространяются от передатчика, размещенного на земле, к приемнику на борту КА, то метод называется «обратным трансионосферным радиозондированием» (ОТИЗ). [13]

Наибольшую эффективность метод трансионосферного радиозондирования показал в выявлении ионосферных неоднородностей, а также возможности определения их физических параметров и геометрических характеристик. При этом, как правило, анализировалось распространение радиоволн между космическим аппаратом и наземной станцией, без отражения от Земли. Однако имеющиеся публикации [14] свидетельствуют о том, что не менее существенными, чем прямые радиолучи между спутником и наземной станцией, также являются исследующие ионосферу радиолучи с отражением от Земли. При этом были получены ионограммы нового вида, в которых след отражения от Земли не является однозначной функцией частоты зондирования, что является обязательным для рутинных ионограмм внешнего зондирования.

Исследование ионосферы по сигналам ГНСС

После запуска на орбиту спутников глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) GPS (Global Positioning System / глобальная система позиционирования), ГЛОбальной НАвигационной Спутниковой Системы (ГЛОНАСС), развертывания в последнее время

европейской системы Галилео (Galileo) и китайской – Бэйдоу (Beidou) спутники этих систем стали активно использоваться для исследования ионосферы [15].

Космическая группировка в каждой системе насчитывает не менее 24 спутников, что позволяет проводить диагностику ионосферы одновременно по всему земному шару. Измерения TEC обеспечиваются широко разветвленной международной сетью GPS станций, которых насчитывается более 4000. Над каждой станцией за сутки наблюдается более 30 пролетов спутников каждой из систем, что обеспечивает непрерывный мониторинг динамики TEC для реальных геофизических условий [7].

Спутники ГНСС излучают две, а в последнее время уже и три когерентные частоты, что позволяет рассчитывать полное электронное содержание (ПЭС) вдоль луча зрения от космического аппарата до приемника ГНСС [13]. При этом приемник может быть установлен как на поверхности планеты, так и на другом космическом аппарате, тогда говворят о радиозатменном зондировании ионосферы. Расчет ПЭС основан на дисперсионной зависимости показателя преломления радиоволн, распространяющихся через ионосферу, и учитывает электронную концентрацию на пути распространения радиоволны [16].

Среда распространения оказывает влияние на характеристики распространяющегося сигнала, поэтому анализ изменений сигнала позволяет получить характеристики среды и, таким образом, осуществлять ее дистанционное зондирование. Конфигурация ГНСС обеспечивает непрерывный и глобальный прием навигационных сигналов, поскольку в поле зрения приемника потребителя ГЛОНАСС/GPS всегда находится как минимум 8 непрерывно перемещающихся спутников. Это позволяет получать распределение ПЭС в пространстве и во времени [17]. Спутники системы ГЛОНАСС имеют большее наклонение орбиты, чем спутники других ГНСС, что дает преимущество при исследовании процессов в высоких широтах.

Также для получения информации о распределении электронной концентрации в верхних слоях атмосферы ранее использовались ионозонды космического базирования, вертикальные запуски ракет и станций с некогерентным рассеянием радиоволн. Перечисленные радиотехнические средства позволяют исследовать параметры ионосферы на высотах от 70 до 1500 км. Однако данные средства достаточно дорогостоящие в производстве и эксплуатации. В связи с этими фактами перспективным представляется оценка параметров ионосферы на основе анализа искажений сигналов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) ГЛОНАСС/GPS/Beidou/Galileo [18].

В качестве платформ для приемников сигналов ГНСС в последнее время используются низкоорбитальные малые космические аппараты (МКА), которые оснащены соответствующей приемной аппаратурой. Так, на малом космическом аппарате «RTU MIREA1», разработанном в МИРЭА-Российском технологическом университете, установлен бортовой навигационный приёмник сигналов глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS, предназначенный для проведения радиозатменного зондирования ионосферы [19].

Сопоставимость результатов исследования ионосферы

В зависимости от применяемого метода исследования ионосферы различаются и выходные данные, которые дополняют друг друга. При этом, в большинстве случаев, в прямом или косвенном виде, возможно получить информацию о полном электронном содержании ионосферы. Важно отметить, что ПЭС не всегда является основным целевым показателем измерения параметров ионосферы.

Так, результатом вертикального зондирования ионосферы, является ионограмма с набором измеренных данных. При этом метод позволяет напрямую восстанавливать высотный профиль электронной концентрации N(h) через процедуру интерпретации экспериментальной ионограммы. Полное электронное содержание (ПЭС) вычисляется как интеграл от профиля электронной концентрации по высоте.

В случае наклонного зондирования, для получения высотного профиля электронной концентрации требуется редукция наклонной ионограммы к эквивалентной вертикальной

ионограмме с использованием геометрической модели радиотрассы. После этого можно восстановить как ПЭС, так и профиль N(h).

Из-за более сложного распространения радиоволн при возвратно-наклонном зондировании усложняется и анализ получаемых данных, однако метод выдает информацию о распределении электронной концентрации вдоль радиотрассы. Высотный профиль N(h) может быть восстановлен через численные процедуры интерпретации данных. Полное электронное содержание определяется путем интегрирования полученного профиля.

Иначе обстоит ситуация с методами исследования ионосферы с использованием космического сегмента. При внешнем зондировании, очень схожем с вертикальным, измеряется амплитуда, фаза и задержка прихода отраженного сигнала. Однако метод позволяет определить только интегральную характеристику — полное электронное содержание вдоль линии видения. Высотный профиль электронной концентрации может быть получен лишь косвенно через использование дополнительных моделей распространения.

Основным результатом прямого и обратного трансионосферного зондирования является определение полного электронного содержания вдоль пути распространения сигнала. Высотный профиль электронной концентрации не может быть получен напрямую и требует дополнительной интерпретации данных с использованием априорных моделей.

Также и при работе по сигналам ГНСС - напрямую определяется Total Electron Content (TEC), вычисляемый как разница между временами прихода сигналов на двух различных частотах. Метод дает точное значение TEC вдоль линии видения спутника ГНСС (как с Земли, так и с другого КА). Высотный профиль электронной концентрации может быть реконструирован только после применения специальных алгоритмов интерпретации и использования статистических моделей ионосферы и теоретических моделей распространения волн.

Заключение

Прямое получение высотного профиля электронной концентрации возможно только при использовании методов вертикального, наклонного и возвратно-наклонного зондирования. Эти методы обеспечивают наиболее полную информацию о вертикальном распределении параметров ионосферы.

Полное электронное содержание может быть определено практически всеми методами исследования ионосферы. Однако для некоторых методов (например, ГНСС, радиозатменное зондирование) это значение представляет собой интегральную характеристику вдоль пути распространения сигнала.

Для методов, не позволяющих прямого получения высотного профиля (внешнее зондирование, трансионосферное зондирование, ГНСС), восстановление профиля требует дополнительных процедур интерпретации и использования априорных моделей ионосферы.

Таким образом, выбор метода исследования зависит от конкретных задач: если требуется получить детальное вертикальное распределение параметров ионосферы, предпочтительны методы зондирования; для оперативного мониторинга полного электронного содержания эффективны спутниковые и радиофизические методы.

Список источников

1. *Кузнецов В.Д.* Космическая погода и риски космической деятельности // Космическая техника и технологии. – 2014. – № 3(6). – С. 3-13. – EDN TEMDOH.
2. *Литвинов С.В., Скрипачев В.О., Чистяков Е.А.* Исследование результатов повышенной активности вспышек на Солнце в мае 2024 года // Международная межведомственная научно-техническая конференция «Космические технологии-2024»: Сборник научных статей — М.: МИРЭА – Российский технологический университет, 2024. – С. 361-371. – EDN SJTGPU.
3. *Семенова О.В., Делов Л.А., Скрипачев В.О., Суровцева И.В.* Исследование ионосферы перед сильными землетрясениями в Южной Америке с помощью ка DMSP // Актуальные проблемы и перспективы развития радиотехнических и инфокоммуникационных систем ("Радиоинфоком-2021") : Сборник научных статей по материалам V Международной научно-практической конференции, Москва, 15–19 ноября 2021 года. – Москва: МИРЭА - Российский технологический университет, 2021. – С. 120-123. – EDN JZVEKZ.

4. *Wu, M.J., Guo, P., Ma, X. et al.* Differences among the total electron content derived by radio occultation, global ionospheric maps and satellite altimetry. J Geod 98, 82 (2024). https://doi.org/10.1007/s00190-024-01893-8
5. Системный мониторинг ионосферы. Сборник научных трудов / Под ред. доктора физ.-мат. наук Н.Г. Котонаевой. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2019.— 416 с. — ISBN 978-5-9221-1878-1.
6. РД 52.26.817–2023 «Руководство по ионосферным, магнитным и гелиогеофизическим наблюдениям. Часть I. Ионосферные наблюдения»
7. *Шагимуратов И.И., Черняк Ю.В., Захаренкова И.Е., Якимова Г.А., Тепеницына Н.Ю., Ефишов И.И.* Интернет-сервис по созданию GPS/ГЛОНАСС карт полного электронного содержания ионосферы для Европейского региона // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2016. – Т. 13, № 1. – С. 197-209. – DOI 10.21046/2070-7401-2016-13-1-197-209. – EDN VOHJZN.
8. *Ботова М.Г., Романовская Ю.В., Намгаладзе А.А.* Вариации ионосферы: сопоставление результатов моделирования с данными наблюдений // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. – 2014. – Т. 17, № 2. – С. 385-393. – EDN SMTOKV.
9. *Крашенинников И.В., Шубин В.Н.* Особенности прогнозирования работы ионосферных радиолиний в переходных областях скачкового распространения радиоволн // Гелиогеофизические исследования. – 2022. – № 34. – С. 25-33. – DOI 10.5425/2304-7380_2022_34_25. – EDN JNGKTV.
10. *Иванов В.А., Иванов Д.В., Рябова Н.В., Егошин А.Б., Лащевский А.Р., Мальцев А.В.* Комплексный адаптивный алгоритм обработки ионограмм вертикально наклонного зондирования ионосферы // Гелиогеофизические исследования. – 2013. – № 4. – С. 11-23. – EDN RCWNTL.
11. О задачах и научной аппаратуре гелиогеофизических спутников «Ионосфера-М» / ГК "Роскосмос" Главная - Публикации - Новости. 02.11.2024. https://www.roscosmos.ru/41020/
12. RTU MIREA1 готов к запуску / Space-π – проект программы «Дежурный по планете». https://spacepi.space/news/rtu-mirea-1-gotov-k-zapusku/
13. *Коваль С. А.* Ионосферный мониторинг в интересах перспективных адаптивных систем декаметровой радиосвязи: современное состояние и перспективы развития // Системы управления, связи и безопасности. 2020. № 4. С. 73-100. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10403
14. *Данилкин Н.П., Жбанков Г.А., Журавлев С.В., Котонаева Н.Г.* Трансионосферное радиозондирование - метод диагностики наличия ионосферных неоднородностей / // Гелиогеофизические исследования. – 2012. – № 1. – С. 47-54. – EDN NTMYSI.
15. *Терещенко Е.Д., Миличенко А.Н., Швец М.В., Черняков С.М., Кораблева И.В.* Определение полного электронного содержания по сигналам спутников глобальной навигационной системы ГЛОНАСС // Вестник Кольского научного центра РАН. – 2015. – № 1(20). – С. 32-43. – EDN VBCPZZ.
16. *Куприянов А.О., Тихонов В.В., Морозов Д.А., Перминов А.Ю.* Оперативный мониторинг параметров ионосферы в локальной области по результатам мультичастотных ГНСС-измерений / // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2018. – Т. 62, № 6. – С. 616-623. – DOI 10.30533/0536-101X-2018-62-6-616-623. – EDN VOVWYW.
17. *Афраймович Э.Л., Перевалова Н.П.* GPS-мониторинг верхней атмосферы Земли. Иркутск: ГУ НЦ РВХ ВСНЦ РАМН, 2006. 480 с
18. *Скрипачев В.О., Яковлев О.В.* Использование информационных ресурсов глобальных навигационных спутниковых систем для мониторинга ионосферы / // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2013. – № 9. – С. 562-566. – EDN TJTTAX.
19. Состоялся вывод на орбиту Земли космического аппарата RTU MIREA1 с помощью ракеты-носителя Союз-2.1б / Официальный сайт РТУ МИРЭА. 05.11.2024 г. https://www.mirea.ru/news/sostoyalsya-vyvod-na-orbitu-zemli-kosmicheskogo-apparata-rtu-mirea1-c-pomoshchyu-rakety-nositelya-so/
20. *Бахметьева Н.В., Беликович В.В., Каган Л.М., Понятов А.А., Толмачева А.В.* Исследование атмосферы Земли методом резонансного рассеяния радиоволн на искусственных периодических неоднородностях ионосферной плазмы // Вестник Российского фонда фундаментальных исследований. – 2007. – № 3(53). – С. 9-36. – EDN PBVWSH.
21. *Горбунов Р.В., Скрипачев В.О., Литвинов С.В., Тарадаев С.В.* Возможности малых космических аппаратов для проведения радиозатменных измерений ионосферы // Сборник научных статей по материалам VI Международной научно-практической конференции "Радиоинфоком-2022", Москва, 06–10 июня 2022 года. – Москва: МИРЭА - Российский технологический университет, 2022. – С. 80-85. – EDN OXVUXM.
22. *Корляков Д.С., Литвинов С.В., Семенова О.В.* Антенная система современного ионозонда комплексного зондирования // Сборник научных статей по материалам VI Международной научно-практической конференции "Радиоинфоком-2022", Москва, 06–10 июня 2022 года. – Москва: МИРЭА - Российский технологический университет, 2022. – С. 91-95. – EDN NOBSYK.

CONSISTENCY OF RESULTS OF MEASUREMENTS OF IONOSPHERIC PARAMETERS BY DIFFERENT OBSERVATIONAL METHODS

S.V. Litvinov[1], E.A. Chistyakov[2], Yu.A. Polevoda[3]
[1–3] MIREA — Russian technological university (Moscow, Russia)
[1] litvinov_s@mirea.ru, [2] chistyakov@mirea.ru, [3] polevoda@mirea.ru

Abstract

The need to monitor the state of the ionosphere is beyond doubt. Various hardware and software methods are used to study and monitor the ionosphere parameters. Conventionally, they can be divided into ground-based and space-based instrumentation deployment. The result of these methods is various data on the ionosphere. Most studies of this problem verify various models of the ionosphere and/or radio wave propagation using real data.

Investigations of the most common methods of ionosphere research are carried out: vertical, inclined and return-inclined sounding, external sounding of ionosphere from spacecraft, direct and reverse transionospheric sounding, research of ionosphere by GNSS signals (including radio occultation sounding).

The obtained results allow us to conclude that for verification of ionospheric data obtained by different methods, the results of measuring the total electron content and the altitude profile of electron concentration should be used, as well as the need to continue research in this direction.

Keywords

Space weather, ionosphere, vertical sounding, inclination sounding, return inclination sounding, external sounding, transionospheric sounding, GNSS signals, total electron content (TEC), altitude profile of electron concentration

The work was carried out with the financial support of the Foundation for Assistance to Small Innovative Enterprises (FASIE) under the Contract 94C2/МОЛ/73887 dated 03/25/2022

УДК 001.891.573

ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ТОЧНОСТИ ЛОКАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Е.В. Окунев[1], И.К. Наседкин[2], С.Ю. Белов[3], В.П. Сгибнев[4], А.А. Лучин[5]
[1,2,4]АО «ОКБ МЭИ»
[1–3,5]ФГБНУ «Аналитический центр»
[1]kve0r@rambler.ru, [2]ivannase1@gmail.com,[5]luchin-aa@fgbnuac.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Локальные навигационные системы нашли применение для обеспечения посадки летательных аппаратов в отсутствие сигнала локальной навигационной системы. На ранних этапах проектирования таких систем необходимо оценить точность определения траекторных параметров отслеживаемого объекта с учётом первичных требований. Высокие вычислительные требования и сложность описания существующих моделей расчёта приводят к необходимости разработки математической модели, приспособленной для первичной оценки.

Цель. Создать математическую модель оценки точности определения координат объекта при помощи локальной навигационной системы на основе радиолокационных дальномеров с учётом возможного положения объекта относительно измерителей. Проверить работоспособность модели при помощи программных экспериментов.

Результаты. При помощи разработанной модели была проведена серия экспериментов по первичной оценке точности локальной навигационной системы. По результатам экспериментов описаны основные закономерности динамики ошибок измерения. Согласно математической модели при наклонной дальности до объекта 30 км СКО определения дальности не превышают 8 м, СКО определения тангенциальной составляющей наклонной дальности – 65 м, СКО определения высоты – 450 м при величине измерительной базы 5 км и СКО дальности одиночного измерителя 8 м.

Практическая значимость. Предложенная математическая модель позволяет проводить оценку точности локальных навигационных систем на первичном этапе проектирования, опираясь на первичные требования к измерителям дальности и точности их расположения.

Ключевые слова

Локальная навигационная система, оценка точности, определение координат, геометрическая модель.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

В настоящее время основным инструментом для получения информации о местоположении объектов являются спутниковые навигационные системы. Однако в условиях полного или частичного отсутствия сигналов глобальных навигационных систем возникает необходимость перехода к локальным навигационным системам. Несмотря на активное развитие локальных систем навигации применительно к закрытым помещениям, задача навигации остаётся актуальной на открытой местности. При этом в случае размеров обслуживаемой области более 100 метров применение принципов для закрытых помещений становится нецелесообразным [1].

Задача автоматизированной посадки летательного аппарата напрямую связана с отслеживанием местоположения объекта на открытой местности. При этом использование локальных навигационных систем уместно для развёртывания точек посадки в областях с недостаточным спутниковым покрытием. Ввиду высокой дальности работы, надёжности и простоты эксплуатации в таком случае используют навигационные системы на основе радиодальномеров [2].

На ранних этапах проектирования таких систем необходимо оценить точность определения траекторных параметров отслеживаемого объекта с учётом первичных требований к системе. Высокие вычислительные требования и сложность описания существующих моделей расчёта приводят к необходимости разработки математической модели, приспособленной для первичной оценки точностных характеристик локальной навигационной системы.

Целью работы является разработка подхода и математической модели для первичной оценки подобного рода. Для определения характеристик и требований к перспективным локальным навигационным системам (ЛНС) обеспечения посадки летательных аппаратов исследовались точностные характеристики системы, а также их связь с геометрическими размерами системы.

Материалы и методы

Оценку точности определения координат ЛА произведём для 3-х составляющих:

- точность определения наклонной дальности;
- точность определения тангенциальной составляющей;
- точность определения высоты.

На рисунке Рис. **1** представлена общая модель оценки точности определения координат ЛНС на базе радиолокационных измерителей дальности в локальной системе координат.

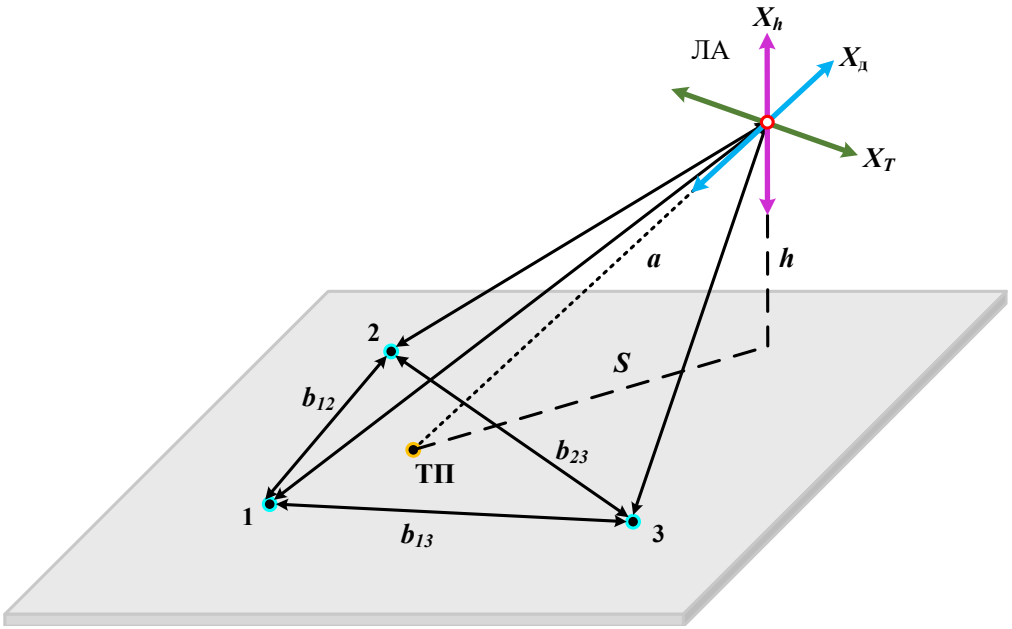


Рис. 1. Общая модель оценки точности определения координат ЛНС на базе радиолокационных измерителей дальности

Fig.1. A general model for estimating the accuracy of coordinate determination in local navigational system based on radar range finders

ЛА – летательный аппарат; ТП – точка посадки; 1, 2, 3 – автономные приёмоответчики; b_{12}, b_{13}, b_{23} – измерительные базы; a – наклонная дальность; h – высота; $X_Д$ – абсолютная ошибка определения дальности; X_T – тангенциальная составляющая ошибки; X_h – абсолютная ошибка определения высоты

Зависимости точности определения наклонной дальности, определения тангенциальной составляющей и высоты от инструментальной ошибки радиолокационных дальномеров проведём с использованием геометрических моделей в плоскости «ЛА-Измерительная база». Здесь и далее оценки точности проводиться на основе однократных измерений без какой-либо обработки.

Точность определения наклонной дальности и тангенциальной составляющей

На рисунке Рис. **2** представлена геометрическая модель для оценки влияния точности измерителей дальности на точности определения наклонной дальности и тангенциальной составляющей ЛА при имеющейся ошибке одного из дальномеров Δ_{l_1}. В данной модели ЛА расположен на прямой, перпендикулярной к линии «эффективной измерительной базы» b.

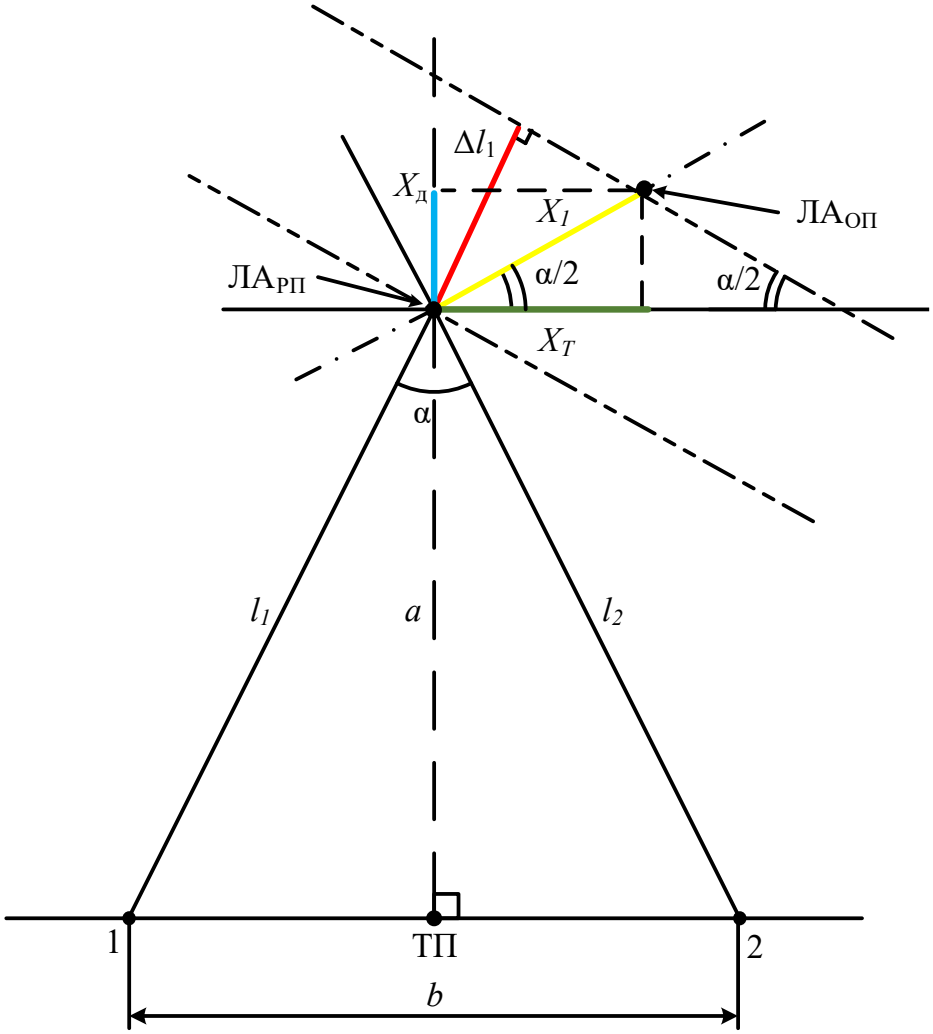


Рис. 2. Геометрическая модель для оценки влияния точности измерителей дальности на точность определения наклонной дальности до ЛА и её тангенциальной составляющей
Fig. 2. Geometric model for estimating the effect of range meter accuracy on the accuracy of determining the slanted range to the aircraft and its tangential component

Эффективная измерительная база определяется как:

$$b = b_{\text{реал}} \cdot sin\,\varphi, \qquad (1)$$

где $b_{\text{реал}}$ – величина измерительной базы;
φ – угол между линией измерительной базы и направлением на ЛА.

Точность определения координат ЛА оценим величиной среднеквадратичной ошибки (СКО). При оценке рассмотрим влияние инструментальных ошибок дальномеров Δ_{l1} и Δ_{l2} от соответствующих приёмоответчиков на ошибки определения дальности $X_Д$ и тангенциальной составляющей X_T, по которым определяются соответствующие им СКО $\sigma_Д$ и σ_T.

Угол α между направлениями от ЛА до соответствующих приёмоответчиков, равен:

$$\alpha = 2 \cdot arctg\left(\frac{b}{2 \cdot a}\right), \qquad (2)$$

где b – эффективная измерительная база;
a – наклонная дальность от центра эффективной измерительной базы до ЛА.

Абсолютная ошибка определения положения X_n, обусловленная ошибкой n -го дальномера определяется как:

$$X_n = \frac{\Delta_{l_n}}{cos\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right)} = \frac{\Delta_{l_n}}{sin(\alpha)}, \quad (3)$$

где n – номер соответствующего дальномера.

Представленная геометрическая модель справедлива при ошибке дальномера $\Delta_{ln} << l_n$, что допустимо, так как значения ошибок дальномеров на порядки меньше измеряемых дистанций. Исходя из геометрии модели, значение абсолютной ошибки определения дальности $X_{Дn}$ при наличии ошибки дальномера Δ_{ln} определяется как:

$$X_{Д_n} = X_n \cdot sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{\Delta_{l_n} \cdot sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{sin(\alpha)}. \quad (4)$$

Значение абсолютной ошибки определения тангенциальной составляющей:

$$X_{Т_n} = X_n \cdot cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{\Delta_{l_n} \cdot cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{sin(\alpha)}. \quad (5)$$

СКО $\sigma_Д$ и $\sigma_Т$ при ошибках дальномеров Δ_{l1} и Δ_{l2} определяются с использованием метода получения косвенных оценок точности [3].

СКО определения дальности $\sigma_Д$ определяется как:

$$\sigma_Д = \sqrt{\left(\frac{\partial X_{Д_1}}{\partial \Delta_{l_1}} \cdot \sigma_{l_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial X_{Д_2}}{\partial \Delta_{l_2}} \cdot \sigma_{l_2}\right)^2}. \quad (6)$$

После взятия частных производных формула **Ошибка! Источник ссылки не найден.** п римет вид:

$$\sigma_Д = \sqrt{\frac{b^2 \cdot \sigma_{l_1}}{4a^2\, sin^2(\alpha) \cdot \left(\frac{b^2}{4a^2} + 1\right)} + \frac{b^2 \cdot \sigma_{l_2}}{4a^2\, sin^2(\alpha) \cdot \left(\frac{b^2}{4a^2} + 1\right)}}. \quad (7)$$

СКО определения тангенциальной составляющей $\sigma_Т$ определяется как:

$$\sigma_Т = \sqrt{\left(\frac{\partial X_{Т_1}}{\partial \Delta_{l_1}} \cdot \sigma_{l_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial X_{Т_2}}{\partial \Delta_{l_2}} \cdot \sigma_{l_2}\right)^2}. \quad (8)$$

После взятия частных производных формула **Ошибка! Источник ссылки не найден.** п римет вид:

$$\sigma_T = \sqrt{\frac{\sigma_{l1}}{\sin^2(\alpha) \cdot \left(\frac{b^2}{4a^2} + 1\right)} + \frac{\sigma_{l2}}{\sin^2(\alpha) \cdot \left(\frac{b^2}{4a^2} + 1\right)}}. \quad (9)$$

Полагаем ошибки дальномеров одинаковыми:

$$\sigma_{l1} = \sigma_{l2} = \sigma_l.$$

С учётом этого выражения для СКО $\sigma_Д$, $\sigma_Т$ примут вид:

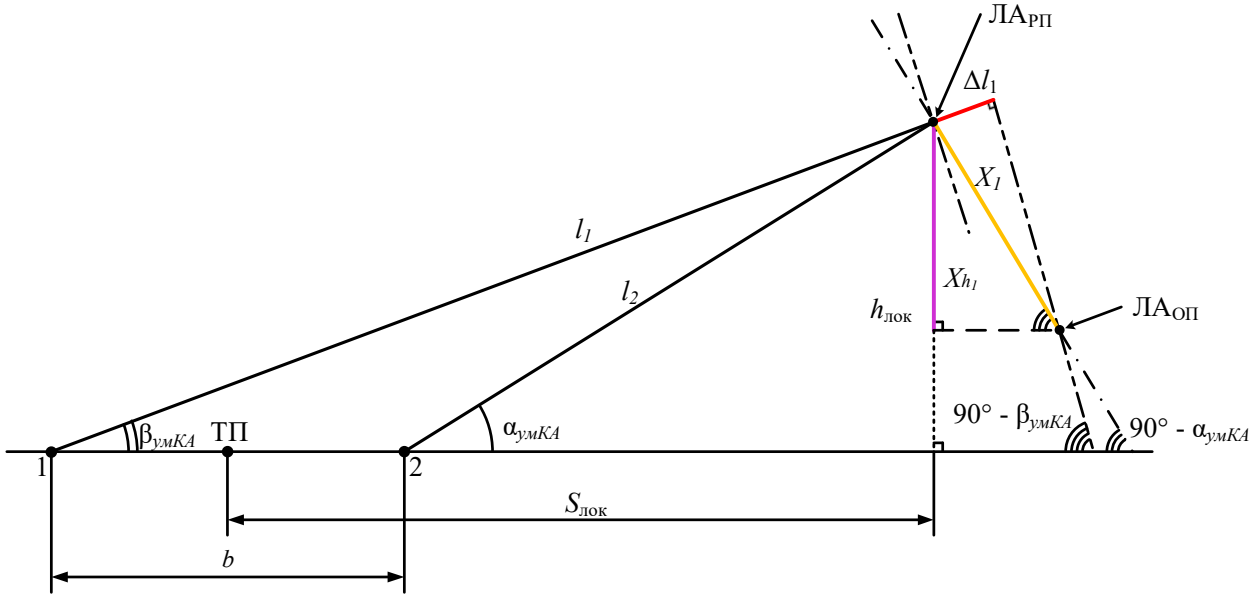
$$\sigma_Д = \sqrt{\frac{2 \cdot b^2 \cdot \sigma_l}{4a^2 \cdot \sin^2(\alpha) \cdot \left(\frac{b^2}{4a^2} + 1\right)}} = \frac{b}{a \cdot \sin(\alpha)} \sqrt{\frac{\sigma_l}{\frac{b^2}{2a^2} + 2}}; \quad (10)$$

$$\sigma_r = \sqrt{\frac{2\sigma_l}{\sin^2(\alpha) \cdot \left(\frac{b^2}{4a^2} + 1\right)}} = \frac{1}{a \cdot \sin(\alpha)} \sqrt{\frac{2\sigma_l}{\frac{b^2}{4a^2} + 1}}; \quad (11)$$

Из зависимостей **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, **Ошибка! Источник ссылки не найден.** видно, что значение СКО зависит от отношения размера эффективной измерительной базы к наклонной дальности.

Точность определения высоты

На рисунке Рис. **3** приведена геометрическая модель оценки влияния точности измерителей дальности, при расположении приёмоответчиков на расстоянии эффективной измерительной базы друг от друга, на точность определения высоты ЛА при имеющейся ошибке одного из дальномеров Δ_{l1}. Представленная геометрическая модель справедлива при ошибке дальномера $\Delta_{ln} << l_n$, что допустимо, так как значения ошибок дальномера на порядки ниже измеряемых дистанций.



Δ_{l1} – ошибка дальномера l_1; $\alpha_{умЛА}$ и $\beta_{умЛА}$ – углы места; определяемые позицией ЛА; X_{h1} – абсолютная ошибка определения высоты; $S_{лок}$ – расстояние от ТП до ЛА по плоскости местного горизонта

Рис. 3. Геометрическая модель оценки влияния точности измерителей дальности на точность определения высоты ЛА

Fig. 3. Geometric model for estimating the effect of range meter accuracy on the accuracy of aircraft altitude determination

Углы места $\alpha_{умЛА}$ и $\beta_{умЛА}$ определяются как:

$$\alpha_{\text{умЛА}} = arctg\left(\frac{h_{\text{лок}}}{S_{\text{лок}} - \frac{b}{2}}\right), \tag{12}$$

$$\beta_{\text{умЛА}} = arctg\left(\frac{h_{\text{лок}}}{S_{\text{лок}} + \frac{b}{2}}\right), \tag{13}$$

где $h_{\text{лок}}$ – высота ЛА над плоскостью местного горизонта.

Абсолютная ошибка определения положения X_n, обусловленная ошибкой n -го дальномера определяется как:

$$X_n = \frac{\Delta_{l_n}}{sin\left(\alpha_{\text{умЛА}} - \beta_{\text{умЛА}}\right)}, \tag{14}$$

где n – номер дальномера.

Используя теорему синусов, имеем:

$$\frac{X_1}{sin(90°)} = \frac{X_{h_1}}{sin\left(90° - \alpha_{\text{умЛА}}\right)}, \quad sin\left(90° - \alpha_{\text{умЛА}}\right) = cos\left(\alpha_{\text{умЛА}}\right). \tag{15}$$

где X_1 – абсолютная ошибка определения положения дальномером на позиции 1; X_{h1} – абсолютная ошибка определения высоты дальномером на позиции 1.

Соответственно, ошибка определения высоты X_{h1} выражается как:

$$X_{h_1} = X_1 \cdot cos\left(\alpha_{\text{умЛА}}\right) = \frac{\Delta_{l_1} \cdot cos\left(\alpha_{\text{умЛА}}\right)}{sin\left(\alpha_{\text{умЛА}} - \beta_{\text{умЛА}}\right)}. \tag{16}$$

Аналогичным образом выражается абсолютная ошибка определения высоты X_{h2}, связанная с ошибкой Δ_{l2}:

$$X_{h_2} = X_2 \cdot cos\left(\beta_{\text{умЛА}}\right) = \frac{\Delta_{l_2} \cdot cos\left(\beta_{\text{умЛА}}\right)}{sin\left(\alpha_{\text{умЛА}} - \beta_{\text{умЛА}}\right)}. \tag{17}$$

СКО определения высоты σ_h при наличии ошибок дальномеров Δ_{l1} и Δ_{l2} описывается выражением:

$$\sigma_h = \sqrt{\left(\frac{\partial X_{h_1}}{\partial \Delta_{l_1}} \cdot \sigma_{l_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial X_{h_2}}{\partial \Delta_{l_2}} \cdot \sigma_{l_2}\right)^2}. \tag{18}$$

Продифференцировав (16) и (17), получим:

$$\frac{\text{д}X_{h_1}}{\text{д}\Delta_{l_1}} = \frac{cos\left(\alpha_{\text{умЛА}}\right)}{sin\left(\alpha_{\text{умЛА}} - \beta_{\text{умЛА}}\right)}; \quad \frac{\text{д}X_{h_2}}{\text{д}\Delta_{l_2}} = \frac{cos\left(\beta_{\text{умЛА}}\right)}{sin\left(\alpha_{\text{умЛА}} - \beta_{\text{умЛА}}\right)}. \tag{19}$$

Полагаем ошибки дальномеров одинаковыми:

$$\sigma_{l1} = \sigma_{l2} = \sigma_l.$$

Подставляя **Ошибка! Источник ссылки не найден.** в **Ошибка! Источник ссылки не йден.**, получается итоговое выражение для СКО определения высоты σ_h:

$$\sigma_h = \frac{\sigma_l}{sin(\alpha_{\text{умЛА}} - \beta_{\text{умЛА}})}\sqrt{cos^2(\alpha_{\text{умЛА}}) + cos^2(\beta_{\text{умЛА}})} = \\ = \frac{\sigma_l}{sin(\alpha_{\text{умЛА}} - \beta_{\text{умЛА}})}\sqrt{\frac{1}{(\alpha_{\text{умЛА}}{}^2 + 1)} + \frac{1}{(\beta_{\text{умЛА}}{}^2 + 1)}}. \quad (20)$$

Влияние величины измерительной базы на точность работы ЛНС

Из полученных выше выражений видно влияние величины измерительной базы на точность работы ЛНС. Необходимо иметь в виду, что в отличие от ошибок дальномеров, являющихся случайной величиной, влияние величины измерительной базы на точность работы ЛНС является не случайной.

Вместе с точностью работы дальномеров величина измерительной базы является одним из параметров определяющим точность работы ЛНС. Влияния величины измерительной базы на точность определения положения ЛА можно определить по результатам расчётов точности работы ЛНС для различных наклонных дальностей до ЛА при фиксированных значениях ошибок дальномеров.

Влияния точности позиционирования средств ЛНС на точность навигационной информации

Для обеспечения корректной работы ЛНС в качестве исходных данных в бортовой вычислитель необходимо ввести координаты точки предполагаемой посадки и приёмоответчиков.

Оценивая влияние точностей позиционирования средств ЛНС на точность навигационной информации следует иметь в виду, что характер вносимых ими погрешностей в навигационную информацию в отличие от погрешностей, обусловленных работой дальномерных каналов, носит неслучайный характер. В общем случае при работе ЛНС эти погрешности добавляются к погрешностям, рассмотренным в разделе выше.

В локальной системе координат погрешности позиционирования определяют два вида дополнительных погрешностей, влияющих на точность измерения координат ЛА это:

– погрешности определения величины измерительной базы:

– погрешности угловой ориентации оси измерительной базы.

Погрешность определения величины измерительной базы приводит к дополнительной ошибке $X_Д$ при определении наклонной дальности a. Оценить величину такой ошибки можно из геометрической модели, изображённой на рисунке Рис. **2.** При оценке вводится ошибка позиционирования приёмоответчиков Δ_b, а ошибка дальномера Δ_l будет отсутствовать. Дополнительная ошибка $X_Д$ при $l_1 = l_2 = l$ определяется выражением:

$$X_Д = a - \sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2 + a^2 + \left(\frac{\Delta_b}{2}\right)^2}. \quad (21)$$

Погрешность угловой ориентации оси измерительной базы приводит к дополнительной азимутальной ошибке. Для оценки величины ошибки с учётом геометрии, представленной на рисунке Рис. **2**, вводится смещение позиции одного из приёмоответчиков на расстояние Δ_b. Такое смещение приводит к повороту оси измерительной базы на угол γ относительно одного из приёмоответчиков. Учитывая, что a поворачивается на тот же угол γ, а также $\Delta_b << b$, справедливо следующее:

$$X_T = a \cdot tg(\gamma), \quad (22)$$

где $tg(\gamma) = \frac{\Delta_b}{b}$.

Соответственно, дополнительная ошибка определения тангенциальной составляющей X_T выражается как:

$$X_T = \frac{\Delta_b \cdot a}{b}. \quad (23)$$

Среднеквадратическая ошибка определения тангенциальной составляющей $_T$:

$$\sigma_T = \frac{\sigma_b \cdot a}{b}. \quad (24)$$

В случае наличия смещений Δb у двух приёмоответчиков СКО $_T$ вычисляется по формуле **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, где $_b$ определяется как:

$$\boldsymbol{\sigma_b = \sqrt{\sigma_{b1}^2 + \sigma_{b1}^2}}. \quad (25)$$

Предложенный подход к определению точности навигационной системы позволяет произвести оценку точности для ЛНС при помощи выражений для среднеквадратических ошибок определения координат.

Обсуждение полученных результатов

В рамках работы была проведена серия экспериментов по оценке точности определения координат ЛА. В ходе экспериментов определялись зависимости ошибок определения наклонной дальности и тангенциальной составляющей от наклонной дальности до объекта от центра измерительной базы, а также ошибки определения высоты от расстояния по поверхности до объекта. В качестве параметров эксперимента были выбраны величина измерительной базы и величина СКО дальности для используемых дальномеров. Результаты экспериментов представлены на рисунках 4–7.

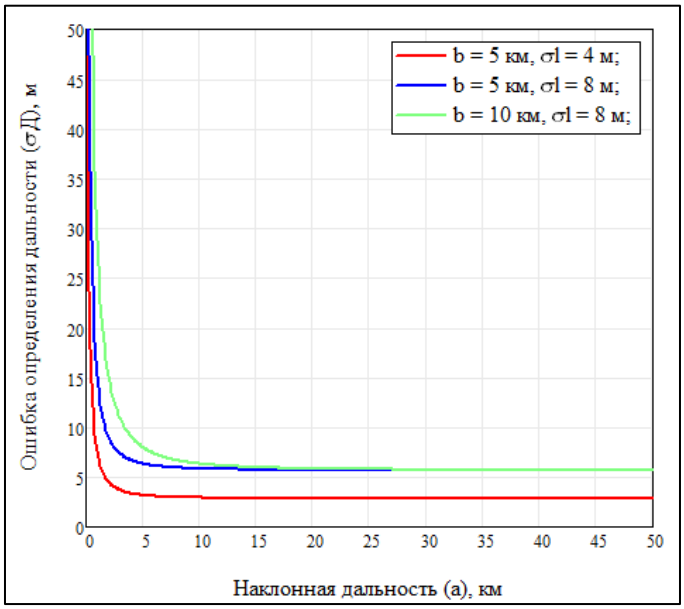


Рис. 4. Зависимости ошибки определения дальности от величины наклонной дальности до объекта
Fig. 4. Dependence of range determination error on the value of the slant range to the object

По графику полученных зависимостей можно говорить о типовой закономерности для полученных значений. В случае, если наклонная дальность не превышает размеров измерительной базы, зависимость ошибки определения координаты нелинейная и зависит от

размера эффективной базы. В случае, когда объект находится на расстоянии, большем величины измерительной базы, ошибка определения координаты характеризуется примерно постоянным значением, не превышающим погрешность одиночного измерителя.

Ошибка измерения тангенциальной составляющей изменяется практически линейно в зависимости от величины измерительной базы (рисунок 5). Несмотря на неограниченный рост, полученные результаты свидетельствуют об адекватных значениях ошибки, пригодных для дальнейшей обработки измерений. При больших наклонных дальностях ошибки измерения тангенциальной составляющей совпадают для случаев измерения с величинами базы и ошибки дальномеров 5 км, 4 м и 10 км, 8м соответственно, что можно использовать в дальнейшем при получения выражения для нестрогой оценки.

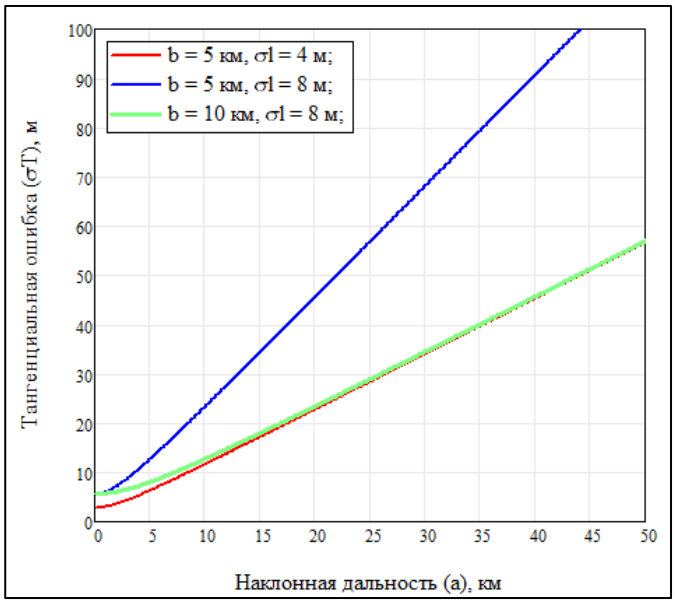


Рис. 5. Зависимости ошибки определения тангенциальной составляющей от величины наклонной дальности

Fig. 5. Dependence of the error in determining the tangential component on the value of the slant range

Оценка высоты отслеживаемого объекта является наиболее важной характеристикой при обеспечении посадки. В связи с этим оценка проводилась для двух вариантов движения объекта: траектория 1 соответствует движению на постоянной высоте (рисунок 6), траектория 2 – движению с заходом на посадку (рисунок 7).

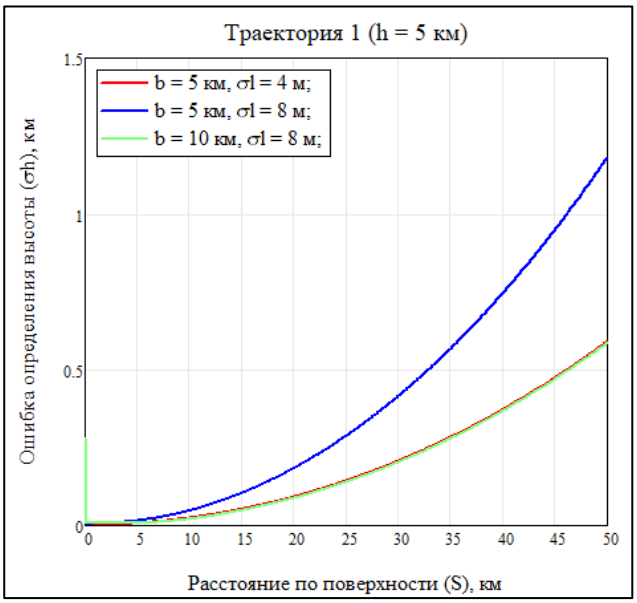


Рис. 6. Зависимости ошибки определения высота от величины от величины расстояния по поверхности до объекта при движении на постоянной высоте
Fig. 6. Dependence of the altitude determination error on the surface distance to the object moving at a constant altitude

Отметим, что точность определения высоты на порядок превышает точность определения наклонной дальности. Такое ограничение точности связано с особенностями работы дальномеров, обладающих разрешающей способностью только вдоль линии измерения. Геометрическая интерпретация с использованием нормалей к линии измерения может быть получена на основании рисунков 2 и 3.

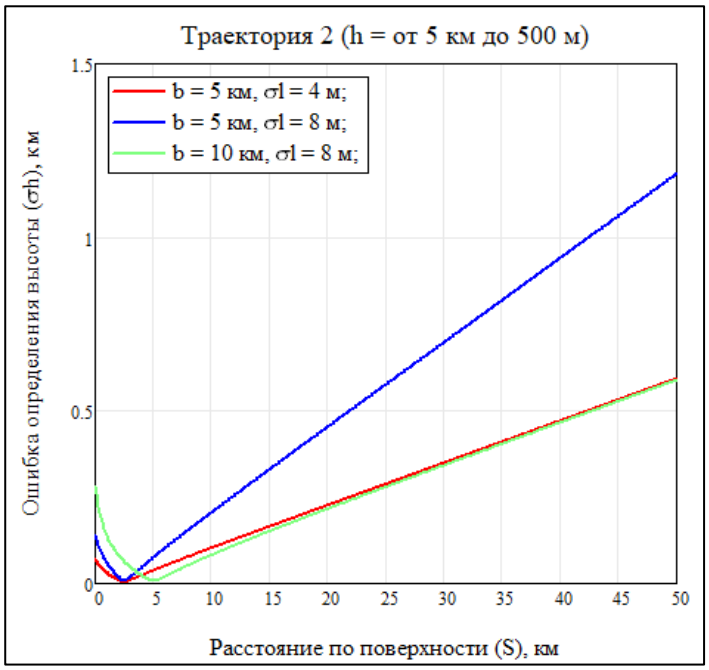


Рис. 7. Зависимости ошибки определения высота от величины расстояния по поверхности до объекта при заходе на посадку
Fig. 7. Dependence of altitude determination error on the surface distance to the object during landing

Заметно, что зависимости на рисунке 7 имеют перегиб в точках, соответствующих положению объекта над одним из измерителей. В таком случае достигается минимальная ошибка измерения, поскольку ошибка определения положения не имеет других составляющих кроме ошибки по высоте.

Для полученных результатов была проведена сравнительная оценка. При этом использовались данные о точности определения координат в локальных навигационных системах на основе сигналов широковещательных сетей [1], а также данные о примерной точности современных систем ближней навигации [4, 5]. Согласованность полученных результатов с данными из открытых источников, а также данными ранее опубликованных моделей доказывает работоспособность и возможность применения для первичной оценки

Заключение

Предложена двумерная математическая модель оценки точности локальной навигационной системы, обеспечивающей посадку летательных аппаратов. В ходе разработки модели получены выражения для оценки среднеквадратической ошибки определения дальности до объекта от линии расположения измерителей, а также тангенциальной составляющей ошибки определения положения.

При помощи описанной модели проведена серия экспериментов по оценке точности определения местоположения объекта для различной геометрии задачи. В ходе экспериментов выявлены основные зависимости, описывающие динамику СКО определения координат.

Сравнение полученных результатов с результатами из открытых источников подтверждает адекватность модели, что позволяет применять её при проектировании перспективных локальных навигационных систем на основе радиодальномеров.

Список использованных источников

1. *Ксендзук А. В.* Результаты экспериментальных исследований системы локальной навигации по широковещательным источникам / А. В. Ксендзук, Е. А. Сурмин, В. В. Качесов, С. О. Жданов, К. С. Шахалов // Вопросы радиоэлектроники. 2020. № 5. С. 69-76.
2. *В. И. Бабуров, Т. Б. Гальперин, А. А. Рогова, О. И. Саута* Тенденции способов комплексирования в системах навигации и посадки // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2016. – Т. 19, № 5. – С. 34-44. – EDN XDZRVZ.
3. *Тарасенко К. А.* Научно-методический подход к обоснованию требований к техническим характеристикам перспективных средств траекторных измерений / К. А. Тарасенко // Вооружение и экономика. – 2022. – № 3(61). – С. 240-258. – EDN DXEATQ.
4. *Уфаев, В. А.* Оценка потенциальных точностей многопозиционных авиационных систем ближней навигации / В. А. Уфаев, П. Е. Кулешов // Труды МАИ. – 2024. – № 137. – EDN CGEPXY.
5. *П. М. Коваленко, А. М. Дытынчук, Д. О. Орлюк, А. Л. Поляков* Анализ путей повышение точности дальномерного канала радиотехнической системы ближней навигации // Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций. – 2024. – № 7. – С. 41. – EDN NZPTAX.

AN APPROACH TO ASSESSING THE ACCURACY OF A LOCAL NAVIGATION SYSTEM

E.V. Okunev[1], I.K. Nasedkin[2] , S. Iu. Belov[3], V.P. Sgibnev[4], A.A. Luchin[5]
[1,2,4]JSC «OKB MEI»
[1-3,5]Expert and Analytical Center (Analytical Center)
[1]kve0r@rambler.ru, [2]ivannase1@gmail.com,[5]luchin-aa@fgbnuac.ru

Abstract

Local navigation systems are used to ensure the landing of aircraft in the absence of a local navigation system signal. In the early stages of designing such systems, it is necessary to assess the accuracy of determining the trajectory parameters of the tracked object, taking into account the initial requirements. The insufficient development of existing calculation models necessitates the development of a mathematical model adapted for primary assessment.

To create a mathematical model for assessing the accuracy of determining the coordinates of an object using a local navigation system based on radar rangefinders, taking into account the possible position of the object relative to the measuring devices. To verify the model's performance using software experiments.

Using the developed model, a series of experiments was conducted to preliminarily assess the accuracy of the local navigation system. Based on the results of the experiments, the main patterns of measurement error dynamics are described. According to the mathematical model, at a slant range to the object of 30 km, the standard deviation of range determination does not exceed 8 m, the standard deviation of tangential component determination of the slant range does not exceed 65 m, the standard deviation of height determination does not exceed 450 m with a measurement base of 5 km and a standard deviation of range of a single measuring device of 8 m.

The proposed mathematical model allows the accuracy of local navigation systems to be assessed at the initial design stage, based on the initial requirements for range finders and the accuracy of their location.

Keywords

Local navigation system, accuracy estimation, coordinate determination, geometric model.

УДК 621.396.967

ПРОБЛЕМА МНОГОЛУЧЕВОСТИ В РАДИОЛОКАЦИИ, АНАЛИЗ И ПУТИ РЕШЕНИЯ

И.М. Малето[1], **М.И. Малето**[2]
[1–2] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] s.227@bk.ru, [2] mimaleto@mail.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Современные радиолокационные системы, включая космические и воздушные платформы, сталкиваются с существенной проблемой — многолучевостью. Это явление возникает из-за переотражений сигналов от земной поверхности, зданий и других объектов, что приводит к искажению данных, появлению ложных целей и снижению точности измерений. Многолучевость особенно критична в системах дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), где требуется высокая детализация и достоверность информации. Несмотря на все преимущества радиолокации (работа в любых погодных условиях, независимость от освещённости), многолучевые помехи ограничивают её применение в таких областях, как:

- Мониторинг сельскохозяйственных угодий,
- Картографирование городской застройки,
- Обнаружение изменений в экосистемах.

Цель. Цель данной работы — систематизировать методы борьбы с многолучевостью в радиолокационных системах, включая:

1. Анализ существующих решений (аппаратных и алгоритмических).
2. Моделирование многолучевых искажений и их влияния на точность измерений.
3. Сравнение эффективности методов подавления помех (адаптивные фильтры,MIMO, широкополосные сигналы).

Методы исследования. В процессе работы будет проводится анализ существующих научных публикаций, технической документации и практических отчетов по данной проблематике, а также используется метод компьютерного моделирования для создания симуляции работы фильтра с целью восстановления формы исходного сигнала с использованием метода наименьших квадратов. Будут рассмотрены примеры успешного применения радиолокационных технологий в различных сферах, что подтвердит их значимость и эффективность.

Заключение. Ожидается, что результаты данного исследования помогут осветить разные стороны проблемы и обеспечить более глубокое понимании радиолокационных технологий и их приложений, а также послужат основой для дальнейших разработок в этой области.

Практическая значимость. Полученные результаты исследования могут быть использованы для оценки эффективности и разработки новых методов обследования и оценки состояния территории, что особенно актуально для оперативного реагирования на стихийные бедствия и изменения в экосистемах. Кроме того, внедрение усовершенствованных алгоритмов обработки данных, полученных от РЛС, способствует повышению уровня детализации и точности получаемых карт и моделей местности, что является важным аспектом для научных исследований и практического применения в области геоинформационных технологий. В результате проведенного моделирования работы фильтра LMS (Least Mean Squares) получены графики, позволяющие дать оценку эффективности фильтрации сигналов, а также проанализировать его способность к адаптации и снижению шумов в данных, полученных от РЛС.

Ключевые слова

Радиолокационные станции, помеха многолучевости, согласованная фильтрация, адаптивная фильтрация, аппаратные и алгоритмические методы борьбы.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Анализ и компенсация многолучевых эффектов представляют собой одну из ключевых задач современной радиолокации. В условиях реальной эксплуатации радиолокационных систем неизбежно возникает проблема искажения полезного сигнала за счет переотражений от земной поверхности, инженерных сооружений и других объектов. Задача подавления многолучевых помех приобретает особую актуальность при создании высокоточных радиолокационных комплексов для авиации, морской навигации и систем противоракетной обороны.

Проблема устранения многолучевых искажений существенно осложняется изменчивостью характеристик канала распространения, зависимостью параметров отраженных сигналов от рельефа местности, состояния поверхности и атмосферных условий. Традиционные методы обработки радиолокационных сигналов зачастую оказываются недостаточно эффективными в условиях интенсивной многолучевости, что требует разработки и применения адаптивных алгоритмов, способных динамически подстраиваться к изменяющимся параметрам помехи.[1]

Особую сложность представляет обработка сигналов в реальном времени, где критически важны как качество подавления помех, так и вычислительная эффективность алгоритмов. В этом контексте особый интерес представляют методы адаптивной фильтрации, позволяющие минимизировать влияние многолучевости при сохранении информативности полезного сигнала.

Физические основы многолучевости

Многолучевость — это явление, при котором радиолокационный сигнал достигает приёмника по нескольким траекториям из-за переотражений от земной поверхности, объектов инфраструктуры и атмосферных слоёв.

Физически это обусловлено:

- Законом отражения (угол падения = углу отражения) для гладких поверхностей.
- Дифракцией на неровностях рельефа.
- Рефракцией в неоднородной атмосфере.

Ключевые параметры, влияющие на многолучевость:

- Чем короче длина волны, тем сильнее влияние неровностей поверхности.
- Вертикально поляризованные волны лучше отражаются от земли [1].
- Угол места антенны: Низкие углы усиливают многолучевые эффекты [2].

А также ошибки многолучевости являются частным случаем углового шума от двух источников, возникающего в результате особенности геометрии [3,4]

Последствия ошибки многолучевости

При возникновении многолучевости проявляются нежелательные эффекты при приеме сигналов, а именно:

1. Появление ложных целей

Оператор может видеть иные "цели" на устройстве отображения, которые не соответствуют действительности. Эти ложные цели могут возникать из-за отражений и дифракции сигналов о эффектах которых говорилось выше и создавая необъективную картину наличия дополнительных объектов в зоне обнаружения. Однако ложными целями могут и комплектоваться летательные аппараты противника для прорыва ПВО, для имитации ЭПР типовых самолетов и маневров [5]. Поэтому крайне важно иметь возможность определять искусственно внесенные помехи на фоне существующего сигнала.

2. Неправильное определение расстояния

Случайные ошибки измерения, например в радиолокационных системах возникают когда зондирующий сигнал отражается не только от желаемого объекта наблюдения, но и от окружающего рельефа местности. Вследствие чего на вход приемного устройства приходит множество сигналов, в том числе и синфазные с определенной амплитудой. В силу эффекта интерференции, когерентные сигналы отраженные от рельефа местности складываются и на входе приемного устройства радиолокационной станции детектируется (определяется) помеховый сигнал с большей амплитудой нежели отраженный (полезный) сигнал излученный РЛС.

На полученном в среде моделирования Octave рисунке 1 продемонстрированно влияние многолучевости на детектируемый сигнал. Из него видно, что в следствии ошибки принимаемый сигнал усилился по амплитуде и при обработке детектором пороговый уровень

напряжения (с 1 по 4 пики) будет достигнут быстрее, нежели должен был бы. Разница между сигналами — это случайная ошибка измерения времени задержки, вызванная влиянием многолучевости и порождаемой ей шумов.[6]

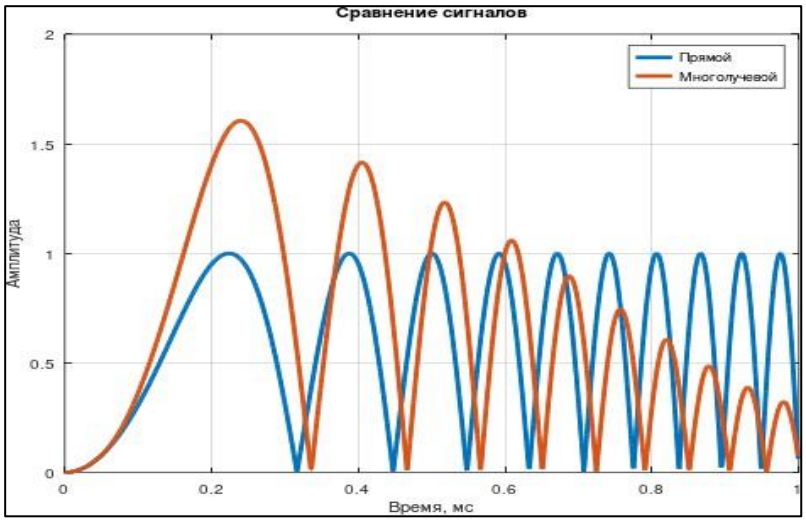


Рис 1. Искажение фронта импульса
Fig 1. Distortion of the pulse front

Часть кода в среде моделирования Octave для полученного изображения приведен ниже:

```
fs = 1e6;                  % Частота дискретизации (1 МГц)
T = 1e-3;                  % Длительность сигнала (1 мс)
t = 0:1/fs:T-1/fs;         % Временная шкала
f0 = 0;                    %  Начальная  частота
f1 = 10e3;                 % Конечная частота
signal = sin(2*pi*(f0 + (f1-f0)/(2*T)*t).*t); % Аппроксимация ЛЧМ
delay_samples = round(50e-6 * fs);
multipath_signal = signal + 0.7*[zeros(1,delay_samples), signal(1:end-delay_samples)];
signal_envelope = abs(signal);
multipath_envelope = abs(multipath_signal);
figure(1);
clf;
plot(t*1000, signal_envelope, 'linewidth', 2); hold on;
plot(t*1000, multipath_envelope, 'linewidth', 2); hold off;
grid on;
xlabel('Время,      мс');
ylabel('Амплитуда');
title('Сравнение сигналов');
legend('Прямой', 'Многолучевой', 'location', 'northeast');
```

3. Изменение скорости и направления

Ошибки порожденные многолучевостью способствуют неправильной оценке скорости и направления движения летательного аппарата, как показано выше на рисунке 1. Когда разные сигналы приходят на радиолокационную станцию с разными временными задержками, это создает путаницу в расчетах скорости при отсутствии адаптационных алгоритмов.

4. Размытость сигнала

На экране РЛС может наблюдаться размытость (раздвоение) сигнала, что затрудняет идентификацию и отслеживание реальных объектов, а также многолучевость повышает зашумленность, что в свою очередь также влияет на точность отображения.

Пути решения

Анализируя информацию публикуемых статей, докладов конференций, а также и специальную литературу можно выделить несколько, наиболее очевидных путей решения проблемы:

Использование узконаправленных антенн. Так как многолучевость порождается путем приема множества отраженных сигналов, то использование антенн с узкой диаграммой направленности помогает уменьшить количество данных принимаемых переизлучений.

Примером таких антенн может служить активная фазированная антенная решетка, чья узкая диаграмма направленности по вертикали обеспечивает высокий коэффициент усиления. Узкую диаграмму направленности получают за счёт антенной решётки, которая включает нескольких коллинеарно расположенных излучателей. Используют общую схему питания с параллельным или последовательным подключением [7,8]

1. Частотные и временные методы.

В качестве примера можно привести:

Линейно частотно модулированный (ЛЧМ) сигнал который используют для борьбы с проблемой многолучевости, так как его широкая полоса частот позволяет эффективно различать сигналы, приходящие с разных направлений и различными задержками. Это достигается потому, что ЛЧМ сигнал имеет более высокую временную разрешающую способность, что позволяет точно идентифицировать и отделять отраженные сигналы от прямого пути. Кроме того, широкий спектр частот делает сигнал менее восприимчивым к интерференции от узкополосных помех, обеспечивая тем самым более стабильное и надежное обнаружение объектов.

Метод FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) суть которого заключается в псевдослучайном изменении рабочей частоты, что позволяет значительно расширить спектр сигнала. В контексте радиолокации этот подход снижает вероятность ошибок, связанных с многолучевостью, благодаря тому, что периодическое скачкообразное изменение несущей частоты затрудняет интерференцию между сигналами, отраженными от различных объектов. Алгоритм изменения частоты, известный заранее как передатчику, так и приемнику, обеспечивает более надежное различение сигналов, что позволяет системе эффективно отделять прямые и отраженные сигналы, минимизируя влияние многолучевости на точность измерений.

Использование OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing), технологии основанной на разделении потока входных данных на множество параллельных потоков, каждый из которых передается на своей несущей (ортогональной) частоте. Это обеспечивает высокие скорость и помехоустойчивость передачи информации, в частности, по отношению к провалам в спектре передаваемых сигналов, так как узкополосное затухание может исключить только одну или несколько несущих частот из их большого числа (сотни-тысячи). Поскольку модуляция OFDM использует для передачи ортогональные несущие колебания, то возможна демодуляция модулированных сигналов даже в условиях частичного перекрытия полос отдельных несущих.[9]

- А также технологии MIMO (Multiple Input Multiple Output) — которая подразумивает использование множества антенн как на передающей, так и на приемной части комплекса с целью повышения эффективности взаимодействия.

2. Алгоритмическая обработка сигналов

Кроме конструктивных методов борьбы с эффектом многолучевости существуют алгоритмические методы обработки сигналов, позволяющие эффективно бороться с негативным влиянием на полезный сигнал в частности так называемые адаптивные фильтры.

Адаптивные фильтры — это алгоритмы, которые изменяют свои параметры в процессе работы на основе входных данных, чтобы минимизировать ошибку между желаемым и фактическим выходом.

В качестве примера можно рассмотреть фильтры LMS (Least Mean Squares — наименьшие средние квадраты) и RLS (Recursive Least Squares) — рекурсивный метод адаптивной фильтрации.

Адаптивные фильтры с алгоритмом наименьших квадратов (LMS) применяются для идентификации систем, эхокомпенсации в телефонных сетях, выравнивания характеристик электрических каналов связи, адаптивного формирования диаграмм направленности в антенных решетках, подавления шумов, отслеживания объектов и др. Алгоритм LMS надежен, сравнительно прост в технической реализации и имеет большой количество модификаций, учитывающих специфику решаемых задач [10-12].

Полученный результат моделирования работы фильтра LMS в среде Octave представлен на рисунке 2.

Из графиков виден изначальный полезный сигнал, который в процессе распространения и приема зашумляется и в данном виде попадает на вход адаптивного фильтра LMS, в котором происходит обработка на основе метода наименьших квадратов и результат его обработки. Также представлена ошибка фильтрации, которая представляет собой разницу между желаемым выходом (или целевым сигналом) и фактическим выходом фильтра.

В данном примере:

- Желаемый выход: это полезный сигнал, который мы хотим восстановить (в данном случае — синусоидальный сигнал).
- Фактический выход: это результат работы адаптивного фильтра, который обрабатывает принятый сигнал (полезный сигнал плюс шум).

Таким образом, ошибка фильтрации определяется как: Ошибка = Желаемый выход - Фактический выход.

Часть кода в среде моделирования Octave для полученного изображения приведен ниже:

```
% Генерация полезного сигнала и шума
signal = sin(2 * pi * f_signal * t);          % Полезный сигнал (синус)
noise = 0.5 * randn(size(t));                 % Шум (гауссовский)
received_signal = signal + noise;             % Принятый сигнал

% Инициализация переменных для LMS
W = zeros(N, 1);                              % Веса фильтра
output = zeros(size(received_signal));        % Выходной сигнал
error = zeros(size(received_signal));         % Ошибка
```

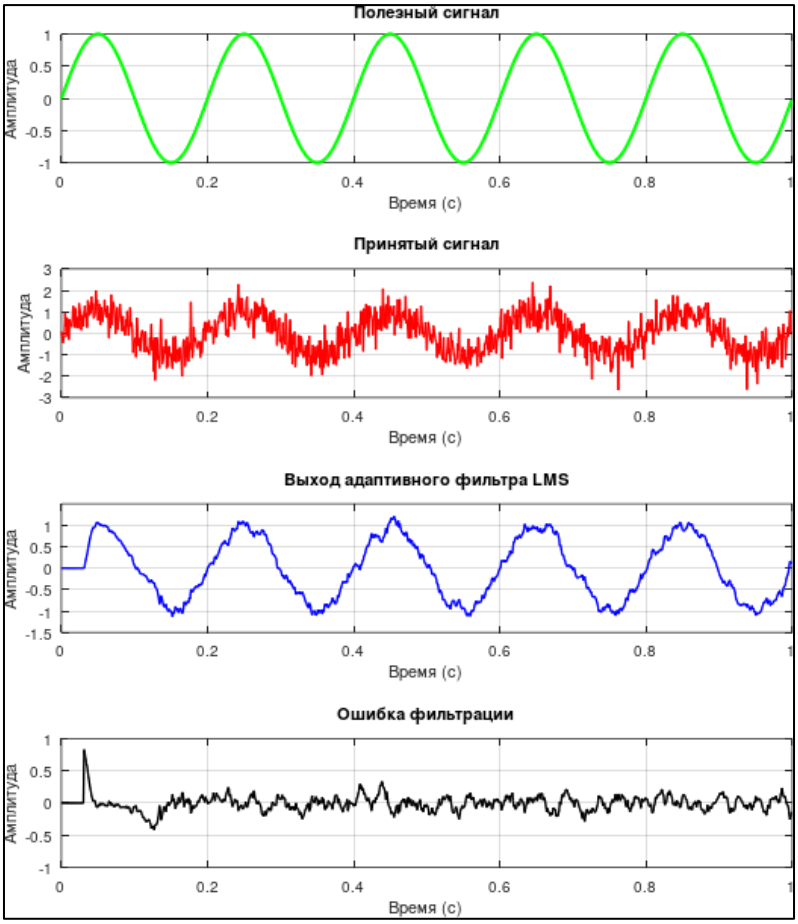


Рис 2. Результат работы LMS фильтра во временной области
Fig 2. The result of the filter operation LMS in the time domain

Алгоритмы наименьшее количество средних квадратичных (LMS) представляют самое простое и наиболее легко применяемые адаптивные алгоритмы. Алгоритмы рекурсивных наименьших квадратов (RLS), с другой стороны, известны своей превосходной эффективностью и большей точностью, но данный тип алгоритма обработки дороже и сложение в реализации, они протекают с увеличенной сложностью и вычислительной стоимостью. По сравнению с LMS-алгоритмом подход RLS предлагает более быструю сходимость и меньшую ошибку относительно неизвестной системы за счет требования большего количества расчетов.

Фильтры LMS используют основанный на градиенте подход, чтобы выполнить адаптацию. Начальные веса приняты, чтобы быть малыми, в большинстве случаев очень близко к нулю. На каждом шаге веса фильтра обновляются на основе градиента среднеквадратичной погрешности. Если градиент положителен, веса фильтра уменьшаются, так, чтобы ошибка не увеличивалась положительно. Если градиент отрицателен, веса фильтра увеличены. Размер шага, с которым изменение весов должно быть выбрано соответственно. Если размер шага очень мал, алгоритм сходится очень медленно. Если размер шага является очень большим, алгоритм сходится очень быстро, и система не может быть устойчивой в минимальном ошибочном значении.

Адаптивный фильтр RLS является алгоритмом, который рекурсивно находит коэффициенты фильтра, которые минимизируют взвешенную функцию стоимости линейного метода наименьших квадратов, относящуюся к входным сигналам.

Сравнение характеристик алгоритмов фильтрации LMS и RLS приведено далее в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение характеристик алгоритмов фильтрации LMS и RLS

LMS-Алгоритм	**RLS-Алгоритм**
Простой и может быть легко применен.	Увеличенная сложность и вычислительная стоимость.
Занимает больше времени, чтобы сходиться.	Более быстрая сходимость.
Адаптация основана на основанном на градиенте подходе, который обновляет веса фильтра, чтобы сходиться к оптимальным весам фильтра.	Адаптация основана на рекурсивном подходе, который находит коэффициенты фильтра, которые минимизируют взвешенную функцию стоимости линейного метода наименьших квадратов, относящуюся к входным сигналам.
Большая установившаяся ошибка относительно неизвестной системы.	Меньшая установившаяся ошибка относительно неизвестной системы
Не составляет прошлые данные.	Счета на прошлые данные с начала к текущей точке данных
Цель состоит в том, чтобы минимизировать текущую среднеквадратичную погрешность между желаемым сигналом и выходом.	Цель состоит в том, чтобы минимизировать общую взвешенную квадратичную невязку между желаемым сигналом и выходом.

Из данной таблица сравнительных характеристик наглядно показано преимущества и недостатки алгоритмов LMS и RLS, которые были приведены и рассмотрены ранее по тексту.

Выводы

В ходе данной работы была рассмотрена проблема многолучевости, проведен анализ вероятных ошибок при воздействии данной помехи и рассмотрены шаги к решению.

В частности были разобраны методы борьбы в виде использования узконаправленных антенн, частотные и временные методы, которые включают в себя использование более устойчивых к помехам сигналов, таких как ЛЧМ. Применение различных технологий, таких как разделение потока входных данных на множество параллельных потоков и псевдослучайном изменении рабочей частоты.

А также рассмотрен метод оптимальной фильтрации, написан код в среде моделирования Octave, который демонстрирует работу алгоритма фильтрации наименьшего количество средних квадратичных, описан принцип работы и произведено сравнение с другим популярным методом основанным на рекурсивных наименьших квадратах.

Список используемых источников

1. *Skolnik M.* Radar Handbook. 3rd ed. McGraw-Hill, 2008. 1352 с.
2. *Гуляев А.Ф.* Цифровая обработка радиолокационных сигналов. М.: Радиотехника, 2018. 432 с.
3. *Сколник М. И.* Справочник по радиолокации. Книга 1. М.: Техносфера, 2014.
4. *Barton D. K.* Radar System Analysis and Modeling, Artech House, 2005.
5. Небабин В.Г. Сергеев В.В. Методы и техника радиолокационного распознавания М.Радио и свзязь, 1984. С 96-99.
6. *Merrill I. Skolnik:* ’’Introduction to Radar Systems’’ McGraw-Hill Europe, 2001, ISBN 007-118189-x, S. 317, Topic 6.3 Theoretical Accuracy of Radar Measurements
7. *Воскресенский Д.И., Канащенков А.И.* Активные фазированные антенные решетки. Москва, Радиотехника. 2004.
8. *Семенов Д.А.* Применение приёмно-передающей активной фазированной антенной решётки в радиолокационном комплексе зондирования лунного грунта. Журнал радиоэлектроники. 2021. №5
9. *Голиков, А. М.* Исследование систем мобильной связи с технологией OFDM - MIMO: Учебно-методическое пособие по лабораторной работе [Электронный ресурс] / А. М. Голиков. — Томск: ТУСУР, 2019. — 27 с.
10. *Ундроу Б., Стириз С.* Адаптивная обработка сигналов : пер. с англ. М. : Радио и связь, 1989. 440 с

11. Farhang-Boroujeny B. Adaptive Filters: Theory and Applications. New York : John Wiley & Sons, 2013. 802 p.
12. Для цитирования: Ушснина И.В. Использование синтеза высокого уровня для реализации на ПЛИС адаптивных [МЗ-фильтров, работающих в формате с плавающей запятой // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2022. № 59. С. 108-116.

THE PROBLEM OF MULTIPATH IN RADAR, ANALYSIS AND SOLUTIONS

I.M. Maleto[1], **M.I. Maleto**[2]
[1–2]MIREA - Russian Technological University (Moscow, Russia)
[1]s.227@bk.ru , [2]mimaleto@mail.ru

Annotation

Statement of the problem. Modern radar systems, including space and air platforms, face a significant problem - multipath. This phenomenon occurs due to multiple reflections of signals from the earth's surface, buildings and other objects, which leads to data distortion, the appearance of false targets and a decrease in measurement accuracy. Multipath is especially critical in Earth remote sensing (ERS) systems, where high detail and reliability of information are required. Despite all the advantages of radar (operation in any weather conditions, independence from illumination), multipath interference limits its use in such areas as:

- Monitoring of agricultural lands,
- Urban development mapping,
- Detecting changes in ecosystems.

Target. The purpose of this work issystematize methods for combating multipath in radar systems, including:

1. Analysis of existing solutions (hardware and algorithmic).
2. Modeling of multipath distortions and their impact on measurement accuracy. Comparison of the effectiveness of interference suppression methods (adaptive filters, MIMO, wideband signals).

Research methods. The work will use the method of analyzing existing scientific publications, technical documentation and practical reports, as well as the method of computer modeling to create simulations of the operation of radar systems. Examples of the successful application of radar technologies in various fields will be considered, which will confirm their importance and effectiveness.

Conclusion. The results of this study are expected to contribute to a deeper understanding of radar technologies and their applications and serve as a basis for further developments in this area.

Practical significance. The obtained research results can be used to develop new methods of surveying and assessing the state of the territory, which is especially important for rapid response to natural disasters and changes in ecosystems. In addition, the introduction of improved algorithms for processing data obtained from radars helps to increase the level of detail and accuracy of the resulting maps and terrain models, which is an important aspect for scientific research and practical application in the field of geoinformation technologies.

Keywords

Radar stations, multipath interference, matched filtering, adaptive filtering, hardware and algorithmic methods of combating.

УДК 519.711.3

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ СОЗДАНИИ ОБРАЗЦОВ РЭБ ВКС НА БАЗЕ МЕТОДА ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ ВЫБОРА АЛЬТЕРНАТИВ

А.В. Мараховский[1]
[1]АО «Центральный научно-исследовательский радиотехнический институт им. академика А.И. Берга»
zgdov@cnirti.ru

Аннотация

Совершенствование системы поддержки принятия решений при разработке техники радиоэлектронной борьбы обеспечит лицу принимающему решения в значительной степени снизить затраты и повысить экономическую эффективность производства. Многочисленные исследования показывают, что без дополнительной аналитической поддержки решения принимаются упрощенные, а иногда и просто противоречивые.

Государственные инвестиции в промышленное производство выделяемые начиная с 2022 года требуют от предприятий промышленности и военно-промышленного комплекса скрупулезного планирования проектов по реконструкции средств производства, расширению штата работников, поисков альтернативных поставщиков, необходимых для работы материалов. Санкции значительно усложнили планирование выполнения задач, нередко закупленные у одного поставщика материалы через короткое время становились недоступны для повторного заказа. Для изготовления опытных образцов изделий, составных частей (СЧ) и военной техники (ВТ), а также серийного производства руководителям предприятий и проектов требуется принимать наиболее оптимальные управленческие решения. Без использования современных инструментов, помогающих лицу, принимающему решения (ЛПР) такие задачи сложно решить, в статье описаны инструменты, которые помогут выполнить эту задачу наиболее эффективно.

Ключевые слова

Поддержка ЛПР, управленческие решения, сценарий выбора управления, диаграмма Ганта, иерархическая структура работы, управление временем.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Исходя из перспектив развития средств РЭБ вероятного противника, задача создания эффективных средств РЭБ и РЭП в современных условиях является особенно актуальной, что обуславливает целесообразность совершенствования методов принятия решений на этапе проектирования и производства.

Качество управления процессом проектирования в конечном счете определяется принимаемыми плановыми, организационными и оперативными решениями. Именно решения являются «продуктом» труда руководителя. Этот «продукт» весьма специфичен. Во-первых, решения и их последствия затрагивают многих людей и могут сохранять силу воздействия часто на весьма продолжительные промежутки времени. Во-вторых, принятие решений является личной функцией руководителя, который обязан выполнять ее в процессе управленческого труда и нести ответственность за последствия (исход) решений. В-третьих, само содержание процесса управления таково, что принятие решений занимает в нем центральное место.

Методы исследования

Успех решения зависит от тех методов, которыми владеет лицо, принимающее решение.

С ростом сложности технических задач, возникающих при выборе и реализации проектов по созданию средств РЭБ и РЭП повышается уровень требований к управленческим решениям (комплексность, соответствие современному техническому уровню, научная обоснованность, многоаспектность) [1].

Совершенствование системы поддержки принятия решений при разработке техники РЭБ обеспечит ЛПР в значительной степени снизить затраты и повысить экономическую эффективность производства.

Многочисленные исследования показывают, что без дополнительной аналитической поддержки решения принимаются упрощенные, а иногда и просто противоречивые [2,3].

Проблема выбора альтернатив в системе поддержки принятия решений при создании образцов РЭБ ВКС является особенно актуальной.

Предлагаемая ниже модель выбора альтернатив в системе поддержки принятия решений относится к области информационных технологий, в частности к информационно-аналитическим управляющим системам. Информационно-аналитические системы данного класса предназначены для формирования и подготовки решения лицам принимающим решения. Компьютерное сетевое администрирование позволяет автоматизировать процесс принятия решений, техническим результатом, которого является, как правило, визуальная схема, отображающая процесс управления созданием образцов РЭБ ВКС. Как правило процессы, характерные для создания образцов РЭБ образуют группы, включающих инициацию, планирование, исполнение, контроль и завершение, взаимодействующих между собой в ходе выполнения создания образцы [4] (рис. 1).

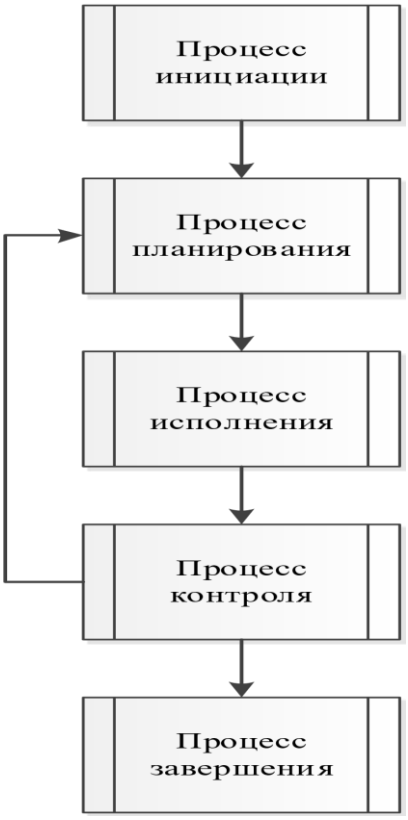


Рис. 1. Взаимодействие процессов создания образцов РЭБ
Fig. 1. Interaction of the processes of creating electronic warfare samples

При этом все процессы поддержки принятия решений выстроены путем определения входов и выходов каждой группы процессов, связанных с другими процессами создания образцов соответствующими входами и выходами для облегчения их координации, согласования требований и целей. Процессы создают иерархическую структуру работ, включающую иерархические уровни, которые модель управления отражает на многоуровневую иерархическую структуру этапов решения задачи [5] (рис. 2). При этом иерархическая структура работ (англ. Work Breakdown Structure, WBS; иногда Структура декомпозиции работ, СДР) — это иерархическое разбиение всей работы, которую необходимо

выполнить для достижения целей создания образца РЭБ, на более мелкие операции и действия до такого уровня, на котором способы выполнения этих действий вполне ясны и соответствующие работы могут быть оценены и спланированы. Она включает также определение промежуточных результатов всех составляющих эту структуру работ.

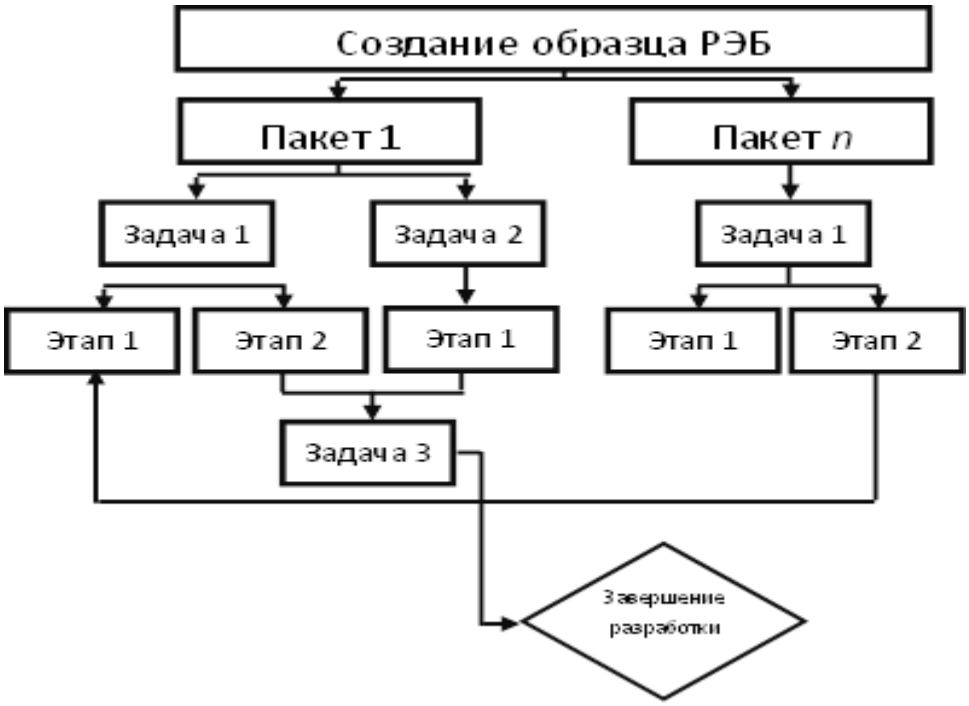


Рис. 2. Структура создания образцов РЭБ ВКС
Fig. 2. The structure of creating samples of electronic warfare VKS

Сущность иерархической структуры работ раскрывается характеристиками:

1. Описывает с необходимой точностью содержание работ по созданию образца РЭБ.
2. Определяет весь объем работ по созданию образца.
3. Формируется в виде иерархической структуры (декомпозируется на пакеты/субпакеты и т. д. работ).
4. Представляет объем работ по пакету как перечень работ, имеющих измеримый или сравнимый результат.
5. Имеет объективный или измеримый результат, который рассматривается как результат работы по пакету или совокупность результатов работ.

При этом каждый иерархический уровень создания образца разделен на этапы в соответствии с постановкой задачи, на каждом этапе выбраны параметры, характеризующие состояние управления системой создания образца, задано допустимое управление для каждого состояния и функции состояния, связывающие этапы между собой.

Затем определено допустимое управление для каждого состояния, при этом на каждой группе процессов использовано отображение запланированных задач посредством специального графика, обеспечивающего визуализацию хронологии проекта, с возможностью получения общего представления о хронологии создания образцов РЭБ, управления ресурсами, выполнения работ по созданию на разных этапах, оценке загрузки, установления критического пути создания образца, при котором определяются задачи создания образцов РЭБ. Этапы обладают наборами параметров, характеризующих состояние управляемой системы [6].

Стоит отметить, что на графике размещают и другую информацию: устанавливают проценты выполнения, формируют бюджет, помечают контрольные точки — вехи. График или иначе диаграмма Ганта представляет собой визуальный способ отображения

запланированных задач создания образцов РЭБ (рис. 3). График работ состоит из ряда отрезков, размещённых вдоль временной оси. Каждый из них соответствует отдельной задаче или подзадаче. Начало и конец отрезка соответствуют моменту начала и завершения работы по задаче, длина отрезка характеризует продолжительность задачи. На каждый отрезок целесообразно назначить исполнителей задачи. Диаграмма Ганта показывает:

1) задачи, включённые в процесс создания образцов РЭБ;
2) продолжительность задач;
3) даты начала и окончания создания образцов РЭБ;
4) время, которое занимает каждая задача;
5) исполнителей, работающих над задачами;
6) способы объединения задач.

Так как диаграмма Ганта позволяет наглядно отобразить составляющие части процесса создания образцов РЭБ и разбивать его на задачи меньшего размера, то диаграмма помогает упростить выполнение сложных задач, а после добавления зависимости между задачами, определяются исполнители и задаются дедлайны.

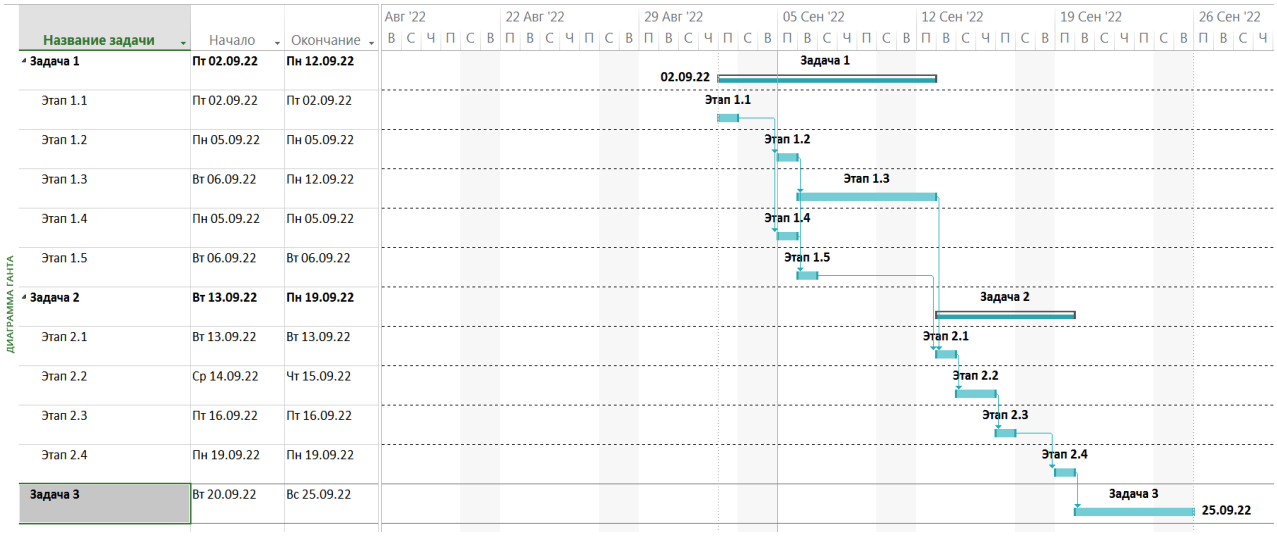


Рис. 3. Общее представление диаграммы Ганта
Fig. 3. General view of the Gantt chart

Отметим, что этапы решения задачи формируются вариантами управления параметрами. Каждый параметр представлен в виде отрезка диаграммы и может быть представлен функцией или быть выражен в денежном эквиваленте (рис. 4). Однако, при всем достоинстве подобных существующих систем они обладают недостатком, который обусловлен тем, что отсутствуют параметры, характеризующих состояние управляемой системы перед каждым этапом решения задачи. Недостаток не позволяет учитывать влияние данных параметров на формирование и нахождение оптимального управления проектом на любом иерархическом уровне.

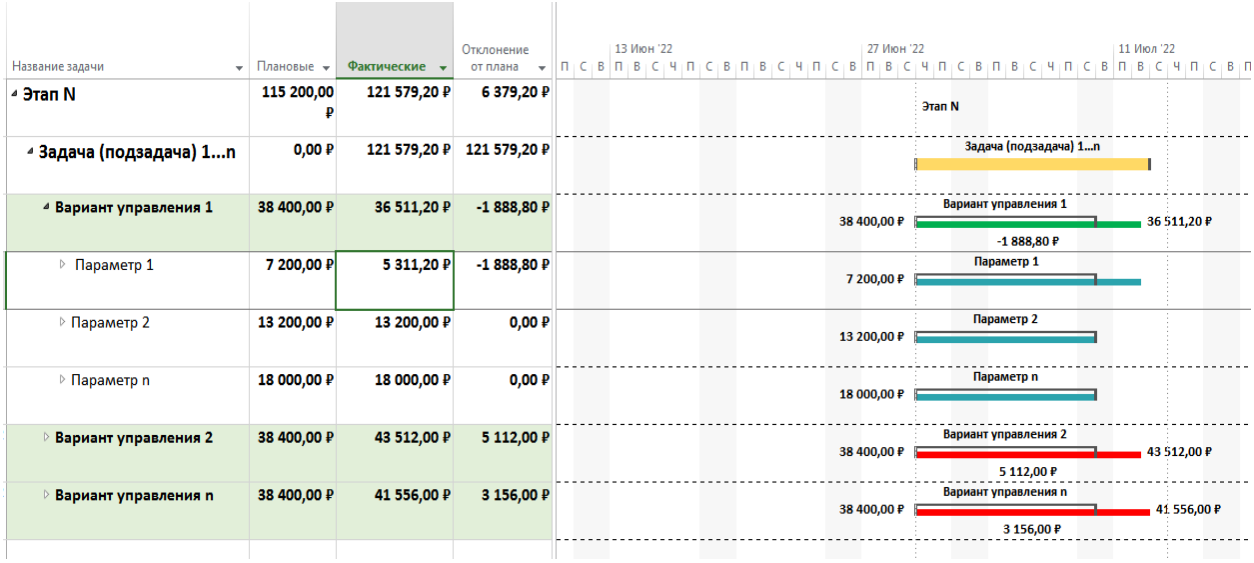


Рис. 4. Обобщенное представление о формировании этапов создания образцов РЭБ
Fig. 4. A generalized view of the formation of the stages of creating electronic warfare samples

Диаграмма Ганта дает возможность оптимизировать этот процесс, обозначая последовательность задач, их исполнителей и сроки. Всё это позволяет оценить ресурсы и взаимосвязи задач. А значит, запланировать работу так, чтобы не пришлось глобально пересматривать подход, менять команду или инструменты.

Диаграмма Ганта иллюстрирует хронологию разработки и всех ее задач, упрощая управление. Она дает возможность в наглядной форме просматривать график продвижения работы над проектами, предстоящие вехи и хронологию в целом. То есть диаграмма Ганта представляет собой визуальный способ отображения запланированных задач, что позволяет наглядно изобразить составляющие части проекта и разбить его на задания меньшего размера для удобства управления. Получившиеся задания размещаются вдоль временной шкалы диаграммы Ганта, после чего на нее добавляют зависимости между заданиями, исполнителей и контрольные точки. Стоит отметить, что на графике размещают и другую информацию: например, устанавливают проценты выполнения, формируют бюджет, помечают дедлайны — вехи.

Таким образом график работ состоит из ряда отрезков, размещённых вдоль временной оси. Каждый из них соответствует отдельной задаче или подзадаче [7]. Начало и конец отрезка соответствуют моменту начала и завершения работы по задаче. Длина отрезка — продолжительность работ. На каждый отрезок целесообразно назначить исполнителей задачи. Диаграммы Ганта можно использовать для самых разных проектов и программ:

Подготовка сложных проектов и управление ими. Чем крупнее проект, тем больше задач, которыми нужно управлять. С помощью диаграмм Ганта можно с лёгкостью визуализировать проекты и разбивать их на более мелкие задачи.

Отслеживание зависимостей между задачами. Проекты могут идти не по плану. Диаграммы Ганта помогают автоматизировать зависимые элементы задач, благодаря чему следующий этап работы не начинается раньше, чем закончен предыдущий.

Отслеживание хода работ по проекту. Диаграммы Ганта позволяют отслеживать прогресс и вехи, благодаря чему можно с лёгкостью скорректировать план проекта в случае необходимости.

При этом целесообразно выделить такие достоинства диаграммы Ганта, как визуализация хронологии разработки; возможность получить общее представление о хронологии разработки; простая организация сложных задач; помощь в управлении ресурсами; координация работы; оценка загрузки сотрудников; определение критического пути; быстро нахождение связанных задач; онлайн-диаграмму легко обновить — добавить

новый этап работы или изменить срок задачи, если того требует ситуация. Таким образом, диаграмма Ганта является дорожной картой разработки образца РЭБ и инструментом, помогающим отслеживать достижение всех вех, проводить оценку укладываетесь ли вы в эти сроки. Она позволяет упорядочить задачи — в том числе если нужно привлечь несколько команд. Диаграмма Ганта отлично справляется там, где есть чёткие дедлайны, ограниченный бюджет и ресурсы. Поэтому её можно назвать основным инструментом управления разработкой образцов РЭБ. При этом подразумевается, что диаграмма Ганта в контексте управления разработкой обладает свойством иерархичности, т. е. основная задача управления разработкой в результате декомпозиции может разбиваться на подэтапы, которые сами в свою очередь представляются в виде диаграммы Ганта.

Одной из важнейших функциональных областей управления созданием образцов РЭБ ВКС является подсистема управления временем проекта. Управление временем является важнейшей подсистемой в силу того, что наряду с затратами и результатами образуют основу «краеугольного камня» проекта и определяет ограничения по времени [8]. Управление временем осуществляется на всех этапах жизненного цикла образца РЭБ ВКС, реализуясь в различных функциях проект-менеджмента. На этапе разработки образца РЭБ — это планирование времени, на этапе реализации — контроль выполнения сетевого графика и внесение изменений по ходу осуществления разработки. Временные параметры (или временные характеристики) сетевой модели являются главными элементами аналитической системы проектного управления. Именно для их определения и последующего улучшения выполняется вся подготовительная, вспомогательная работа по составлению сетевой модели проекта и ее последующей оптимизации. Различают следующие временные параметры:

1. продолжительность работ;
2. раннее время начала работы;
3. раннее время окончания работы;
4. позднее время начала работы;
5. позднее время окончания работы;
6. раннее время наступления события;
7. позднее время наступления события;
8. продолжительность критического пути;
9. резерв времени наступления события;
10. полный резерв времени выполнения работы;
11. свободный резерв времени выполнения работы;
12. независимый резерв времени выполнения работы.

Главной задачей управления временем на этапе планирования является разработка такого расписания работ, при котором целевая функция задачи при соблюдении всех условий достигала бы экстремального значения [9]. Иными словами, главная задача календарного планирования интегрирует в себе достижение трех условий:

1) минимизация продолжительности разработки в условиях ограниченности ресурсов;
2) минимизация стоимости разработки;
3) равномерное распределение ресурсов.

Итогом выполнения главной задачи планирования времени является обоснованный календарный план. Календарный план — это проектно-технологические документы, устанавливающие полный перечень работ, их последовательность, взаимосвязь, сроки выполнения, продолжительность, исполнителей и ресурсы, необходимые для выполнения работ. Создание календарного плана предполагает ряд предварительных действий:

1) определение продолжительности работ;
2) установление взаимосвязи между работами;
3) определение времени доступности всех видов ресурсов.

Процесс определения продолжительности работ может осуществляться различными методами, в частности экспертными методами, с использованием баз данных, с помощью внутренних и внешних консультантов, существующих стандартов и т. д. Применение экспертизы, в которой независимо друг от друга оценивают ситуацию, затем каждый эксперт знакомится с оценками коллег и корректирует свою оценку. Процедура повторяется до тех пор, пока оценки не сблизятся до приемлемого интервала времени.

Таким образом, метод построения модели выбора альтернатив в системе поддержки принятия решений при создании образцов РЭБ ВКС конструктивно выстроен на основе определения входов и выходов каждой группы процессов, связанных с другими процессами создания образцов РЭБ соответствующими входами и выходами для облегчения их координации, согласования требований и целей создания.

Критерием оценки выбора при этом служит оптимальное (минимальное, максимальное) значение заданного критерия. Задачей, на решение которой направлен метод построения модели выбора альтернатив в системе поддержки принятия решений при создании образцов РЭБ ВКС, является определение допустимого управления для каждого состояния на каждом этапе. С этой целью задача управления созданием, в общем виде, была формализована, как многокритериальная задача оптимизации. Математическая модель формализует процесс принятия оптимального решения одновременно по нескольким параметрам. Эти параметры могут отражать оценки различных качеств объекта (или процесса), по поводу которого принимаются решения.

Такой подход позволяет сводить общую многокритериальную задачу к совокупности частных однокритериальных, решение которых осуществимо, например, методом динамического программирования, на каждом иерархическом уровне.

Динамическое программирование — это метод нахождения оптимальных решений в задачах с многошаговой (многоэтапной) структурой. Многие процессы расчленяются на шаги естественным образом [10]. Это все процессы планирования и управления, развиваемые во времени. Естественным шагом в них может быть год, квартал, месяц, декада, неделя, день и т. д. Однако метод динамического программирования может использоваться при решении задач, где время вообще не фигурирует; разделение на шаги в таких задачах вводится искусственно. Поэтому «динамика» задач динамического программирования заключается в методе решения. В основе динамического программирования лежит идея решения поставленной задачи путем деления ее на отдельные части (подзадачи, этапы), решение этих подзадач и последующего объединения этих решений в одно общее решение. Динамическое программирование обычно придерживается двух подходов к решению задач:

нисходящее динамическое программирование: задача разбивается на подзадачи меньшего размера, они решаются и затем комбинируются для решения исходной задачи. Используется запоминание для решений уже решенных подзадач;

восходящее динамическое программирование: все подзадачи, которые впоследствии понадобятся для решения исходной задачи, просчитываются заранее и затем используются для построения решения исходной задачи.

Способ восходящего динамического программирования выглядит эффективней нисходящего программирования в смысле размера необходимого стека и количества вызова функций, но иногда бывает нелегко заранее выяснить, решение каких подзадач нам потребуется в дальнейшем. Но так как при традиционном подходе управления разработкой возможно построение диаграммы Ганта, то данная проблема снимается автоматически.

Другими важнейшими функциональными областями управления разработкой являются подсистемы, требующие интеграции данных календарного плана работ и затрат на протяжении всего жизненного цикла проекта. Пять основных процессов, требующих, интеграции календарного плана и затрат включают:

1. Оценку объемов и стоимости работ и подготовку предложений по контракту;

2. Подготовку и заключение контракта;
3. Контроль и анализ состояния работ и затрат;
4. Контроль изменений;
5. Завершение разработки.

Для рассмотрения характеристик каждого из этих процессов необходимо обсудить различные системы управления затратами и расписанием проекта. Существует различные способы оценки объемов и стоимости работ, а также подготовки предложений по контракту. Первым этапом рассматриваемого интеграционного метода является составление укрупненного календарного плана работ проекта с назначенными на работы ресурсами. Данный календарный план является входными данными для системы управления затратами проекта. Затем, система управления затратами позволяет произвести калькуляцию затрат проекта. Далее возможна автоматическая коррекция расписания в соответствии с результатами калькуляции или же с установленной целевой величиной затрат. Использование данного метода позволяет в случае подписания контракта легко получать из предварительных оценок исходный план разработки образца РЭБ. Сначала менеджер проекта определяет работы самого верхнего уровня, необходимые для выполнения контракта. Эти работы заносятся в расписание объединяющего проекта. Затем создаются подпроекты и передаются конкретным менеджерам, которые будут отвечать за их выполнение. Менеджеры проекта предоставляют детальную информацию по работам своего подпроекта. В результате свертывания данной информации, определяются длительности работ более высокого уровня. Этот метод обеспечивает следующее:

• менеджеры проекта имеют полные права в отношении оценивания работ своих подпроектов;

• оценка длительности и стоимости работ более высокого уровня основывается на длительности входящих в них работ и оценках количества и стоимости ресурсов, требуемых для их выполнения;

• в случае заключения контракта, создание исходного плана и полного расписания проекта не представляет никакого труда, так как оценка стоимости проекта производилась на основании календарного графика работ;

• будущие контракты с подобным набором работ могут быть оценены при использовании уже существующего расписания.

Затраты на разработку рассчитываются сразу после того, как только в расписание проекта введены основные работы, длительность которых зависит от количества назначаемых на них ресурсов. Рабочие часы проекта содержатся в его календарном плане, а система управления затратами рассчитывает все прямые издержки, дополнительные выплаты, накладные, общие и управленческие расходы и другие текущие затраты, возникающие в процессе выполнения работ. Все затраты должны быть подсчитаны, при необходимости с учетом возрастания стоимости, и помещены в отчет для проведения анализа. В целях устранения повторного ввода данных и уменьшения вероятности ошибок необходимо, чтобы вносимые в расписание работы автоматически переносились в систему управления затратами.

Контроль и анализ состояния работ и затрат осуществляется ежедневно использует систему управления расписанием для управления и контроля за своей частью проекта, то, естественно, расписание должно содержать достоверную информацию о ходе выполнения работ. Для того, чтобы аккуратно рассчитать фактическую выработку необходимо, чтобы текущее состояние работ проекта передавалось в систему управления затратами. Для проведения анализа состояния работ и затрат необходимо иметь следующие величины:

• Плановые затраты (бюджет проекта),
• Фактическая выработка,
• Фактические затраты,
• Прогнозные значения затрат

Для получения четкой картины состояния разработки образца РЭБ необходимо получить все эти четыре величины. Простой анализ плановых затрат в сравнении с фактическими зачастую может давать искаженную картину. Например, если фактические затраты составляют 90% от плановых, то может показаться, что выполнение контракта идет очень хорошо. В то время, как состояние разработки или ее фактическая выработка, добавленные в анализ, могут показать, что выполнена только половина из запланированных на данное число работ. Таким образом, разработка образца РЭБ отстает от календарного графика и, кроме того, затраты на выполненную часть работ превышают плановые. Отметим, что в настоящее время диаграмма Ганта является стандартом де-факто в теории и практике управления проектами. Таким образом, диаграмма Ганта конструктивно отображает структуру перечня работ по разработке образца РЭБ.

Сценарий управления созданием образца ВТ, сформированный на основе многоуровневой иерархической модели, реализован при выполнении опытно-конструкторской работы в одном из предприятий ОПК. В качестве примера выбран проект по созданию составной части образца ВТ.

Использование сценарного метода планирования позволило определить несколько сценариев развития событий. Сценарий оптимальный, резервный и опережающий. На протяжении всего времени по изготовлению составной части ВТ ключевые показатели соответствовали оптимальному сценарию и подтвердили прогнозы.

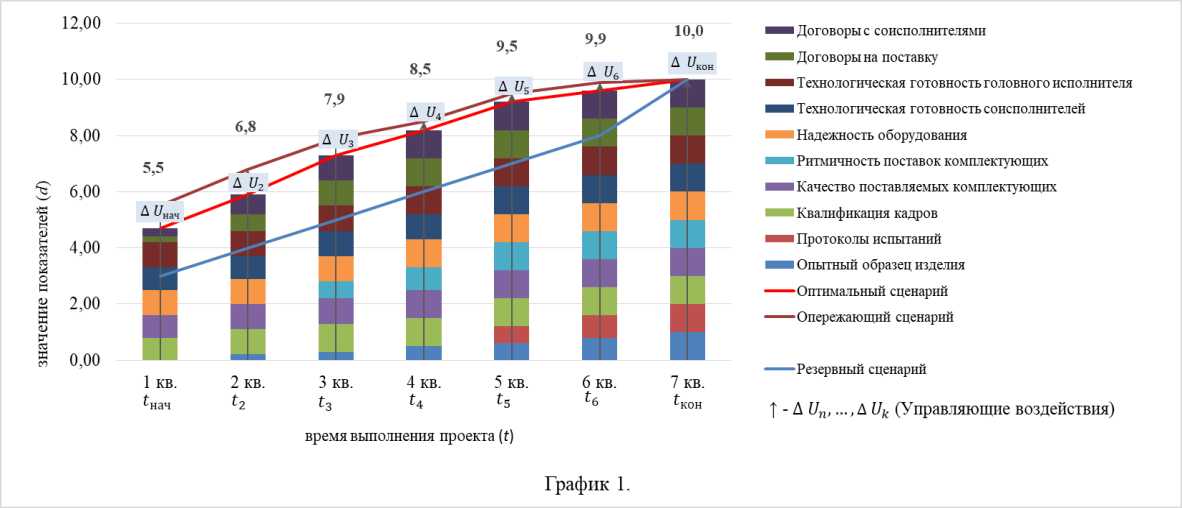


Рис. 5. Показатели проекта изготовления СЧ ВТ
Fig. 5. Indicators of the SCH VT manufacturing project

На начальном этапе определялся перечень показателей или критериев для формирования вариантов решений и оценки качества принятых решений в ходе выполнения работы. При этом исходя из принципа целесообразности в качестве критериев были выбраны следующие: освоенный объем выделенных на данный проект финансовых средств в процентах, стоимость материальных ресурсов, ФОТ (+страховые взносы), затраты, количество соисполнителей, количество поставщиков ПКИ, платежи Заказчика, технологическая готовность головного исполнителя, технологическая готовность соисполнителей, внешние факторы влияния, издержки (в т.ч. судебные), прибыль.

Само решение в результате применения изложенного подхода определяется точкой Bopt за время tk. Для достижения сформулированной цели – нахождения оптимального управления изготовления образца ВТ была решена задача по определению пошагового управления [12]. В рассматриваемых задачах целевые функции представлялись в аддитивной или мультипликативной формах:

$$f(x) = \sum_{k=1}^{n} f_k(x_k) \text{ или } f(x) = \prod_{k=1}^{n} f_k(x_k), x = (x_1, \dots, x_n) \quad (1)$$

Подтверждение оптимальности проекта обеспечивается оценкой эффективности полученного опытного образца.

Таким образом, метод построения модели выбора альтернатив в системе поддержки принятия решений при создании образцов ВТ конструктивно выстроен на основе определения входов и выходов каждой группы процессов, связанных с другими процессами создания образцов ВТ соответствующими входами и выходами для облегчения их координации, согласования требований и целей создания.

Критерием оценки выбора при этом служит оптимальное (минимальное, максимальное) значение заданного критерия. Задачей, на решение которой направлен метод построения модели выбора альтернатив в системе поддержки принятия решений при создании образцов ВТ, является определение допустимого управления для каждого состояния на каждом этапе. С этой целью задача управления изготовлением, в общем виде, была формализована, как многокритериальная задача оптимизации. Математическая модель формализует процесс принятия оптимального решения одновременно по нескольким параметрам. Эти параметры могут отражать оценки различных качеств объекта (или процесса), по поводу которого принимаются решения.

Заключение

Исследования процесса управления проектом на базе метода построения информационной модели выбора альтернатив в системе поддержки принятия решений при создании образцов РЭБ ВКС основаны на агрегировании факторов, формирующих размерность пространства принятия решений, представлении этапов решения задачи проектирования и параметров, характеризующих состояние управляемой системы в виде суммарных отрезков на диаграмме Ганта, что позволяет минимизировать время принятия решений и обеспечит создание образца РЭБ ВКС в установленные сроки и отведенные ресурсы.

Рекомендации по выбору оптимального варианта управленческого решения позволяют решить задачу оптимального управления при создании образцов РЭБ ВКС, найти подходящие под критерии лица принимающего решения варианты решений, сузить выборку до наиболее подходящих и выбрать оптимальный вариант для любого образца РЭБ.

Предложенный метод позволяет обеспечить создание образца РЭБ ВКС в заданные сроки при ограничениях на ресурсы.

Список источников

1. *Г. А. Демин* Управленческие решения [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Электронные данные. – Пермь, 2020. – 2,54 Мб; 92 с. – Режим доступа: http://www.psu.ru/files/docs/ science/books/uchebnie-posobiya/demin-upravlencheskie-resheniya.pdf
2. КОМПЬЮТЕРНАЯ ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ Э.А. ТРАХТЕНГЕРЦ Москва – 1998
3. */ Г. А. Демин* Методы принятия управленческих решений [Электронный ресурс]: учеб. пособие; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2019. – 1,58 Мб; 88 с. – Режим доступа: http://www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebnie-posobiya/ demin-metody-prinyatiya-upravlencheskikh-reshenij.pdf. – Загл. с экрана.
4. *Нугайбеков Р.А.* Корпоративная система управления проектами: От методологии к практике / Р.А. Нугайбеков, Д.Г. Максин, А.В. Ляшук. — М.: Альпина Паблишер, 2015. — 236 с
5. *Цыгичко В. Н*. Модели в системе принятия военно-стратегических решений в СССР. М: Империум ПРЕСС, 2005
6. *А.В. Рубцов, С.В. Мамаева, Л.Н. Храмова, И.В. Храмов* И741 Информационное обеспечение системы менеджмента организации: учеб. пособие /Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2022 – 111 с.
7. *А-47 Алексеев В.Е, Захарова Д.В.* ТЕОРИЯ ГРАФОВ: Учебное пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2017 –119 с.

8. *Клиффорд Ф- Грей, Эрик У.* Ларсон Управление проектами: Практическое руководство/ Пер с англ — М.: Издательство «Дело и Сервис», 2003 — 528 с
9. *Л. Н. Боронина, З. В.* Сенук Основы управления проектами : [учеб. пособие] / М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. 2-е изд., доп. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016 — 134 с.
10. Алексеев В.В. – Теория алгоритмов. Учебно-методическое пособие. СарФТИ НИЯУ МИФИ, 2021 г.

DECISION SUPPORT SYSTEM FOR CREATING FISH SAMPLES BASED ON THE METHOD OF CONSTRUCTING AN ALTERNATIVE SELECTION MODEL

A.V. Marakhovsky[1]
[1]JSC «Central Scientific Research Radio Engineering Institute named after academician A.I. Berg»
[1]zgdov@cnirti.ru

Abstract

Improving the decision support system in the development of electronic warfare technology will ensure that decision makers significantly reduce costs and increase the economic efficiency of production. Numerous studies show that without additional analytical support, decisions are made that are simplistic and sometimes simply contradictory.
Public investments in industrial production, which are being allocated starting in 2022, require industrial enterprises and the military-industrial complex to carefully plan projects for the reconstruction of production facilities, expand the staff, and search for alternatives suppliers of materials necessary for the work. Sanctions have significantly complicated task planning, and materials purchased from one supplier often became unavailable for re-ordering after a short time. For the manufacture of prototypes of products, components and military equipment, as well as mass production, managers of enterprises and projects need to make the most optimal management decisions. Without the use of modern tools to help the decision maker, such tasks are difficult to solve. The article describes the tools that will help to accomplish this task most effectively.

Keywords

HR support, management decisions, management choice scenario, Gantt chart, hierarchical structure of work, time management.

УДК 621.39

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ УЗКОПОЛОСНОЙ ПОМЕХИ В РАДИОКАНАЛЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Г.И. Мингазутдинов [1], **Г.А. Милорадов** [2]
[1–2] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] mingazutdinov.g.i@edu.mirea.ru, [2] miloradov@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Современные системы радиосвязи всё чаще сталкиваются с необходимостью функционирования в условиях сложной помеховой обстановки, включая преднамеренные воздействия со стороны несанкционированных источников. Одним из наиболее деструктивных видов искажений является узкополосная помеха, способная маскироваться под полезный сигнал, затрудняя извлечение информации. Для повышения устойчивости радиоканалов требуется максимально точное определение параметров такой помехи с целью ее фильтрации или смещения несущей частоты сигнала на частоту, где помеха отсутствует.

Цель. Целью данной работы разработка алгоритма оценки параметров узкополосной помехи, в виде немодулированного прямоугольного радиоимпульса, с помощью искусственной нейронной сети.

Результаты. В ходе исследования были получены высокие показатели точности классификации параметров помехи: средняя точность определения ширины полосы и частотного сдвига составили не менее 99% при фиксированных дискретных значениях изменения параметров помехи. Основные ошибки наблюдались между близкими значениями ширины полосы, например, 20% и 30%, в то время как для частотного смещения ошибки были минимальны, что подтверждает высокую чувствительность модели к этому параметру. Объем обучающей выборки включал 59 400 образцов сигналов с различными типами PSK-модуляции (BPSK, QPSK, 8-PSK) и параметрами помех. Эффективность архитектуры CNN, основанной на параллельной обработке амплитудного и фазового спектров, а также применение мультитаскинга, позволили достичь высокой точности и улучшить обобщающую способность модели.

Практическая значимость. Практическая значимость результатов исследования заключается в возможности повышении устойчивости современных систем радиосвязи к узкополосным помехам за счёт применения сверточных нейронных сетей, способных с высокой точностью определять параметры помех. Разработанный подход позволяет автоматизировать процесс анализа помех, и может быть интегрирован в системы помехозащиты радиоканалов для оперативного подавления помех.

Ключевые слова

Цифровая фазовая модуляция, узкополосная помеха, аддитивная помеха, искусственная нейронная сеть, радиосвязь, адаптивные системы радиосвязи.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Современные системы радиосвязи всё чаще сталкиваются с необходимостью функционирования в условиях сложной помеховой обстановки, включая преднамеренные и непреднамеренные воздействия со стороны несанкционированных источников радиоизлучения. Одним из видов помех является узкополосная помеха, способная маскироваться под полезный сигнал, затрудняя извлечение информации. Для повышения устойчивости радиоканалов требуется максимально точное определение параметров такой помехи.

При этом традиционные алгоритмы частотного анализа, основанные на спектральных преобразованиях, не всегда обеспечивают адекватную точность и скорость в условиях широкого диапазона параметров помех и невысоких уровней отношения сигнал/шум (SNR) [1]. В этой связи возрастает интерес к использованию методов искусственного интеллекта, в частности — искусственных нейронных сетей (ИНС), демонстрирующих высокую эффективность в задачах распознавания структурных искажений сигналов [2], [3], [4].

Описание сигнала и помехи

В качестве полезного сигнала в рамках данной работы рассматривается сигнал с многопозиционной фазовой манипуляцией (PSK), используемый в современных цифровых системах связи благодаря высокой спектральной плотности и устойчивости к аддитивным шумам. В зависимости от числа фазовых состояний сигнал на практике может реализовываться как: BPSK (2-PSK), QPSK (4-PSK) 8-PSK [5], [6].

Математическое описание M-PSK-сигнала:

$$s(t) = A \cdot cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t + \varphi_i + \varphi_0) \quad (1)$$

где, $s(t)$ – M-PSK сигнал, A – амплитуда сигнала, f_c – частота несущего колебания, t – момент времени, φ_i – фаза сигнала, соответствующая сигнальному символу, φ_0 – начальная фаза сигнала.

Результаты компьютерного моделирования сигнала с M-PSK во временной области представлены на рисунке 1.

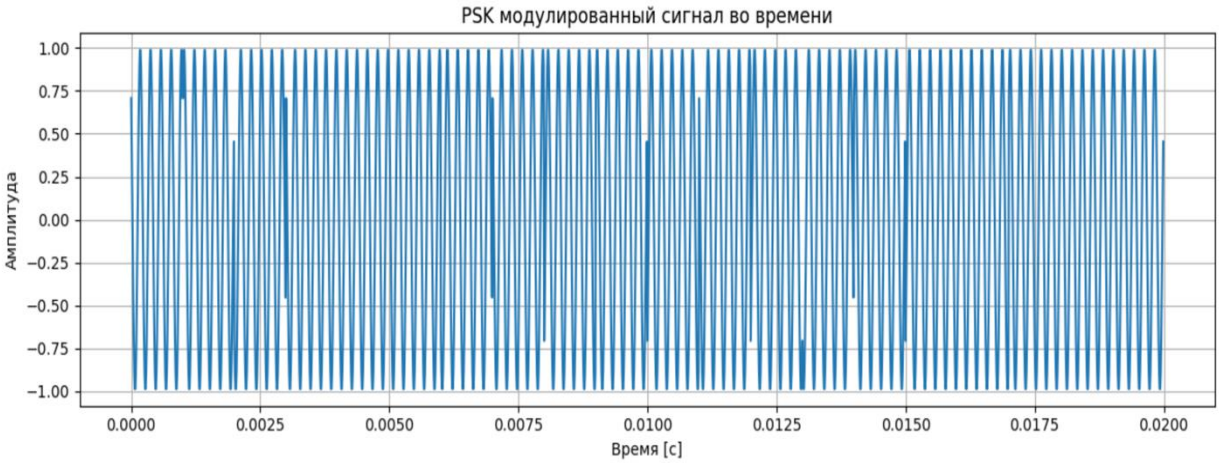


Рис. 1. M-PSK сигнал во временной области
Fig. 1. M-PSK signal in the time domain

В качестве узкополосной помехи (УП) в данной работе рассмотрен прямоугольный радиоимпульс без внутриимпульсной модуляции. УП представляет собой ограниченный по времени и спектру сигнал, оказывающий направленное воздействие на определённую часть спектра полезного сигнала. Спектры полезного сигнала, УП и смеси полезного сигнала и УП представлены на рисунке 2.

Параметры, подлежащие классификации:

1. Ширина спектра помехи — от 10% до 100% относительной ширины спектра сигнала с шагом 10%.

2. Смещение несущей частоты помехи — от –50% до +50% относительно центральной частоты сигнала, шаг 10%.

Таким образом, всего рассматривается 10 × 11 = 110 параметрических состояний помехи, формирующих множество классов в задаче классификации.

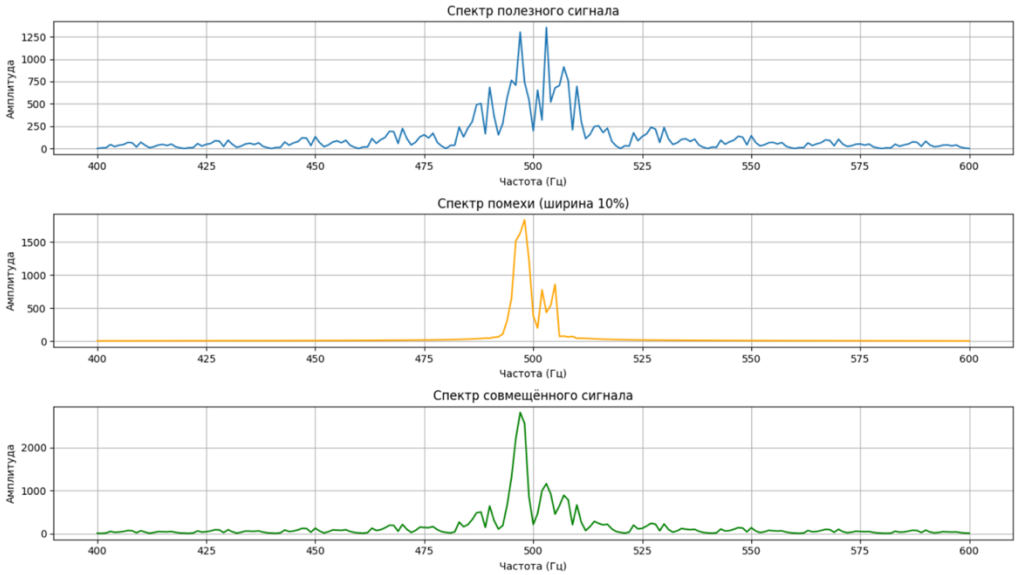


Рис. 2. Спектры полезного сигнала, УП и смеси полезного сигнала и УП
Fig. 2. Spectr of the useful signal, narrowband interference (NBI), and the mixture of the useful signal and NBI

Классификация с помощью ИНС

Для классификации параметров УП используется сверточная нейронная сеть (CNN). Выбор обусловлен тем, что CNN хорошо обрабатывает одномерные сигналы, позволяя автоматически извлекать релевантные спектрально-временные признаки [7]. Эти признаки зачастую недоступны или неочевидны при использовании ручных методов обработки (например, БПФ).

Задача формулируется как многоклассовая классификация с 110 классами (различные комбинации ширины и смещения спектра помехи). Выход сети — softmax-вектор вероятностей принадлежности к каждому классу.

Архитектура состоит из следующих компонентов:

Два входа:

- первый вход принимает амплитудный спектр.
- второй вход –фазовый спектр (фаза комплексного спектра сигнала).

Параллельные сверточные ветви:

Для каждого из входов используется идентичная последовательность слоев:

- сверточный слой с 32 ядрами свертки и ядром размером 5, активация ReLU.
- субдискретизирующий слой с размером окна 2.
- сверточный слой с 64 фильтрами и ядром размером 3, активация ReLU.
- повторная подвыборка с окном 2.
- слой Flatten, преобразующий данные в одномерный вектор признаков.

Объединение признаков (concatenation):

После параллельной обработки амплитудной и фазовой информации выходы обеих ветвей объединяются в единый вектор признаков, который затем поступает в обобщающие слои сети.

Полносвязный слой и регуляризация:

- полносвязный слой на 128 нейронов с функцией активации ReLU.
- dropout с коэффициентом 0.3, снижающий вероятность переобучения.

Два выходных слоя:

- один слой предназначен для классификации ширины полосы помехи (10 классов).
- второй для классификации смещения частоты помехи (11 классов).

Каждый выходной слой использует функцию активации softmax и обучается с использованием функции потерь `categorical_crossentropy`. Таким образом, модель решает две

задачи одновременно –мультитаскинг (multi–task learning), что позволяет эффективно использовать общие признаки и повышать обобщающую способность сети. Структурная схема ИНС представлена на рисунке 3.

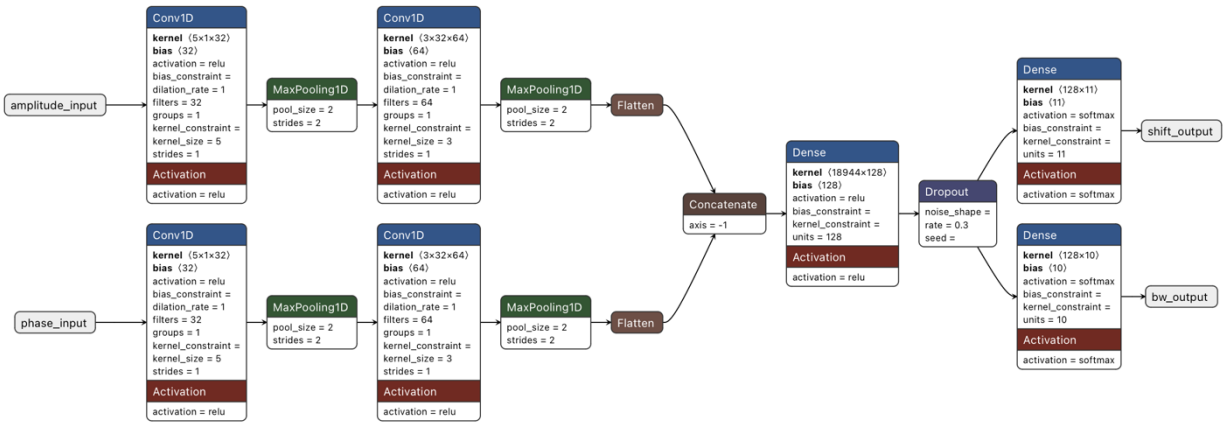


Рис. 3. Структура искусственной нейронной сети
Fig. 3. Structure of an artificial neural network

Для обучения модели используется:

- Функция потерь: categorical crossentropy;
- Метрика: accuracy;
- Оптимизатор: Adam;
- Библиотеки: TensorFlow, Keras, NumPy, SciPy.

Обучение происходит на сгенерированных синтетических данных для всех возможных комбинаций параметров помехи, по сигналам BPSK, QPSK и 8-PSK.

Подготовка и генерация данных

Для моделирования сгенерированы сигналы в условиях:

- Различных PSK-модуляций: 2, 4, 8 позиций;
- Множества помеховых параметров (ширина и смещение);

Общий размер обучающей выборки: 59 400 образцов. Сложность выборки заключается в вариативности спектрального воздействия и наличии естественного шума.

Результаты моделирования

После обучения сеть демонстрирует высокую точность классификации параметров помехи:

- Средняя точность (accuracy) по набору: более 99%;
- Ошибки наблюдаются в основном между близкими по значениям ширины и смещения классами.

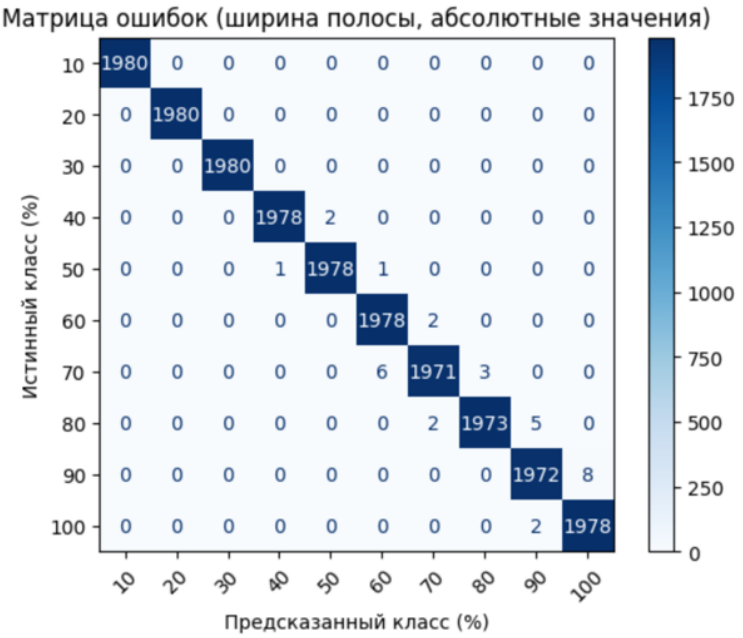


Рис. 4. Матрица ошибок оценки ширины спектра УП
Fig. 4. Error matrix of the spectrum width estimation of the UP



Рис. 5. Матрица ошибок оценки частотного сдвига УП
Fig. 5. Error matrix of the frequency shift estimation of the UP

Согласно результатам моделирования (рисунки 4,5), разработанный алгоритм демонстрирует высокие показатели точности классификации параметров помехи: средняя точность определения ширины полосы и частотного сдвига составили не менее 99% при фиксированных дискретных значениях изменения параметров помехи. Основные ошибки наблюдались между близкими значениями ширины полосы, например, 20% и 30%, в то время как для частотного смещения ошибки были минимальны, что подтверждает высокую чувствительность модели к этому параметру. Объем обучающей выборки включал 59 400 образцов сигналов с различными типами PSK-модуляции (BPSK, QPSK, 8-PSK) и параметрами помех. Эффективность архитектуры CNN, основанной на параллельной

обработке амплитудного и фазового спектров, а также применение мультитаскинга, позволили достичь высокой точности и улучшить обобщающую способность модели.

Заключение

Проведенное исследование подтвердило эффективность использования сверточных нейронных сетей (CNN) для классификации параметров прямоугольной узкополосной помехи в радиосигналах с PSK-модуляцией. Реализованная архитектура продемонстрировала высокую точность (99% для ширины полосы и 100% для частотного смещения), что делает её применимой в реальных условиях сложной помеховой обстановки.

Ключевые преимущества предложенного подхода:

- Автоматическое извлечение спектрально-временных признаков, что исключает необходимость ручной обработки.
- Устойчивость к вариативности параметров помех и естественному шуму.
- Возможность масштабирования для других типов модуляции и помех.

Полученные результаты открывают перспективы для дальнейшего развития методов искусственного интеллекта в задачах повышения устойчивости радиосвязи. В будущем исследовании планируется расширить набор параметров помех и проверить работу модели в условиях экстремально низких уровней SNR.

Список источников

1. *Данилов, В. А.* Оптимальное обнаружение сигналов на фоне негауссовских узкополосных помех / В. А. Данилов, А. В. Данилов // Телекоммуникации. – 2014. – № 12. – С. 31-41. – EDN TBWNQD.
2. *Андреев, В. В*. Обработка сигналов нейросетью прямого распространения: аппроксимация и принятие решений / В. В. Андреев, Л. А. Славутский, Е. В. Славутская // Вестник Чувашского университета. – 2022. – № 1. – С. 14-22. – DOI 10.47026/1810-1909-2022-1-14-22. – EDN GCXSGV.
3. *Макаренко, А. В.* Глубокие нейронные сети: зарождение, становление, современное состояние / А. В. Макаренко // Проблемы управления. – 2020. – № 2. – С. 3-19. – DOI 10.25728/pu.2020.2.1. – EDN DBWHHL.
4. *Славутский, Л. А.* Нейросетевая обработка сигналов: задачи без «глубокого обучения» / Л. А. Славутский, Е. В. Славутская // Вестник Чувашского университета. – 2023. – № 2. – С. 151-160. – DOI 10.47026/1810-1909-2023-2-151-160. – EDN WHXKEB.
5. *Прощенок, Э. В.* Анализ современных видов манипуляции сигнала беспроводных систем связи / Э. В. Прощенок, А. Ю. Родионов // Вестник СибГУТИ. – 2022. – Т. 16, № 4. – С. 43-58. – DOI 10.55648/1998-6920-2022-16-4-43-58. – EDN HCUTGH.
6. *Черный, В. С.* Алгоритм измерения искажений в сигнале с квадратурной фазовой манипуляцией (QPSK) / В. С. Черный, А. Ю. Абраменко, О. Г. Пономарев // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2020. – Т. 23, № 3. – С. 45-52. – DOI 10.21293/1818-0442-2020-23-3-45-52. – EDN PUHHIZ.
7. *Посохов, А. С.* Нейросетевая обработка сигналов / А. С. Посохов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2021. – № 11. – С. 146-152. – DOI 10.24412/2071-6168-2021-11-146-152. – EDN NSFMUD.

DETERMINING THE PARAMETERS OF NARROWBAND INTERFERENCE IN THE RADIO CHANNEL OF A COMMUNICATION SYSTEM USING AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

G.I. Mingazutdinov [1], **G.A. Miloradov** [2]
[1–2] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] mingazutdinov.g.i@edu.mirea.ru, [2] miloradov@mirea.ru

Abstract

Problem Statement. Modern radio communication systems increasingly face the challenge of operating in complex interference environments, including intentional disruptions from unauthorized sources. One of the most disruptive types of distortion is narrowband interference (NBI), which can mimic the useful signal, complicating information extraction. To enhance the resilience of radio channels, it is critical to accurately determine the parameters of such interference for effective filtering or shifting the signal's carrier frequency to an interference-free band.

Objective. The aim of this work is to develop an algorithm for estimating the parameters of narrowband interference—specifically, an unmodulated rectangular radio pulse—using an artificial neural network.

Results. The study achieved high accuracy in classifying interference parameters: the average precision for determining bandwidth and frequency offset exceeded 99% for fixed discrete values of interference parameters. The primary errors occurred between closely spaced bandwidth values (e.g., 20% and 30%), while frequency offset errors were minimal, confirming the model's high sensitivity to this parameter. The training dataset comprised 59,400 signal samples with various PSK modulation types (BPSK, QPSK, 8-PSK) and interference parameters. The CNN architecture, leveraging parallel processing of amplitude and phase spectra alongside multi-task learning, demonstrated high accuracy and improved generalization capabilities.

Practical Significance. The practical value of this research lies in its potential to enhance the resilience of modern radio communication systems against narrowband interference through convolutional neural networks capable of high-precision interference parameter estimation. The proposed approach automates interference analysis and can be integrated into radio channel anti-jamming systems for real-time interference suppression.

Keywords

Digital phase modulation, narrowband interference, additive noise, artificial neural network, radio communication, adaptive radio systems.

УДК 621.391

ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ ПРИЁМА М-КАМ СИГНАЛОВ В КАНАЛАХ МЕЖДУ МОБИЛЬНЫМИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯМИ

Нгуен Хоанг Хыонг[1]
[1] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] khuongksqs@gmail.com

Аннотация

Постановка проблемы. Современные беспроводные системы связи, включая сети для транспортных средств и приложения Device-to-Device (D2D), все чаще используют связь между мобильными устройствами (M2M). Однако динамическая природа таких систем, где как передатчик, так и приемник находятся в движении, создает значительные трудности из-за эффекта Доплера. Этот эффект приводит к быстрым изменениям канала, что усложняет точную оценку канала и ухудшает эффективности систем связи, особенно в условиях высокой мобильности. Пространственная модель канала (SCM) 3GPP предоставляет стандартизированную основу для моделирования таких каналов.

Цель. Оценка влияния эффекта Доплера на вероятность битовой ошибки (BER) в канале связи между мобильными устройствами (M2M) с использованием пространственной модели канала (SCM) 3GPP.

Результаты. В результате проведенного исследования установлено, что эффекто Доплера, существенно влияют на вероятность битовой ошибки (BER) в канале M2M.

Практическая значимость. Полученные результаты имеют высокую практическую значимость для проектирования и оптимизации систем связи между мобильными устройствами (M2M), особенно в сетях для транспортных средств и D2D-приложениях.

Ключевые слова

Эффект Доплера, вероятность битовой ошибки (BER), пространственной модели канала (SCM) 3GPP.

A brief version in English is given at the end of the article

В данной статье проводится анализ помехоустойчивости приёма цифровых сигналов в каналах с замираниями между мобильными устройствами (M2M) с использованием пространственной модели канала (SCM) 3GPP. Модель канала учитывает эффекты Доплера, вызванные движением пользователей, со скоростями от 0 до 60 км/ч. Результаты моделирования показывают, что BER ухудшается с увеличением доплеровской частоты, в основном из-за быстрых изменений канала.

Введение

Связь между мобильными устройствами (M2M) является важным компонентом современных беспроводных систем, особенно в сетях для транспортных средств и приложениях Device-to-Device (D2D). Эти системы часто работают в мобильных условиях, где как передатчик, так и приемник находятся в движении, что приводит к быстрым изменениям состояния канала из-за замирания и эффекта Доплера. Пространственная модель канала (SCM) 3GPP позволяет реально моделировать такие каналы с учётом многолучевое явление и эффекты Доплера.

В этом исследовании мы оцениваем помехоустойчивость канала M2M с использованием SCM. Моделирование учитывает различные комбинации скоростей передатчика и приёмника, от сценария низкой мобильности (15, 15 км/ч) до сценария с высокой мобильностью (60, 60 км/ч). Основная цель — оценить влияние быстрого замирания на помехоустойчивость приёма цифровых сигналов.

Модель канала

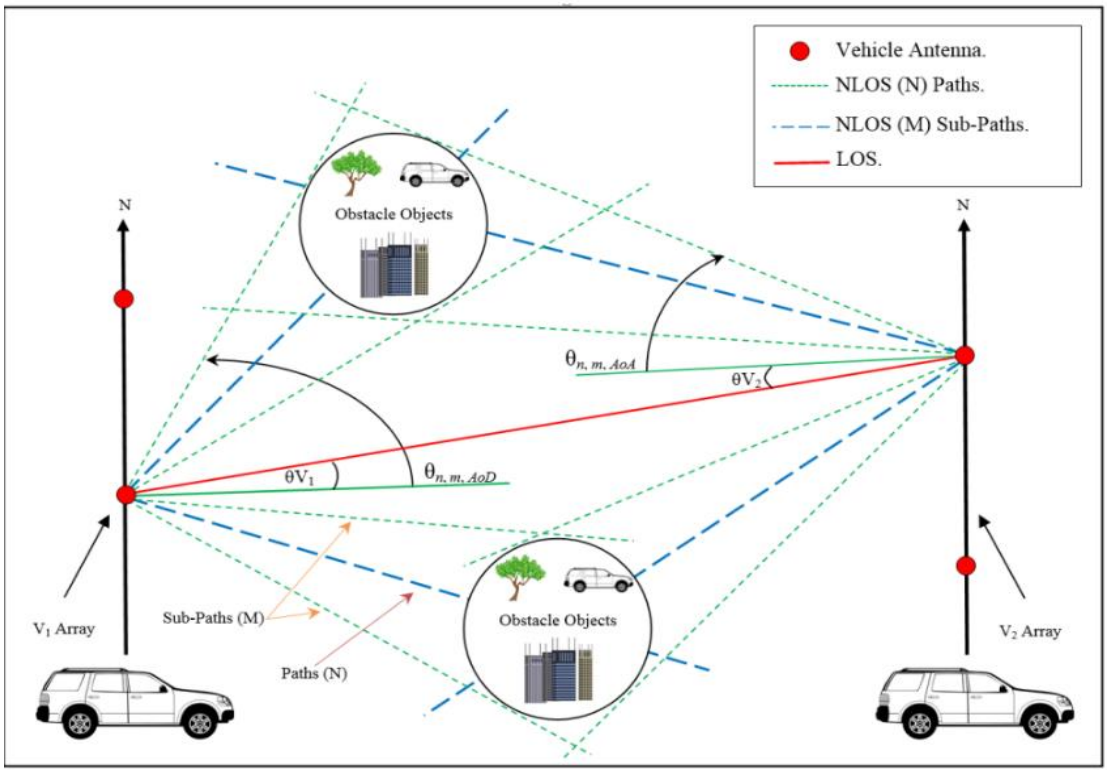
3GPP SCM по [1] — это геометрически-стохастическая модель, которая представляет беспроводной канал как суперпозицию нескольких путей, каждый из которых состоит из нескольких подлучей, характеризуюдтся задержкой, мощностью и углами прихода/ухода. Модель включает:

• Количество путей (N): 6 путей, каждый с определенными задержками и уровнями мощности.

• Количество подпутей (M): 20 подпутей на путь, моделирующих мелкомасштабное замирание.

• Затухание (SF): Логнормальное затухание со стандартным отклонением 8 дБ.

• Эффект Доплера: Учитывается через скорости передатчика (v_1) и приёмника (v_2).



Коэффициент канала для n-го пути в момент времени t задается следующим образом:

$$h_n(t) = \sqrt{\frac{P_n \cdot SF_n}{M}} \sum_{m=1}^{M} exp\left(j\frac{2\pi v_2 \cos(\theta_{A,m}-\theta_{v2})t}{\lambda}\right) exp\left(j\frac{2\pi v_1 \cos(\theta_{D,m}-\theta_{v1})t}{\lambda}\right) exp \quad (1)$$

,

где:

• P_n: Нормализованная мощность n-го пути.

• SF_n: Стандартное отклонение логнормальных затуханий.

• Φ_m: Случайная фаза m-го подпути.

• $\theta_{A,m}, \theta_{D,m}$: Углы прихода и ухода для m-го подпути.

• θ_{v1}, θ_{v2}: Направления движения передатчика и приёмника.

• λ: Длина волны ($\lambda = c/f$, где $c = 3 \times 10^8$ м/с, $f = 900$МГц).

Метод моделирования

Мы рассматриваем систему с одним входом и одним выходом (SISO) с модуляцией M-КАМ.

Модель сигнала, полученного на приемной стороне, может быть представлена следующим выражением:

$$y(t) = h(t)s(t) + n(t) \quad (2)$$

Здесь:

$h(t)$— коэффициент передачи канала в момент времени t;

$s(t)$ — передаваемый сигнал;

$n(t)$ — аддитивный белый гауссовский шум (AWGN);
$y(t)$ — принимаемое колебание.
Параметры моделирования
• Несущая частота (f): 900 МГц.
• Количество бит: 1,200,000.
• Комбинации скоростей (v_1,v_2): (15, 15), (30, 30), (60, 60) км/ч.
• Диапазон SNR: от 0 до 30 дБ.

Результаты и обсуждение

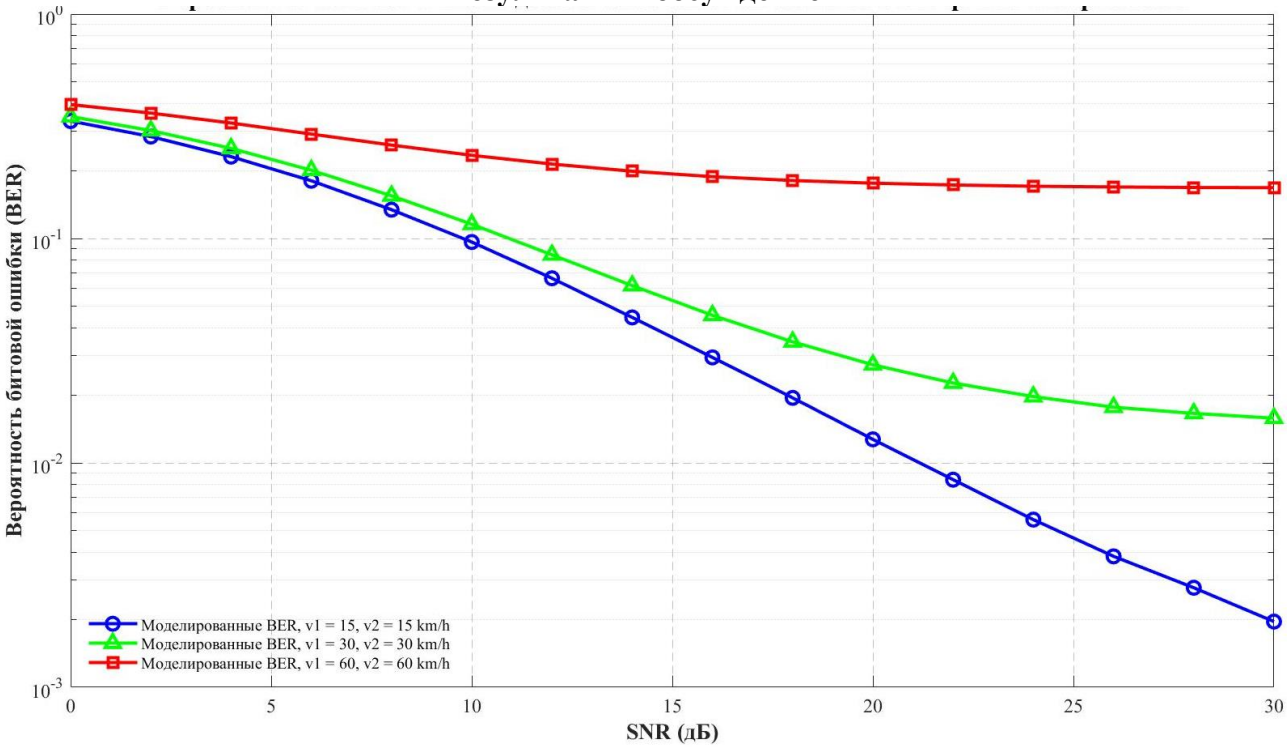


Рис. 1. Вероятность битовой ошибки для КАМ -4 в каналах с быстрыми замираниями при разных скростьях движения передатчика и приёмника.
Fig. 1. The probability of a bit error for QAM-4 in channels with fast fading at different speeds of the transmitter and receiver.

Таблица 1. Зависимость вероятности битовой ошибки приёма сигнала КАМ – 4 от ОСШ

ОС/Ш (дБ)	0	4	8	12	16	20	24	28	30
$v_1 = v_2 = 15$ км/ч	0.334	0.232	0.134	0.066	0.030	0.013	0.006	0.003	0.002
$v_1 = v_2 = 30$ км/ч	0.349	0.252	0.155	0.085	0.045	0.027	0.020	0.017	0.016
$v_1 = v_2 = 60$ км/ч	0.395	0.327	0.261	0.215	0.189	0.176	0.171	0.169	0.168

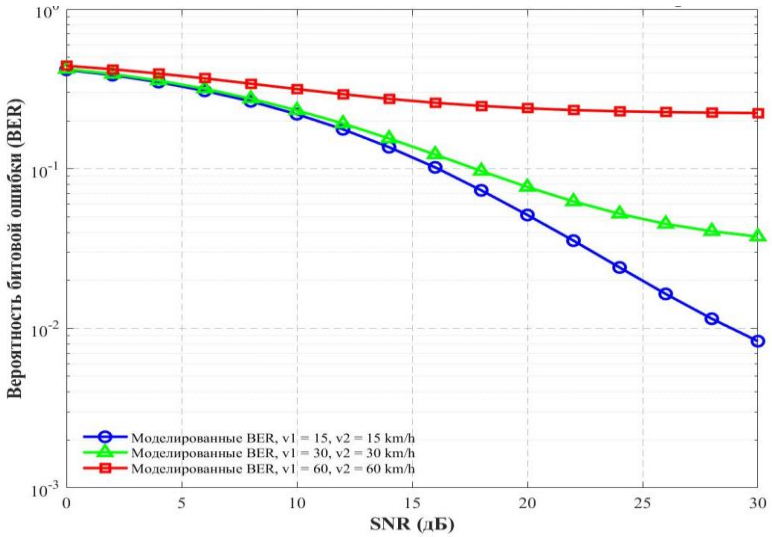


Рис. 2. Вероятность битовой ошибки для КАМ -16 в каналах с быстрыми замираниями при разных скростьях движения передатчика и приёмника.

Fig. 2. The probability of a bit error for QAM-16 in channels with fast fading at different speeds of the transmitter and receiver.

Таблица 2. Зависимость вероятности битовой ошибки приёма сигнала КАМ – 16 от ОСШ

ОС/Ш (дБ)	0	4	8	12	16	20	24	28	30
$v_1 = v_2 = 15$ км/ч	0.417	0.349	0.265	0.177	0.102	0.051	0.024	0.011	0.008
$v_1 = v_2 = 30$ км/ч	0.422	0.357	0.275	0.192	0.123	0.077	0.052	0.041	0.038
$v_1 = v_2 = 60$ км/с	0.442	0.395	0.342	0.293	0.259	0.239	0.229	0.225	0.221

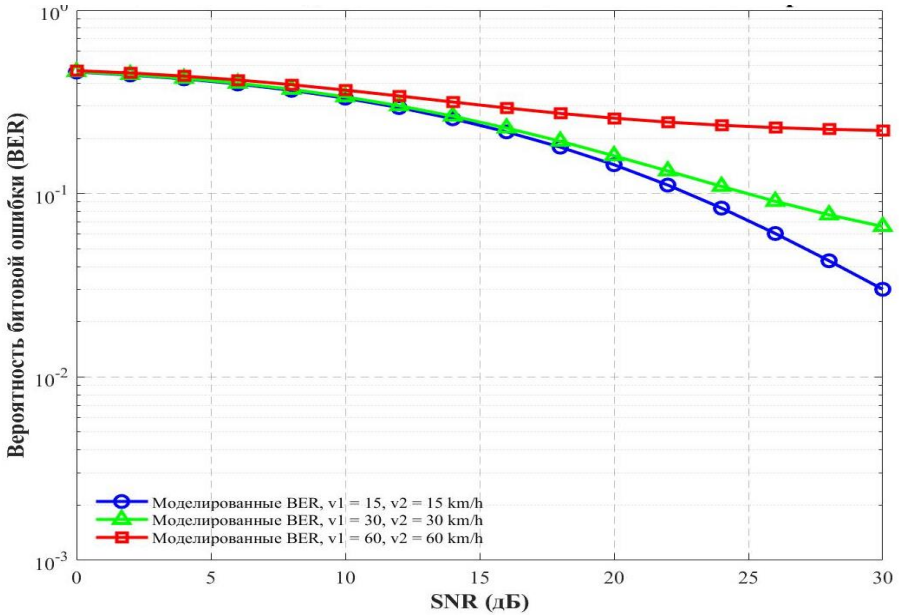


Рис. 3. Вероятность битовой ошибки для КАМ -64 в каналах с быстрыми замираниями при разных скростьях движения передатчика и приёмника.

Fig. 3. The probability of a bit error for QAM-64 in channels with fast fading at different speeds of the transmitter and receiver.

Таблица 3. Зависимость вероятности битовой ошибки приёма сигнала КАМ – 64 от ОСШ

ОС/Ш (дБ)	0	4	8	12	16	20	24	28	30
$v_1 = v_2 = 15$ км/ч	0.460	0.422	0.366	0.294	0.217	0.144	0.083	0.043	0.030
$v_1 = v_2 = 30$ км/ч	0.462	0.425	0.371	0.301	0.228	0.161	0.109	0.077	0.066
$v_1 = v_2 = 60$ км/с	0.468	0.437	0.393	0.341	0.293	0.258	0.236	0.229	0.225

Анализ результатов моделирования показывают, что

• Порядок модуляции М- КАМ связан с вероятностью битовой ошибки приёма сигналов: BER увеличивается в порядке 4-КАМ < 16КАМ < 64-КАМ при одинаковых отношениях сигнала/шум и скоростях движения пользователей, поскольку увеличение плотности символов уменьшает расстояние между точками в сигнальном пространстве, повышая чувствительность к шуму и замираниям.

• Вероятность битовой ошибки увеличивается с ростом скоростей движения пользователей. Это обуловлено эффектом Доплера f_d, который связан с скоростьями движения пользователей. Чем быстрее пользователи двигаются, тем быстрее изменяется состояние канала. Это приводит к повышения сложности системы оценки канала на приёме, что увеличивается вероятность ошибки при приёме информации.

• Ограничения при увеличении отношения сигнала: Даже при ОС/Ш= 30 дБ BER для 64-КАМ при $v_1 = v_2$ =60 км/ч остается высоким (~ 0.225), при ОС/Ш= 30 дБ BER для КАМ-16 при $v_1 = v_2$ =60 км/ч остается высоким (~ 0.221), при ОС/Ш= 30 дБ BER для КАМ-4 при $v_1 = v_2$ =60 км/ч остается высоким (~ 0.168), это подтверждает необходимость применения различных методов повышения помехоусточивости передачи информации.

Заключение

В данной работе проведена оценка помехоусточивость приёма КАМ разных порядков в каналах с замираниями с использованием 3GPP SCM. Результаты показывают, вероятность битовой ошибки значительно увеличиваются при высокой скорости движения пользователей из-за эффекта Доплера. Это подчеркивает необходимость разработки методов передачи информации для борьбы с негативный эффект быстрого замирания.

Список источников

1. 3GPP TR 25.996, “Пространственная модель канала для моделирования MIMO,” 3rd Generation Partnership Project, 2003.
2. *Goldsmith, A.,* Беспроводные коммуникации, Cambridge University Press, 2005.
3. *Tse, D., Viswanath, P.,* Основы беспроводной связи, Cambridge University Press, 2005.
4. *Coleri, S., et al.,* “Оценка канала на основе пилот-сигналов для систем OFDM в каналах с быстрым затуханием,” IEEE Transactions on Broadcasting, vol. 48, no.3, pp. 183–190, 2002.

NOISE IMMUNITY OF M-QAM SIGNAL RECEPTION IN CHANNELS BETWEEN MOBILE USERS

Nguyen Hoang Khuong[1]
[1] MIREA - Russian Technological University (Moscow, Russia)
[1] khuongksqs@gmail.com

Abstract

Statement of the problem. Modern wireless communication systems, including vehicle networks and Device-to-Device (D2D) applications, are increasingly using mobile device-to-device (M2M) communication. However, the dynamic nature of such systems, where both the transmitter and receiver are in motion, poses significant challenges due to the Doppler effect. This effect leads to rapid channel changes, which complicates accurate channel estimation and degrades the efficiency of communication systems, especially in conditions of high mobility. The 3GPP Spatial Channel Model (SCM) provides a standardized framework for modeling such channels. Taking into account the angles of motion when calculating Doppler frequencies also complicates the task, as traditional simplistic approaches often ignore these parameters, resulting in inaccurate results.

Purpose. Evaluation of the impact of the Doppler effect on the probability of bit error (BER) in a mobile-to-device (M2M) link using the 3GPP Spatial Channel Model (SCM).

Outcomes. As a result of the study, it was found that the Doppler effect significantly affects the probability of a bit error (BER) in the M2M channel.

Practical significance. The results obtained are of high practical importance for the design and optimization of mobile device-to-device (M2M) communication systems, especially in vehicle networks and D2D applications.

Keywords

Doppler Effect, Bit Error Probability (BER), 3GPP Spatial Channel Model (SCM).

УДК 621.396

ИССЛЕДОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ ЦИФРОВОГО МЕТОДА РАСШИРЕНИЯ СПЕКТРА В SDR-СИСТЕМАХ

Е. А. Панов[1], А. П. Клопова[2], Е.А. Чистяков[3]
[1–2]МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1]panov_e@mirea.ru, [2]klopova@mirea.ru, [3]chistyakov@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Современные радиосистемы связи, радиолокации и радиоэлектронной борьбы предъявляют высокие требования к ширине полосы приёма сигнала. Однако большинство доступных SDR-платформ имеют аппаратные ограничения по полосе пропускания, что сдерживает их применение в задачах, требующих приёма широкополосных сигналов. Необходимы методы цифровой обработки, позволяющие обойти эти ограничения без значительного увеличения стоимости и габаритов аппаратуры.

Цель. Разработать и реализовать систему цифрового расширения спектра, основанную на использовании нескольких SDR-платформ HackRF и программной обработки сигналов в GNU Radio, с возможностью масштабирования и практического применения в различных радиотехнических системах.

Результаты. Разработан метод объединения сигналов с разных SDR-устройств с помощью цифрового сдвига спектра. Проведено моделирование и практическая реализация схемы в среде GNU Radio, выполнена синхронизация двух приёмных устройств и экспериментальное подтверждение работоспособности. Получены графики и спектры, демонстрирующие эффективность расширения полосы приёма.

Практическая значимость. Разработанная система может быть использована в радиолокационных и радиосвязных системах, а также в комплексах радиоэлектронной борьбы. Методика позволяет существенно расширить функциональные возможности бюджетных SDR-платформ без аппаратной модификации.

Ключевые слова

Цифровая радиочастотная память (ЦРЧП); программно-определяемое радио (SDR); GNU Radio; HackRF; расширение спектра; цифровая обработка сигналов; радиолокация; радиоэлектронная борьба (РЭБ); сдвиг спектра; синхронизация SDR; широкополосный сигнал.

A brief version in English is given at the end of the article

Ведение

Цифровая радиочастотная память (ЦРЧП) представляет собой электронный метод цифрового захвата и повторной передачи радиочастотных сигналов. Системы ЦРЧП обычно используются для создания радиолокационных помех. Также ЦРЧП может применяться для создания новой аппаратуры, производящей тестирование радиолокационных станций (РЛС) и систем связи на воздействие радиоэлектронной борьбы (РЭБ) [1].

Особенность системы с ЦРЧП заключается в том, что не требуется с нуля формировать сигнал для воздействия на РЛС противника. Система самостоятельно принимает сигнал и его обрабатывает. Таким образом системы с ЦРЧП являются многофункциональными. Они работают в различных режимах подавление РЛС, включая формирование ложных образов цели [2].

Преимущественное отличие систем ЦРЧП с классическими методами РЭБ состоит в том, что для функционирования системы не требуется высокая мощность. Это позволят сделать систему в разы компактнее в отличие от многих станций постановки помех, в которых для обеспечения достаточной мощности используются крупные системы вторичного питания и системы усиления мощности. Компактность систем ЦРЧП позволяют устанавливать их на различную технику, включая малогабаритные летательные аппараты. Так же на снижение мощности сказывается и то, что объект защиты от РЭБ будет находиться намного ближе к вражеской станции РЭБ, в отличие от стационарного средства противодействия РЭБ. Мощность принятого сигнала можно высчитать с помощью основного уравнения радиолокации:

$$P_r = \frac{P_t G_t S \sigma F^4}{(4\pi)^2 R^4}, \quad (1)$$

где R – расстояние между целью и РЛС, P_r – мощность принятого сигнала, P_t – мощность переданного сигнала, G_t – коэффициент усиления передающей волны, S – эффективная площадь приемной антенны, σ – эффективная площадь рассеивания (ЭПР) цели, F – коэффициент потерь при распространении сигнала.

Зная данную зависимость, можно построить график, на котором показано с какой мощностью нужно отправить сигнал, чтобы его принять с заданной мощностью на единицу. Данный график приведен на рисунке 1.

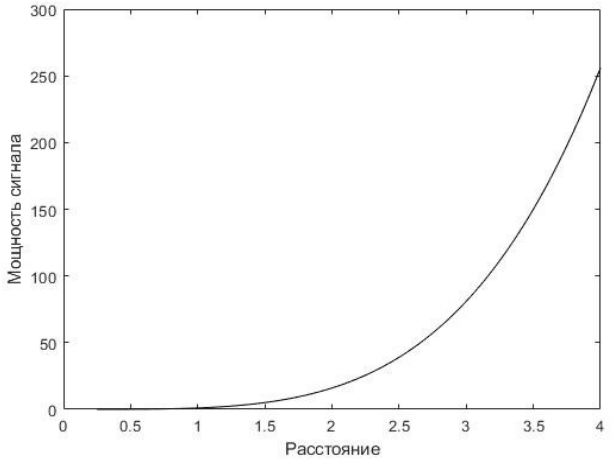


Рис. 1. Зависимость мощности сигнала РЛС от расстояния
Fig. 1. Dependence of radar signal power on distance

При использовании технологии ЦРПЧ сигнал распространяется в определенном направлении. Его мощность будет уменьшаться на квадрат расстояния. Зависимость принятой мощности от расстояния показана на рисунке 2.

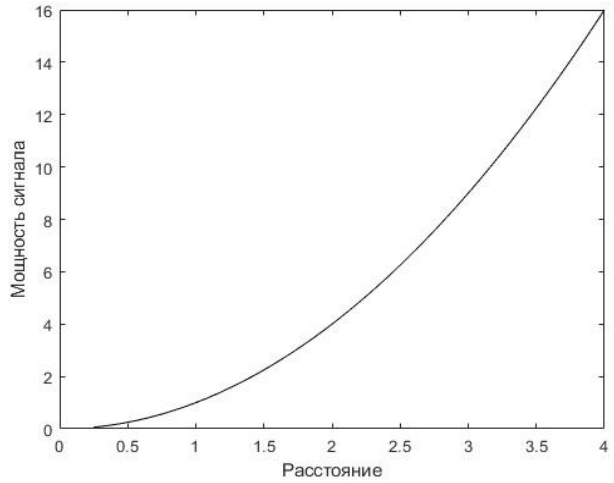


Рис. 2. Зависимость мощности передачи в одну сторону от расстояния
Fig. 2. Dependence of one-way transmission power on distance

Данные графики (рисунки 1 и 2) сделаны в разном масштабе, поэтому для удобства на рисунке 3 они представлены на одном графике.

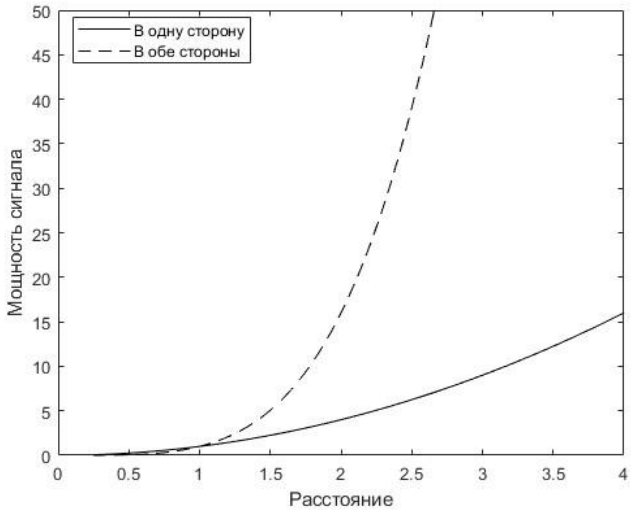


Рис. 3. Зависимости мощностей передачи в одну сторону и в обе от расстояния
Fig. 3. One-way and two-way transmission power dependences on distance

Обзор существующих систем с ЦРЧП

Первые системы с ЦРЧП были разработаны в 1980-х годах. На первых этапах использовалась система, представленная на рисунке 4. Она излучала в сторону РЛС противника копии принятых сигналов с некоторыми изменениями.

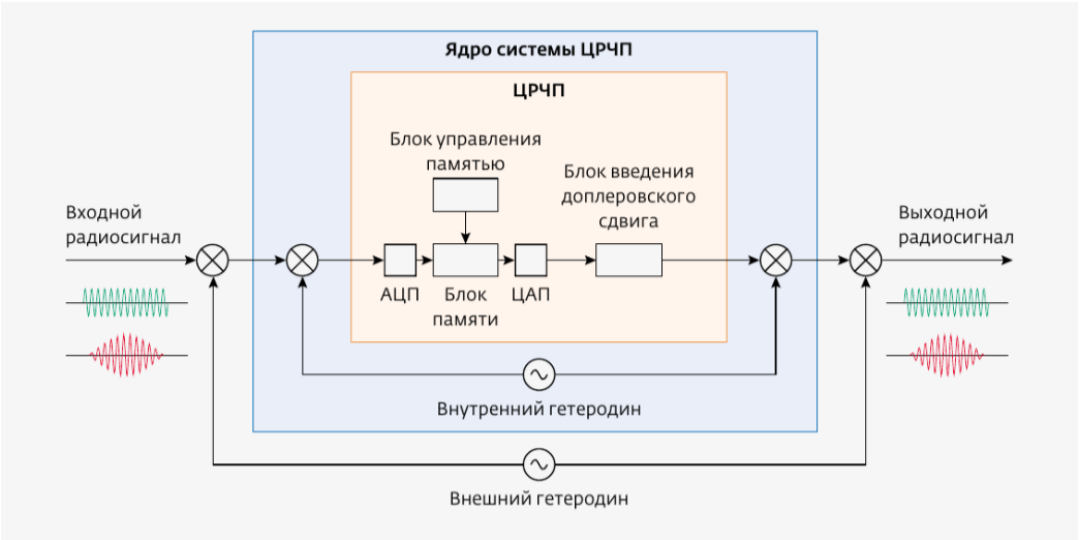


Рис. 4. Система с ЦРЧП, использовавшаяся на ранних этапах для противодействия радарам.
Fig. 4. A system with a DRFM, which was used in the early stages to counteract radars.

С появлением РЛС с более сложной модуляцией импульсов, а именно: частотные и фазовые методы модуляции и манипуляции, начали изменяться системы с ЦРЧП. В таблице 1 приведены характеристики некоторых поколений ЦРПЧ [3].

Таблица 1. Характеристики ЦРПЧ

Характеристика	Поколения устройств и систем ЦРПЧ			
	второе	третье	четвертое	пятое
Частота дискретизации, Гвыб/с	1	1,2	2	5
Разрешение АЦП и ЦАП, бит	8	10	10, 12	10, 12

Мгновенная ширина полосы частот, МГц	400	500	800	2000
Цифровое мгновенное измерение частоты	Нет	Нет	Есть	Есть
Типовая системная задержка, нс	120-250	120-250	70-280	>70

В 2016 году рынок в США модулей и систем с ЦРЧП оценивался в 613,9 млн долларов США, в 2020 рынок оценивался уже в 1222,2 млн долларов США. Увеличение рынка связано с широким внедрением технологии ЦРЧП в военные системы РЭБ, технологическими достижениями в радарах и разработок средств глушения сигналов на основе технологии ЦРЧП.

В 2016 году наибольшая доля рынка ЦРПЧ приходился на Северную Америку, за ней следовала Европа. Рост рынка в Северной Америке связан с увеличением инвестиций, вносимых оборонными ведомствами в разработку технологически продвинутых систем с ЦРЧП.

Ключевыми игроками, работающими на рынке технологий ЦРЧП являются Airbus Group (Нидерланды), Northrop Grumman Corporation (США), Raytheon Company (США), Elbit Systems Ltd (Израиль) и BAE Systems plc (США). В России разработкой систем на основе технологии ЦРЧП занимаются КНИРТИ и ЦНИРТИ им. Берга [3].

Есть два типа реализации систем с ЦРЧП: на основе оперативно запоминающего устройства (ОЗУ (RAM)) и на основе программируемой логической интегральной схемы, функциональная схема которой показана на рисунке 5 [5]. Первый тип реализации применялся в ранних реализациях систем с ЦРПЧ, он может осуществлять только задержку и частотный сдвиг всех принимаемых сигналов. Второй тип реализован на основе программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС). Само устройство уже может осуществлять выборку сигналов и выполнять их обработку в соответствии с нуждами. Благодаря конструкции ПЛИС имеет все основные элементы на одном кристалле, что позволяет существенно уменьшить массогабаритные параметры устройства. Как пример, можно привести модули с ЦРЧП от компании Mistral, который представлен на рисунке 6, и универсальный модуль формирования сигналов, который представлен на рисунке 7.

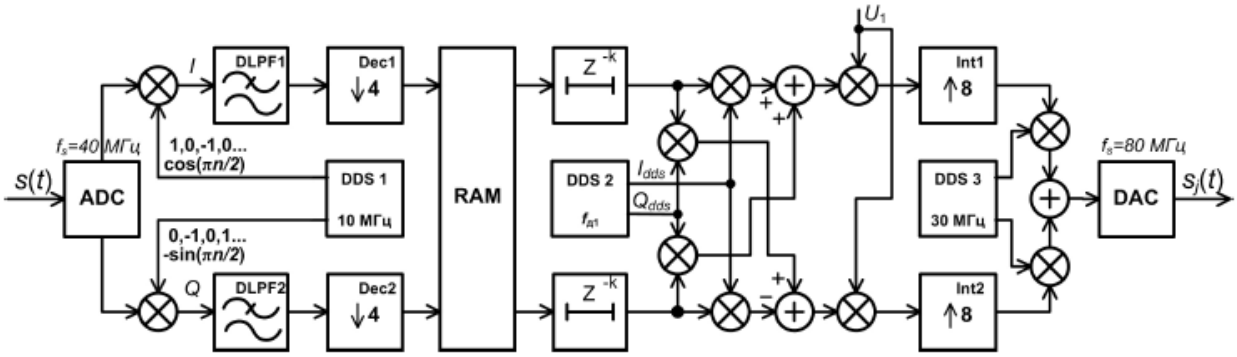


Рис. 5. Функциональная схема системы с ЦРЧП, основанной на ПЛИС
Fig. 5. Functional diagram of the FPGA-based DRFM system

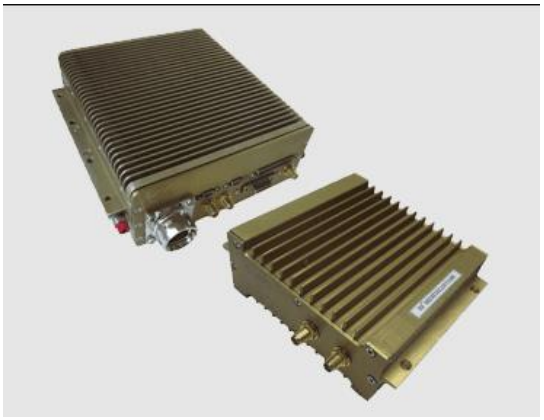


Рис. 6. Модуль с ЦРЧП от компании Mistral
Fig. 6. Module with DRFM from Mistral



Рис. 7. Модуль формирования сигналов
Fig. 7. Signal conditioning unit

Альтернативные способы создания систем с ЦРПЧ

Системы с ЦРПЧ так же могут реализоваться на основе программно-определяемых радиосистем (SDR), в которых присутствует цифровая память. Однако, максимальная ширина полосы пропускания ограничивается частотой дискретизации аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и тактовой частотой центрального процессора [6]. К примеру, SDR платформа HackRF One, которая изображена на рисунке 8, имеет максимальную частоту дискретизации в 22 МГц, так как это максимальная тактовая частота ЦАП/АЦП MAX5864, при этом тактовая частота процессора составляет 204 МГц [7]. К сравнению, у ПЛИС Intel Max 10 частота встроенного АЦП составляет 1 ГГц [8]. Но если сравнивать по стоимости, то HackRF оказывается дешевле Intel MAX 10.



Рис. 8. Внешний вид HackRF One
Fig. 8. Appearance of HackRF One

Чтобы достичь ширину пропускания такую же как у ПЛИС Intel Max 10, можно использовать цифровое увеличение полосы приема радиосигнала. HackRF One имеет встроенный гетеродин, благодаря чему может настраиваться на разные частоты в диапазоне

от 2 МГц до 6 ГГц [9]. Также можно реализовать систему приема информации, основанную на нескольких устройствах. Каждое устройство будет принимать свой частотный диапазон, которые с помощью специального ПО, установленного на компьютере, можно объединить

Помимо HackRF можно использовать SDR платформу BladeRF, которая представлена на рисунке 9. Некоторые модели этой платформы имеют два канала с полосой пропускания 64 МГц со встроенной возможностью объединения этих каналов. В качестве процессора обработки сигнала используется ПЛИС от компании Altera (Intel) Cyclone IV и Cyclone V [10]. Аналогом BladeRF от компании Ettus Research можно считать платформу USRP (Universal Software Radio Peripheral), которая представлена на рисунке 10. В отличии от BladeRF в USRP используются ПЛИС от компании Xilinx (AMD) [11]. Из-за своей дороговизны пропадает целесообразность их использовать. К тому же ключевой особенностью USRP является то, что рекомендованной средой разработки является программа LabVIEW со собственным языком программирования «G».

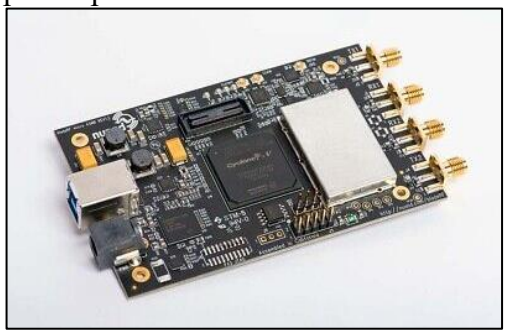


Рис. 9. SDR платформа BladeRF
Fig. 9. BladeRF SDR platform



Рис. 10. SDR платформа USRP
Fig. 10. USRP SDR platform

Цифровое расширение спектра в GNU Radio

В программном пакете GNU Radio сигнал, полученный с помощью SDR платформы, представляется в комплексной форме и может описываться следующей формулой [12]:

$$s(t) = A_s(t)cos(\omega_0 t) - jB_s(t)sin\omega_0 t = U_s(t)e^{j\omega_0 t} \quad (2)$$

Соответственно все последующие преобразования сигнала происходят в комплексной форме. Так же нужно учитывать, что GNU Radio переносит центральную частоту на нулевую частоту. Если программа обрабатывает сигнал с двух устройств с разными центральными полосами, то она не поймет, что считает и что у двух сигналов должна быть разная центральная частота. Данный процесс показан на рисунке 11. Для разнесения частот можно сложить сигнал с комплексным гармоническим сигналом.

$$s'(t) = U_s(t)e^{jw_0 t} * e^{\pm jwt} = U_s(t)e^{j(w_0 \pm w)t} \quad (3)$$

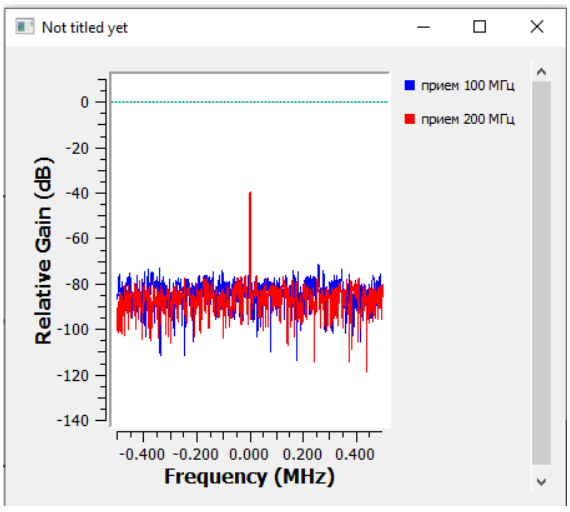


Рис. 11. Отображение полученного с двух устройств спектра
Fig. 11. Displaying the spectrum received from two devices

В этом случае сигнал сдвигается в право от нуля, так как перемножения происходит с гармоническим сигналом с отрицательной частотой. Аналогично можно осуществить сдвиг влево при перемножении сигнала с гармоническим сигналом с положительной частотой. При данных действиях нет изменений информационной части сигнала.

На рисунках 12 и 13 представлены результаты математического моделирования и моделирования в программе GNU Radio соответственно.

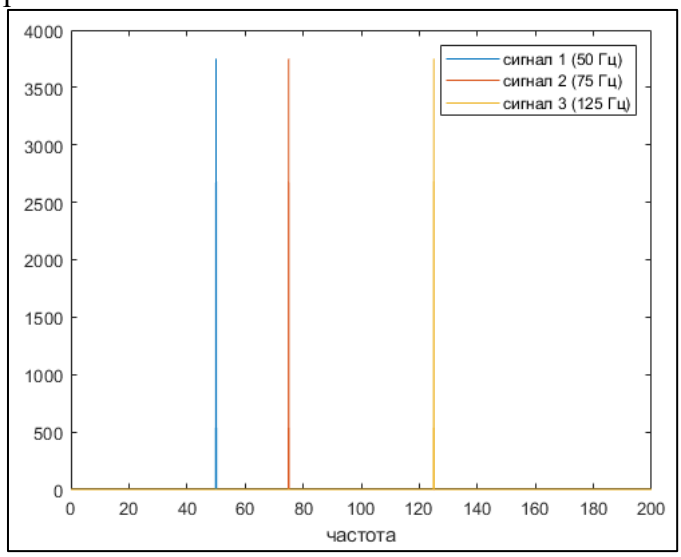


Рис. 12. Математическое моделирование
Fig. 12. Mathematical modelling

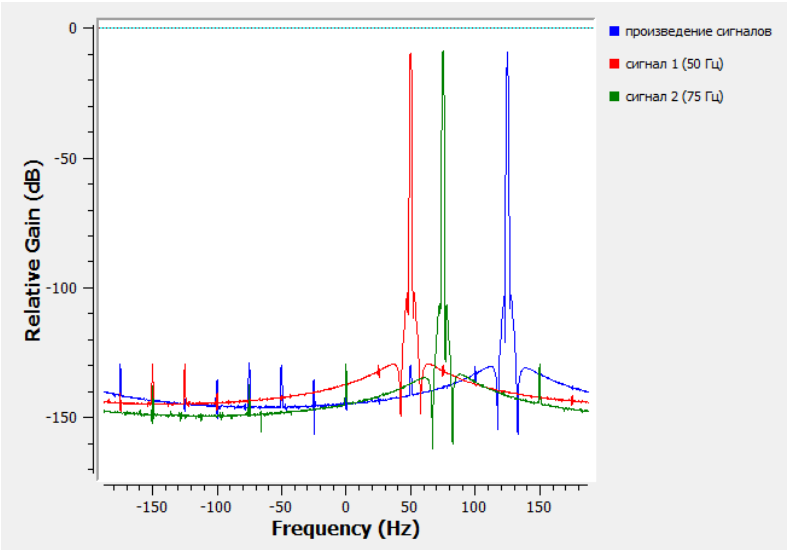


Рис.13. Моделирование в программе GNU Radio
Fig. 13. Modelling in GNU Radio software

Учитывая это, можно составить следующую схему для реализации цифрового расширения спектра. Она изображена на рисунке 14. На рисунке 15 изображена реализация данной схемы в программе GNU Radio.

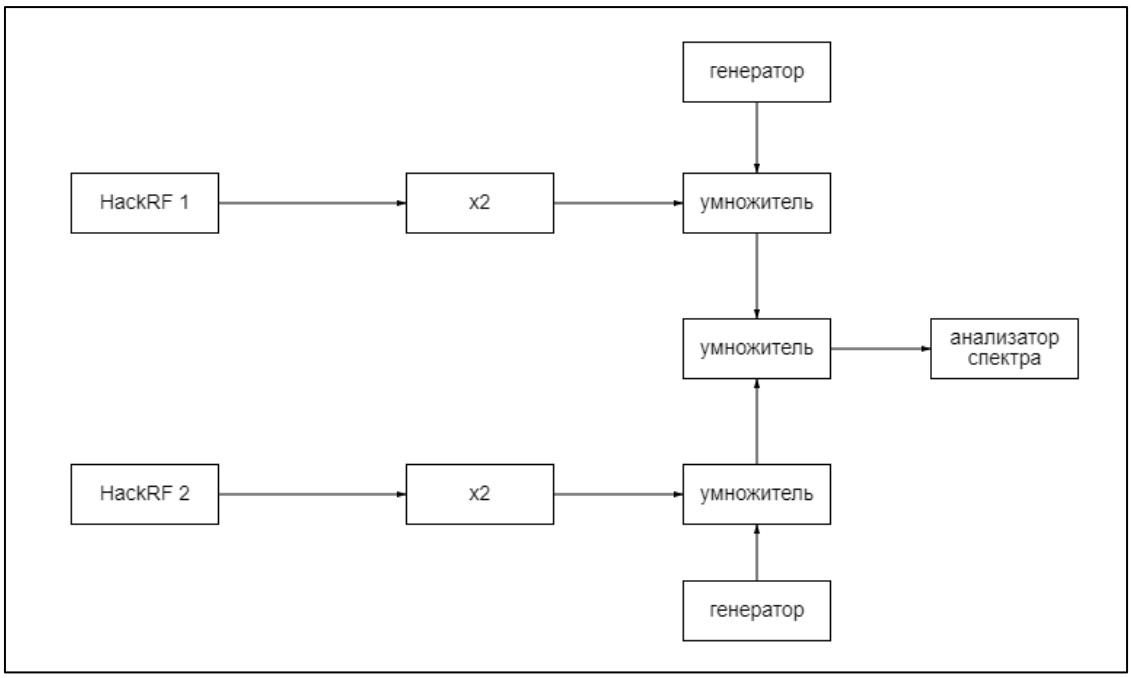


Рис. 14. Схема реализации системы расширения спектра
Fig. 14. Schematic diagram of spectrum expansion system realisation

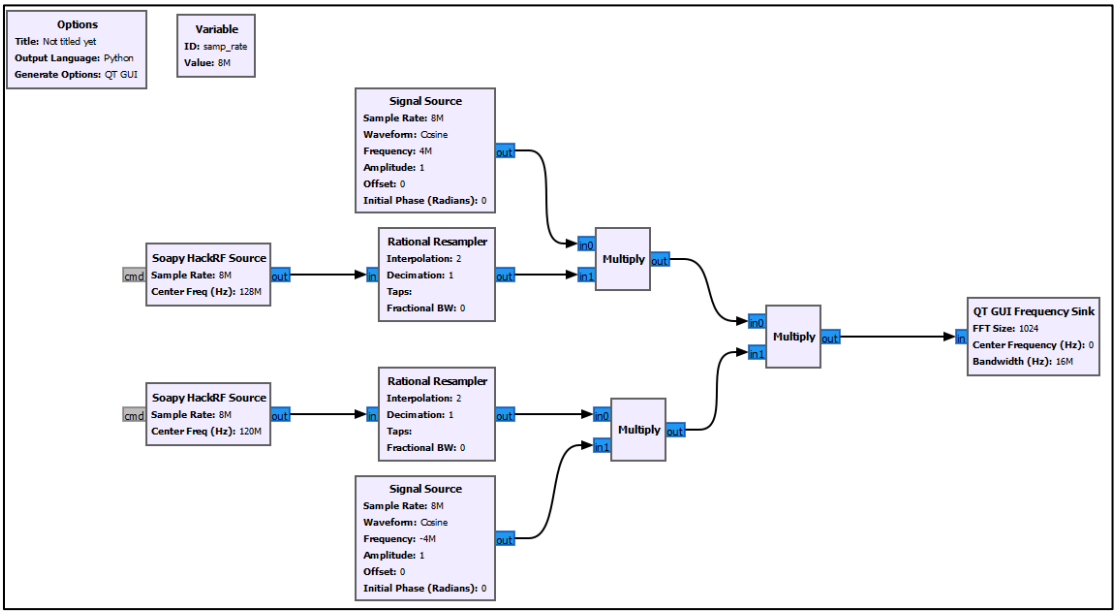


Рис. 15. Реализация схемы в программе GNU Radio
Fig. 15. Implementing the circuit in GNU Radio software

Для выставления частоты для каждого устройства нужно учитывать, что центральная частота должна находиться на стыке полос пропускания двух устройств. Для определения центральных частот приемных устройств необходимо воспользоваться следующими формулами:

$$f_{01} = f_0 + \frac{f_s}{2} \quad (4)$$

$$f_{02} = f_0 + \frac{f_s}{2} \quad (5)$$

где f_{01} – центральная частота первого устройства, f_{02} – центральная частота второго устройства, f_0– центральная частота, f_s – частота дискретизации.

Интерполяция входного сигнала необходима для обхода ограничений, которые накладываются теоремой Котельникова. При сдвиге спектра его низкочастотная составляющая переносится во вторую зону Найквиста, то есть переходит в высокочастотную или в низкочастотную области в зависимости от сдвига вниз или вверх по частоте соответственно [13].

Практическая реализация расширения спектра

Для практической реализации потребуются две SDR платформы HackRF. Для проверки работоспособности системы потребуется генератор радиочастоты. Корректность работы всей системы зависит от синхронизации двух устройств. SDR платформы HackRF можно синхронизировать за счет использования внешнего тактового генератора. При этом в качестве тактового генератора может выступать сама SDR-платформа, что значительно упрощает разработку таких систем. На рисунке 16 представлен испытательный стенд.

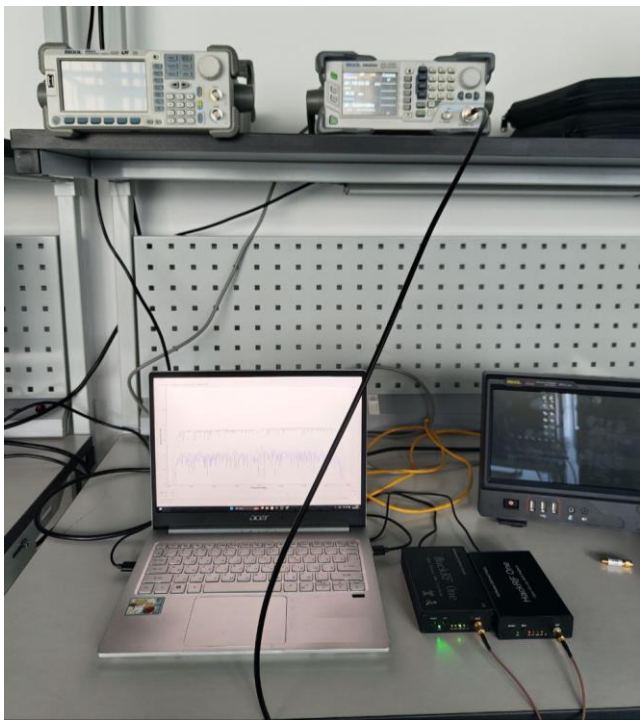


Рис. 16. Испытательный стенд
Fig. 16. Test bench

Результат работы представлен на рисунке 17. Спад спектра на центральной (нулевой) частоте объясняется использованием фильтра низких частот, который используются в программе обработки сигналов для предотвращения появления дополнительных зон Найквиста.

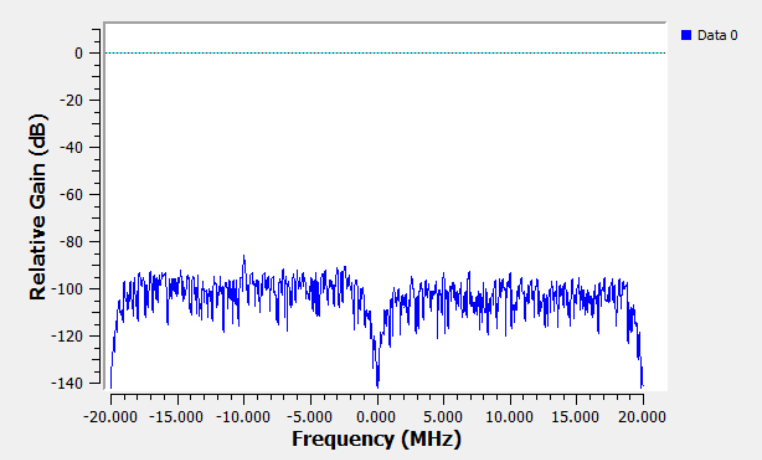


Рис. 17. Результат работы испытательного стенда
Fig. 17. Test bench result

Для проверки работоспособности системы было произведено измерение путем изменения частоты внешнего генератора с последующим удержанием максимального значения сигнала (рисунок 18).

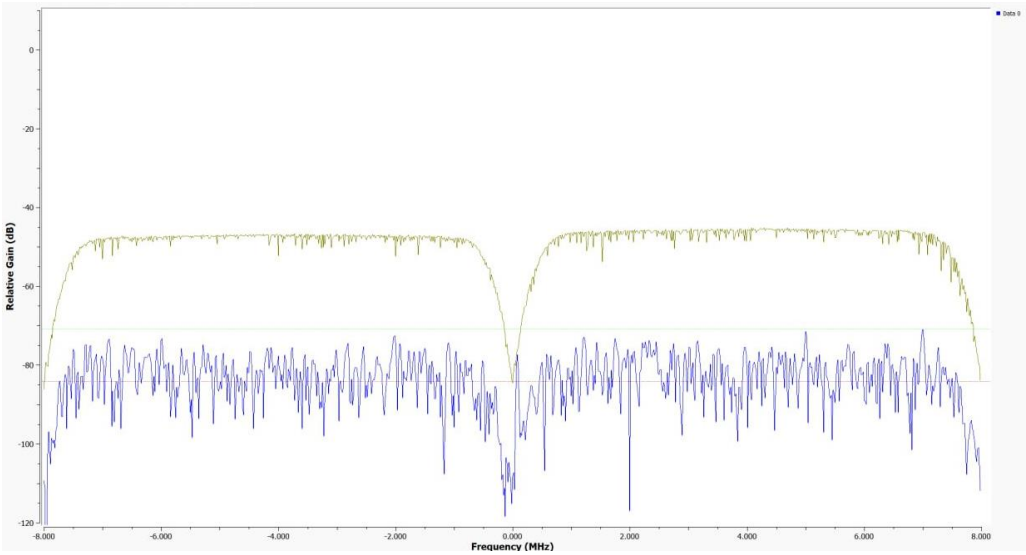


Рис. 18. Результат работы системы во время проверки на работоспособность (Синий- текущее значение мощности на частоте, оливковый – максимальное удержанное значение мощности при изменении частоты генератора)
Fig. 18. The result of system operation during the performance test (blue - current power value at frequency, olive - maximum held power value during generator frequency change)

Вывод

В результате проведенного исследования успешно разработана система цифрового расширения спектра, которая может применяться в следующих сферах: системы сверхширокополосной связи, радиолокационные системы, радионавигационные системы на основе сверхширокополосных сигналов, системы радиоэлектронной борьбы.

Аппаратные ограничения системы позволяют использовать её на частотах до 6 ГГц с максимальной полосой приёма до 40 МГц. При этом имеется возможность дальнейшего увеличения полосы пропускания путём добавления дополнительных приёмных устройств и их синхронизации [14].

Система реализована на базе двух SDR-платформ HackRF и программной среды GNU Radio. Предложенный метод цифрового расширения спектра позволяет эффективно объединять частотные диапазоны разных устройств с сохранением целостности и

информативности сигнала. Проведённое моделирование и экспериментальная проверка подтвердили работоспособность и перспективность предложенного подхода.

Разработанная архитектура обеспечивает компактность, универсальность и масштабируемость системы, что делает её применимой как для исследований, так и для практического использования в современных радиотехнических комплексах.

Список источников

1. *Молчанов В.Ф., Шитов И.В.* Радиоэлектронная борьба: учебник для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2015. – 320 с.
2. *Skolnik M.I.* Introduction to Radar Systems. – 3rd ed. – McGraw-Hill, 2002. – 772 p.
3. *Егоров, Н.* Технология цифровой радиочастотной памяти и ее применение в системах РЭБ / Н. Егоров, В. Кочемасов // Электроника: Наука, технология, бизнес. – 2016. – № 10(160). – С. 62-71. – EDN XEFHCD.
4. *Водолацкий А.В., Зубков С.Ю.* Цифровая радиочастотная память: особенности и перспективы применения // Вестник РЭБ. – 2019. – № 1(27). – С. 15–21.
5. *Ростов, А. А.* Применение технологии DRFM для формирования высокоэффективных сигналоподобных помех / А. А. Ростов, Д. А. Шарамет // Информационные технологии и системы 2014 (ИТС 2014) : материалы международной научной конференции, БГУИР, Минск, Беларусь, 29 октября 2014 г. – Information Technologies and Systems 2014 (ITS 2014) : Proceeding of The International Conference, BSUIR, Minsk, 29th October 2014 / редкол. : Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск : БГУИР, 2014. – С. 310–311.
6. *Коновалов А.А.* Программно-определяемая радиосвязь (SDR): принципы построения и область применения // Радиоэлектроника. – 2020. – № 2. – С. 45–50.
7. *Плотников В.В., Тимофеев А.Г.* Применение SDR-платформ в системах радиотехнического мониторинга // Вестник РТУ МИРЭА. – 2021. – Т. 11, № 1. – С. 89–94.
8. Intel Corporation. MAX 10 FPGA Device Overview. – Intel, 2021. – 40 с. – (Technical Product Specification).
9. Great Scott Gadgets. HackRF One – Specifications and Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://greatscottgadgets.com/hackrf/ – Дата обращения: 09.04.2025.
10. *Nuand LLC*. BladeRF SDR platform. Technical Overview [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.nuand.com/bladerf/ – Дата обращения: 09.04.2025.
11. Ettus Research. USRP Hardware Driver and UHD Manual [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ettus.com – Дата обращения: 09.04.2025.
12. GNU Radio. Официальная документация [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://wiki.gnuradio.org – Дата обращения: 09.04.2025.
13. *Proakis J.G., Manolakis D.K.* Digital Signal Processing: Principles, Algorithms, and Applications. – 4th ed. – Pearson Education, 2006. – 1080 p.
14. *Mahmoud S.A.* Cognitive Radio: Concepts, Technology, and Applications. – Springer, 2018. – 392 p.

RESEARCH AND IMPLEMENTATION OF THE DIGITAL SPECTRUM EXTENSION METHOD IN SDR SYSTEMS

E.A. Panov [1], **A.P. Klopova** [2], **E.A. Chistiakov**[3]
[1–2] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1]panov_e@mirea.ru, [2]klopova@mirea.ru, [3]chistyakov@mirea.ru

Abstract

The article addresses the relevant problem of overcoming hardware limitations in software-defined radio (SDR) systems when receiving wideband signals. With the increasing demands of radar, communication, and electronic warfare systems for wider reception bandwidths, conventional SDR platforms often fall short due to restricted sampling rates and internal processing speeds. The aim of the study is to develop and implement a digital spectrum expansion system based on multiple synchronized SDR platforms (HackRF) using GNU Radio, allowing for scalable signal reception across an extended frequency range. The proposed method utilizes digital frequency shifting to combine signals from different SDR devices, enabling the reception of wider bandwidths than a single device can handle. Simulation and practical experiments confirmed the operability of the approach. The results demonstrate the feasibility of building flexible and cost-effective wideband reception systems using available SDR hardware. The developed method can be applied in radar, communication, and electronic warfare systems, enhancing their adaptability and efficiency.

Keywords

Digital radio frequency memory (DRFM); software-defined radio (SDR); GNU Radio; HackRF; spectrum expansion; digital signal processing; radar systems; electronic warfare (EW); frequency shifting; SDR synchronization; wideband signal.

УДК 629.052.3

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЛОКАЛЬНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ И НАВИГАЦИИ НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ESP32

Е. А. Панов[1], А. П. Клопова[2], Е.А. Чистяков[3], Мордовин А.А.[4]
[1–4]МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1]panov_e@mirea.ru, [2]klopova@mirea.ru, [3]chistyakov@mirea.ru, [4]mordovin.a.a@edu-mirea.ru

Аннотация

В статье представлена реализация алгоритма позиционирования мобильного объекта (маяка) на основе трилатерации, использующей значения RSSI от трех Wi-Fi точек доступа. Приводится описание математической модели, особенности калибровки, экспериментальные результаты и сравнение с методом триангуляции. Обоснована применимость трилатерации в условиях ограниченного оборудования. Работа сопровождается ссылками на современные исследования и разработки в области беспроводного позиционирования.

Ключевые слова

Позиционирование, трилатерация, RSSI, Wi-Fi, координаты, триангуляция, ESP32.

A brief version in English is given at the end of the article

Ведение

Проблема позиционирования объектов внутри помещений (Indoor Positioning) является одной из актуальных задач в сфере автоматизации, логистики, робототехники и систем умного дома [1, 2]. В условиях, где отсутствует доступ к спутниковым системам навигации (GPS/ГЛОНАСС), предлагаются альтернативные методы, среди которых особое внимание уделяется радиочастотным технологиям на базе Wi-Fi, BLE и UWB [3].

Одним из простых и аппаратно-независимых методов является трилатерация, которая, в отличие от триангуляции, не требует измерения углов, а лишь расстояний до заранее известных точек [4]. В данной работе реализован программный комплекс на базе Wi-Fi модулей ESP32, использующий измерения уровня RSSI для определения координат маяка.

Теоретическая основа трилатерации

Метод трилатерации основывается на решении системы уравнений, описывающих окружности с центрами в координатах Wi-Fi точек доступа и радиусами, равными расстояниям до маяка. В двумерной системе координат решение представляет собой точку пересечения трех окружностей, которые представлены на рисунке 1 [5]:

$$a_i = -2x_i, b_i = -2y_i, c_i = x_i^2 + y_i^2 - r_i^2, i = 1,2,3; \quad (1)$$

$$x = \frac{(c_1 - c_3)\cdot(b_1 - b_2) - (c_1 - c_2)\cdot(b_1 - b_3)}{(a_1 - a_2)\cdot(b_1 - b_3) - (a_1 - a_3)\cdot(b_1 - b_2)}; \quad (2)$$

$$y = \frac{(c_1 - c_3)\cdot(a_1 - a_2) - (c_1 - c_2)\cdot(a_1 - a_3)}{(b_1 - b_2)\cdot(a_1 - a_3) - (b_1 - b_3)\cdot(a_1 - a_2)}. \quad (3)$$

Здесь x_i, y_i – соответственно координаты опорных точек участвующих в расчете позиции приемника (потребителя), а x и y – искомые координаты позиционируемого объекта.

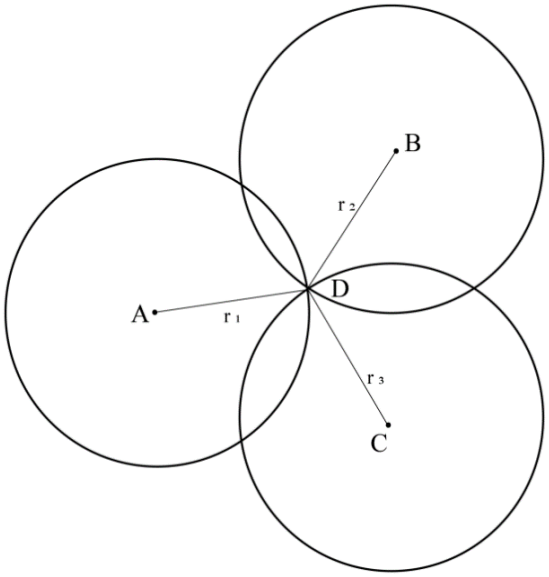


Рис 1. Окружности для определения координат
Fig. 1. Circles for determining coordinates

Архитектура программного комплекса

Программный модуль реализован на платформе ESP32, которая подключается последовательно к трем Wi-Fi точкам доступа. Используется библиотека WiFi.h, функции WiFi.begin() и WiFi.RSSI() с повторным сканированием через интервалы 200 мс. Координаты точек заданы заранее и сохраняются в памяти устройства.

RSSI измеряется многократно для каждой точки и усредняется для минимизации шумов и переотражений. Дополнительно применяется медианная фильтрация. Полученные расстояния служат входными параметрами для расчетного блока трилатерации, реализованного на C++ с использованием метода наименьших квадратов (если окружности не пересекаются идеально) [7].

Для повышения точности была проведена калибровка: маяк устанавливался на расстояние 1 метр от каждой станции, и за 30 секунд снимались значения RSSI. Полученные данные позволили определить значение A для формулы преобразования RSSI в расстояние.

$$r = 10^{\frac{A-RSSI}{10 \cdot n}} \quad (4)$$

Экспериментальная часть

Проводились испытания в лабораторных условиях. Целью эксперимента являлось подтверждение работоспособности метода трилатерации на практике, оценка точности определяемых координат, а также выявление факторов, влияющих на результат. Был изготовлен тестовый стенд, который представлял из себя три точки доступа ESP32, расположенные в вершинах равностороннего треугольника со стороной 3 метра. Маяк устанавливался в центр, а также в несколько известных точек внутри треугольника, схема расположения показана на рисунке 2. В роли маяка использовался четвёртый ESP32, настроенный на поочерёдное подключение к каждой из трёх точек доступа. В каждой точке проводился цикл измерений, и определялись координаты при помощи алгоритма трилатерации. В ходе каждого замера маяк фиксировался на месте и не перемещался в течение всего цикла сканирования. Результаты сравнивались с реальными координатами, полученными с помощью физических средств измерений. Средняя погрешность не превышала 25 см.

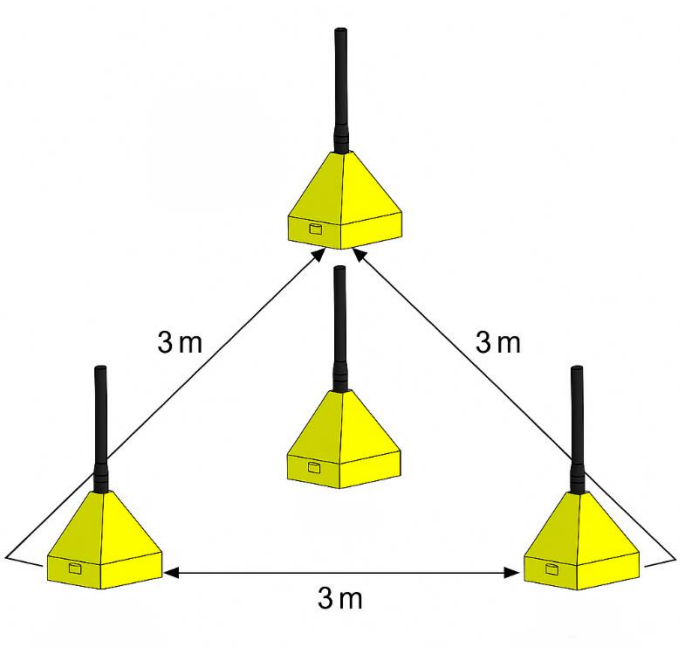


Рис. 2. Схема расположения маяков
Fig. 2. The layout of lighthouses

В отдельной серии экспериментов исследовалось влияние препятствий (деревянные и металлические объекты) между станциями и маяком. Благодаря усреднению и фильтрации сигналов погрешность возрастала незначительно (до 35–40 см) [8].

Для сопоставления был реализован алгоритм триангуляции, в котором требуется определение углов между маяком и базовыми станциями. Однако из-за отсутствия направленных антенн и высокой чувствительности к шумам, погрешность составила от 50 до 70 см [9]. Это подтверждает ограниченность применения триангуляции с Wi-Fi модулями общего назначения.

Перспективы

Результаты демонстрируют, что метод трилатерации может быть успешно применён в условиях ограниченных вычислительных и аппаратных ресурсов. Возможные улучшения включают:

- Использование фильтра Калмана [10];
- Переход на BLE или UWB с точностью до 10 см [11];
- Расширение алгоритма до трехмерного позиционирования [12].

Также перспективно объединение нескольких методов (гибридные подходы), включая машинное обучение для предсказания координат по RSSI [13].

Заключение

В работе реализован и протестирован алгоритм позиционирования на основе трилатерации с использованием Wi-Fi сигналов. Результаты экспериментов подтверждают эффективность метода при правильной калибровке и геометрии размещения. Алгоритм продемонстрировал устойчивость к переотражениям и шумам, что делает его применимым для задач позиционирования внутри помещений.

Список источников

1. *Зотов, В.Н., Малышев, А.В.* Системы навигации и позиционирования. — М.: Горячая линия — Телеком, 2020. — 276 с.
2. *Liu H., Darabi H., Banerjee, P.& Liu, J.* Survey of wireless indoor positioning techniques and systems // IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics. — 2007. — Vol. 37(6). — P. 1067–1080.
3. *Gezici S.* A survey on wireless position estimation // Wireless Personal Communications. — 2008. — Vol. 44(3). — P. 263–282.
4. *Zhang Z., Wang, H. & Xie L.* Trilateral localization using distance measurements // IEEE Sensors Journal. — 2016. — Vol. 16(10). — P. 3427–3434.

5. *Джемалетдинов, А.М.* Геометрические методы навигации. — Казань: Казанский университет, 2017. — 145 с.
6. *Rappaport T.,* Wireless Communications*:* Principles and Practice. — 2nd ed. — Prentice Hall, 2002.
7. *Bahl P. & Padmanabhan V.N. RADAR:* An in-building RF-based user location and tracking system // IEEE INFOCOM. — 2000.
8. *Kotanen, A. et al.* Experimenting indoor positioning with active RFID // Proc. of the First IEEE Int. Conf. on Pervasive Computing. — 2003.
9. *Zanca, G. et al.* Experimental comparison of RSSI-based localization algorithms for indoor wireless sensor networks // Proc. REALWSN'08. — 2008.
10. *Foxlin, E.* Pedestrian tracking with shoe-mounted inertial sensors // IEEE Computer Graphics and Applications. — 2005. — Vol. 25(6). — P. 38–46.
11. *Alarifi, A. et al.* Ultra-wideband indoor positioning technologies: Analysis and recent advances // Sensors. — 2016. — Vol. 16(5). — 707.
12. *Alam N. & Dempster A.G.* Indoor localization using inertial navigation with particle filter // Proc. IGNSS. — 2007.
13. *Nowicki M. & Wietrzykowski J.* Low-effort place recognition with Wi-Fi fingerprints using deep learning // Sensors. — 2017. — Vol. 17(12). — 2921.

RESEARCH AND IMPLEMENTATION OF THE DIGITAL SPECTRUM EXTENSION METHOD IN SDR SYSTEMS

E.A. Panov [1], **A.P. Klopova** [2], **E.A. Chistiakov**[3], **A.A. Mordovin**[4]

[1–4] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)

[1]panov_e@mirea.ru, [2]klopova@mirea.ru, [3]chistyakov@mirea.ru, [4]mordovin.a.a@edu-mirea.ru

Abstract

The article presents the implementation of a mobile object (lighthouse) positioning algorithm based on trilateration using RSSI values from three Wi-Fi access points. The mathematical model is described, calibration features, experimental results, and comparison with the triangulation method. The applicability of trilateration in conditions of limited equipment is substantiated. The work is accompanied by references to modern research and development in the field of wireless positioning.

Keywords

Positioning, trilateration, RSSI, Wi-Fi, Coordinates, Triangulation, ESP32.

УДК 621.37

МЕТОД КВАЗИОПТИМАЛЬНОГО СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА АДАПТИВНЫХ АЛГОРИТМОВ СИСТЕМ СИНХРОНИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ В УСЛОВИЯХ ВОЗМУЩЕНИЙ

М.Ю. Повасин[1]
[1]АО «Корпорация космических систем специального назначения «Комета» (Москва, Россия)
[1]povasin@corpkometa.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Одной из основных проблем радиоэлектроники является генерирование высокостабильных электрических колебаний. Сложность аппаратурной реализации устройств прямого частотного синтеза (высокая стоимость изготовления умножителей и смесителей частоты, невозможность получения колебания с изменяемым в процессе работы значением частоты) не позволяет широко применять их на практике. Поэтому при проектировании реальных радиоэлектронных систем применяются синтезаторы стабильных электрических колебаний на основе системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ).

Цель. Выполнить структурный синтез системы ФАПЧ с использованием близких к оптимальным решений экстремальных задач типа «оптимальное быстродействие» при требовании минимальной мощности управляющего напряжения.

Результаты. Рассмотрены условия, которые позволяют предложить упрощенную модель системы ФАПЧ с однозвенным сглаживающим *RC*-фильтром. На основе этой модели решена задача структурного синтеза радиотехнических систем синхронизации, формализованная как задача синтеза управления по критерию быстродействия при ограничении на мощность управляющего напряжения.

Практическая значимость. Разработанный метод позволяет выполнять квазиоптимальный структурный синтез радиотехнических систем синхронизации, функционирование которых не сопровождается релейным характером изменения управляющего напряжения.

Ключевые слова

Аппроксимация, быстродействие, переходной режим, синхронизация, фазовая автоподстройка частоты.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Необходимость начальной быстрой фазовой автоподстройки частоты, например, в низкоорбитальной спутниковой системе Iridium, связана с увеличением количества пользователей, приходящихся на один космический аппарат и восстановлением связи при возможных срывах. При этом известно, что на когерентную обработку радиосигнала влияет как доплеровская частота, так и значение фазы в момент первоначальной подстройки. Отсюда следует требование, что с учётом необходимости обслуживания большого количества абонентов в режиме разделения по времени, необходимо определять доплеровскую частоту и начальную фазу вхождения в режим когерентной обработки за минимально короткое время, и это условие является определяющем в способе обработке и выборе конструктивного решения.

При этом методологической основой синтеза ФАПЧ [1, 2] для режимов захвата частоты является теория оптимального управления. Это требует решения задачи быстродействия, но синтезированные таким образом алгоритмы синхронизации не адаптированы для функционирования в условиях возмущений.

Традиционные решения в условиях нормальных шумов наблюдений имеют структуру фильтра Калмана [3], который дает точную оценку только тогда, когда модель измерения и модель состояния объекта являются линейными и определены параметры формирующих гауссовских шумов. Кроме того, возникающие при оценке параметров [4] и состояния нелинейных систем проблемы обеспечения сходимости и устойчивости алгоритма,

усугубляются тем, что внешние воздействия часто сложно описать моделями марковского типа из-за отсутствия информации об их параметрах, а размерность вектора состояния для систем, с которыми в настоящее время приходится работать, становится очень высокой.

Попытки решения указанных проблем предпринимались в направлении синтеза субоптимальных фильтров и использования метода стохастической аппроксимации, не требующих информации о законах распределения параметров внешних воздействий. Однако простота алгоритмов, построенных на основе этих методов, неизбежно приводит к снижению эффективности их функционирования.

Синтез систем синхронизации для режимов захвата частоты традиционными методами приводит к релейным режимам функционирования [5, 6], что на практике не желательно. Проведенные [7] исследования показали, что одним из резервов дальнейшего повышения эффективности алгоритмов оценки параметров динамических систем является использование естественных, природных свойств объекта в виде вариационных принципов. Представленные в [8–10] результаты подтвердили конструктивность такого подхода в смысле простоты структуры получаемых решений в совокупности с возможностью учета разнообразных ограничений.

Цель работы – выполнить синтез и исследование алгоритма синхронизации с использованием близких к оптимальным решений экстремальных задач типа «оптимальное быстродействие» в условиях возмущений [11].

При значительных объемах обрабатываемых данных выигрыш в быстродействии системы ФАПЧ может обеспечить существенное улучшение экономических показателей систем передачи информации [12].

Постановка задачи

Пусть исходный входной сигнал поступает с выхода усилителя промежуточной частоты на фазовый дискриминатор и представляет собой аддитивную смесь полезного сигнала и шума:

$$y = exp[j(wt + \varphi + n_1)] + n_2, \quad (1)$$

где $w = 2\pi f$; f – частота сигнала; φ – фаза сигнала; n_1 – Винеровский процесс, n_2 – случайная величина с известными локальными характеристиками.

Математическую модель системы ФАПЧ можно описать дифференциальным уравнением 2-го порядка [13, 14]:

$$K_0 \frac{d^2}{dt^2} q = \Delta\omega - \frac{d}{dt} q - K_1 K_2(q)\, sin(q) + u, \qquad q(0) = q_0, \quad \frac{d}{dt} q(0) = \dot{q}_0, \quad (2)$$

где K_0 – постоянная времени фильтра нижних частот, расположенного между фазовым дискриминатором и подстраиваемым генератором; $q = \varphi - \varphi_{\text{ГУН}}$ – текущее фазовое рассогласование между входным сигналом с фазового детектора φ и сигналом подстраиваемого генератора $\varphi_{\text{ГУН}}$ (генератора управляемого напряжением); $\Delta\omega$ – начальная частотная расстройка между входным сигналом и сигналом подстраиваемого генератора; K_1 – коэффициент петлевого усиления системы; K_2 – комплексный коэффициент передачи петлевого фильтра; u – управляющее напряжение.

Традиционно рассматривают ситуацию, когда $K_0 \to 0$, $K_2(q) = 1$, т.е. предполагается отсутствие фильтров в структуре ФАПЧ и вместо уравнения (2) можно использовать дифференциальное уравнение 1-го порядка. В этом случае, применив метод фазовых траекторий изображающей точки на фазовом портрете системы, получим систему синхронизации, оптимизированную для переходного режима [5]:

$$\frac{d}{dt}q = \Delta\omega - \text{sign}[cos(q)]K_1\frac{d}{dt}sin(q) - \text{sign}\left(\frac{d}{dt}q\right)2K_1\sum_i\left\{\int[\delta\, cos(q-q_i)]dt\right\}, \quad (3)$$

где $q_i = \pm i\pi$, $i = 1,2,3$ ...; δ – параметр.

Структура ФАПЧ (3) отвечает принципу максимума Л.С. Понтрягина, но ее релейный характер обуславливает трудности практической реализации, связанные с неточностями моментов времени смены знака корректирующих воздействий, а также мощностью соответствующих сигналов, что может повлечь за собой повышенные требования к электронной компонентной базе соответствующего устройства, в частности, к коммутатору полярности. Следовательно, для оптимизации с использованием упрощенной математической модели необходимо найти квазиоптимальные решения задачи структурного синтеза ФАПЧ.

Поскольку уравнение (2) не требует каких-либо упрощающих гипотез, запишем оптимизированную по быстродействию обобщенную структуру ФАПЧ [12] вида:

$$K_0\frac{d^2}{dt^2}q = \Delta\omega - \frac{d}{dt}q - K_1K_2(q)\sin(q) - K_3\text{sign}\left(\mu\frac{d}{dt}q + q\right), \quad (4)$$

где K_3 – параметр, зависящий от ширины полосы захвата ФАПЧ и ограничения на корректирующую обратную связь; μ – определяющая обратную связь функция, методы построения которой приведены в [4, 6–9, 12].

Очевидно, что решение (3) в приведенной форме имеет недостатки, сопутствующие уравнению (2). Для исключения релейного характера управляющего напряжения можно использовать различные функции насыщения, но построенная таким образом обратная связь будет структурно-сложной.

Зададим для параметров (3) следующие условия:

$$K_0^{-1} \to 0,\ K_0^{-1}K_1K_2(q) = K,\ K_0^{-1}K_3 = |u|, \quad (5)$$

где $|u|$ – максимальное значение управляющего напряжения.

В соответствии с (5) полагаем, что существенное влияние на результаты синхронизации оказывает RC-фильтр. Тогда уравнение (4) преобразуется к виду:

$$\frac{d^2}{dt^2}q = -Kq - |u|\text{sign}\left(\mu\frac{d}{dt}q + q\right), \quad (6)$$

Отметим, что структура ФАПЧ (5) представляет собой результат синтеза из условия минимума квадратичного функционала [12]:

$$J = \int_{t_0}^{t_1} q^2 dt \quad (7)$$

где t_1 и t_0 – соответственно время начала и окончания процесса синхронизации (в (1) $t_0 = 0$).

Возможность использования функционала (6) для приближенного решения задач быстродействия обоснована в [15], где была поставлена задача квазиоптимального структурного синтеза радиотехнических систем синхронизации:

$$\frac{d^2}{dt^2}q = -Kq - u,\ u \in \overline{G}. \quad (8)$$

по критерию быстродействия (например, для режима захвата частоты системы ФАПЧ [16, 17]):

$$J = \int_{t_0}^{t_1} dt \quad (9)$$

при ограничениях, следующих из условия [4, 6–9, 12]:

$$\max_{u\in\overline{G}}\left[-\mu\left(\frac{d}{dt}q\right)^2\right],\ \mu \le 0 \quad (10)$$

где $\overline{G}$ – замкнутое множество допустимых управляющих напряжений.

Условие (9) является требованием минимальной мощности управляющего напряжения (по модулю) подстраиваемого генератора системы ФАПЧ.

Задача структурного синтеза ФАПЧ:

$$\frac{d^2}{dt^2}q = -Kq - u,$$

$$t = t_0 = 0, q(0) = q_0, \frac{d}{dt}q(0) = \dot{q}_0, \tag{11}$$

$$t = t_1, q(t_1) = \frac{d}{dt}q(t_1) = 0,$$

$$S = \int_0^{t_1}\left(\frac{1}{2}\dot{q}^2 + \frac{K}{2}q^2 + \int_{q(0)}^{q(t)} u\,dq\right)dt. \tag{12}$$

Расширенный целевой интеграл для (10) примет следующий вид:

$$I_1 = \int_0^{t_1}\left\{1 + \lambda\left(\frac{1}{2}\dot{q}^2 + \frac{K}{2}q^2 + \int_{q(0)}^{q(t)} u\,dq\right)\right\}dt. \tag{13}$$

В соответствии с [4, 6–9, 12] и (9) поиск экстремума (13) приводит к условию:

$$\max_{u\in\bar{G}}[\lambda(u + Kq)\dot{q}] = \max_{u\in\bar{G}}[\mu\dot{q}^2]. \tag{14}$$

Далее полагаем, что $|u| \le 1$.

Из анализа условия (14) следует, что основой структурного синтеза является условие $\text{sign}(\lambda u) = -\text{sign}(\dot{q})$, которое достигается при использовании зависимости, определяющей квазиоптимальный закон управления [4, 6–9, 12]:

$$\lambda u = \mu\dot{q} - Kq, \tag{15}$$

$$u = \mu(q, \dot{q})\dot{q} + Kq = 0. \tag{16}$$

Для построения поверхности переключения исследуется решение дифференциального уравнения (11) [18, 19]:

$$q = a\,cos(t) + b\,sin(t) \tag{17}$$

Тогда касательную к линии переключения можно представить в параметрической форме:

$$\frac{dq}{d\dot{q}} = \frac{\dot{q}}{q} = \frac{-a\,sin(t) + b\,cos(t)}{-a\,cos(t) - b\,sin(t)} \tag{18}$$

где a, b – постоянные; t – параметр.

Следовательно, линии переключения – окружности.

Из общего решения неоднородного дифференциального уравнения задачи синтеза (10) для фазовых траекторий объекта:

$$\frac{dq}{d\dot{q}} = \frac{\dot{q}}{-q + u} \tag{19}$$

получим уравнение окружности [19] радиуса r с центром в точке $q - u$ на оси абсцисс фазовой плоскости ($u = \pm 1$):

$$(q - u)^2 + \dot{q}^2 - r = 0. \tag{20}$$

Анализ движения изображающей точки также приводит к известному из [18] оптимальному решению:

$$u = -\text{sign}[A\,sin(t + \phi)], \tag{21}$$

где A, ϕ – произвольные постоянные.

Непосредственное использование уравнения (21) позволяет построить программу управления, но задача синтеза остается нерешенной.

Поскольку линии переключения – окружности, то:

$$q = \dot{q}\text{tg}\alpha, \tag{22}$$

где α – угол между осью ординат фазовой плоскости и радиус-вектором, проведенным к изображающей точке.

Тогда:

$$\mu = \text{tg}\alpha = \frac{q}{\dot{q}} \tag{23}$$

Учитывая, что функция μ имеет отрицательное значение [4, 6–9, 12], получим:

$$u = -|u|\text{sign}[|q|\text{sign}(\dot{q}) + Kq] \tag{24}$$

Исследование алгоритма синхронизации с использованием близких к оптимальным решений экстремальных задач типа «оптимальное быстродействие» в условиях возмущений

На рисунке 1 в графическом виде представлено управляющее напряжение (24). Поскольку его непосредственное применение для решения задач синхронизации радиотехнических систем сопряжено с описанными трудностями, результаты математического моделирования даны в безразмерных единицах. Очевидно, что коммутатор полярности должен обеспечить релейный режим функционирования.

Для исключения релейного режима функционирования воспользуемся следующей аппроксимацией (24):

$$u = -|u|\, tanh(|q|\text{sign}(\dot{q}) + Kq) \tag{25}$$

Из анализа рисунков 1 и 2 и следует, что использование (25) в условиях возмущений позволяет аппроксимировать импульсный режим функционирования ФАПЧ линейно изменяющимся управляющим напряжением. Однако расчеты показывают, что в рамках математического моделирования по 100 виртуальным экспериментам управляющее напряжение (24) обеспечивает более высокое быстродействие в условиях возмущений в сравнении с (25) в среднем на 2,1%.

На рисунке 3 приведена одна из реализаций фазового рассогласование между входным сигналом с фазового детектора φ и сигналом подстраиваемого генератора $\varphi_{\text{ГУН}}$ (генератора управляемого напряжением), где сверху приведен результат функционирования (24), а снизу (25). Таким образом, алгоритм синхронизации, который определяется (25), в установившемся режиме функционирования характеризуется большей ошибкой рассогласования. При на рисунке 3 б случайный характер протекающего процесса не очевиден.

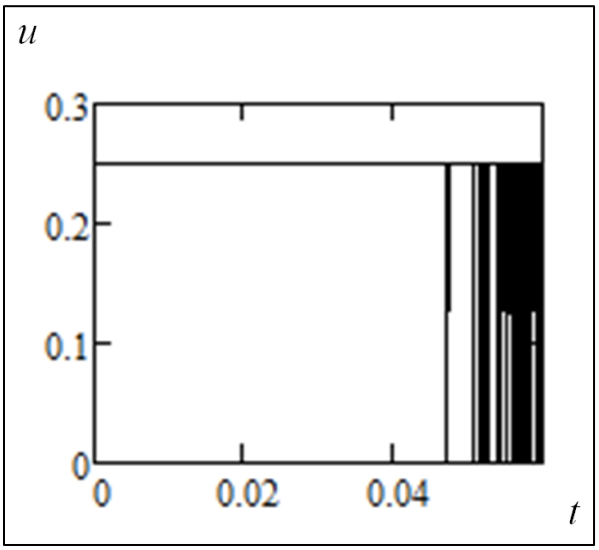
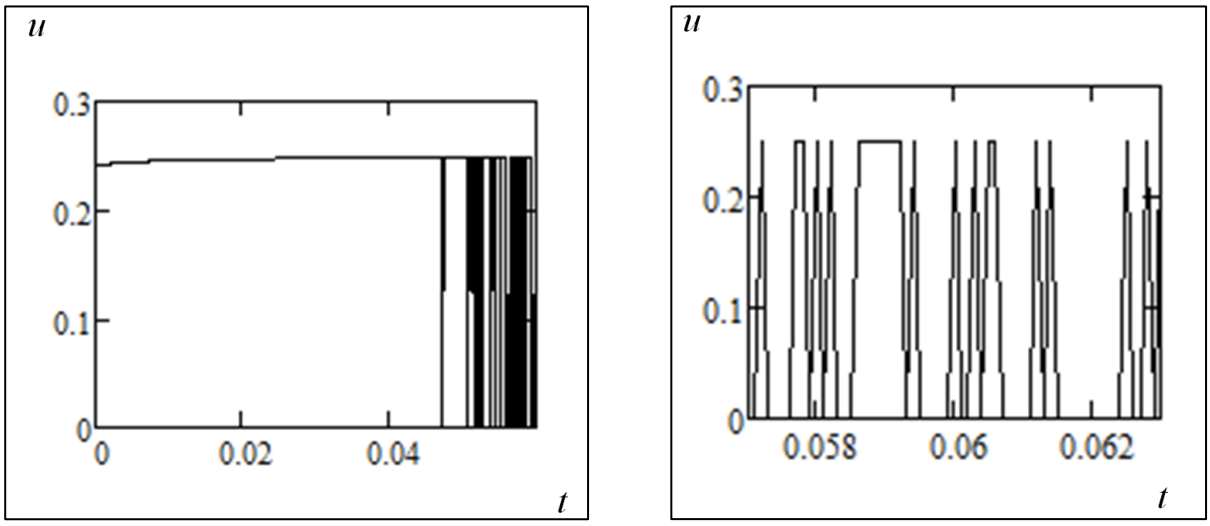
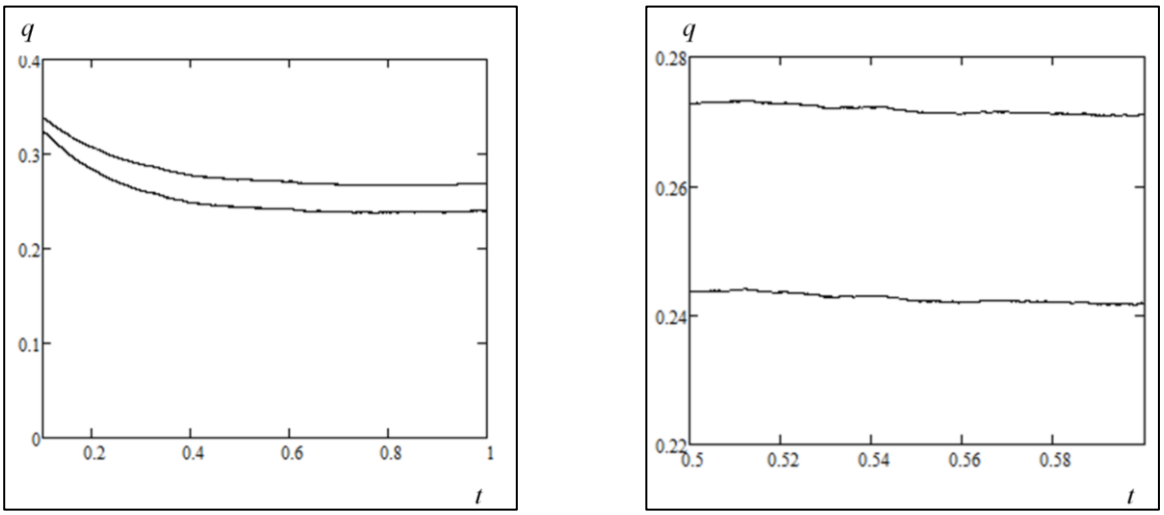


Рис. 1. Управляющее напряжение (24)
Fig. 1. Control voltage (24)



а) б)

Рис. 2. Управляющее напряжение (25)
Fig. 2. Control voltage (25)



а) б)

Рис. 3. Фазовое рассогласование
Fig. 3. Phase misalignment

Проведенные расчеты показали, что среднеквадратическое отклонение фазового рассогласования для (25) в сравнении с (24) в среднем меньше на 4,9%.

Заключение

Разработанный метод решения задач быстродействия систем синхронизации с однозвенным сглаживающим RC-фильтром позволяет выполнять квазиоптимальный структурный синтез радиотехнических систем синхронизации, функционирование которых не сопровождается релейным характером изменения управляющего напряжения. Однако для этого при построении упрощенной модели ФАПЧ сделаны допущения, которые предполагают выбор RC-фильтра с достаточно большими значениями постоянной времени, что влечет за собой снижение частоты среза фильтра нижних частот. При этом, как известно, чем меньше частота среза RC-фильтра, тем длительнее переходные процессы и тем больше влияние нелинейных составляющих напряжения, появляющихся в таких нелинейных элементах системы ФАПЧ, как фазовый детектор и управляемый генератор, когда коэффициент

усиления значителен. В связи с этим, перед применением синтезированной квазиоптимальной системы синхронизации на практике необходимо осуществлять процедуру параметрической адаптации. Указанные ограничения теряют актуальность, если можно пренебречь начальным рассогласованием фаз, а скорость фазового рассогласования не оказывает влияния на процесс синхронизации, что можно обеспечить с помощью процедуры параметрической адаптации. Это определяет дальнейшее направление исследований.

Список источников

1. *Кузменков А.С., Поляков А.Е., Стрыгин Л.В.* Обзорный анализ современных архитектур синтезаторов частот с ФАПЧ // Труды Московского физико-технического института (национального исследовательского университета). 2013. Т. 5. № 3(19). С. 121–133.
2. *Матросов В.В.* Нелинейная динамика системы фазовой автоподстройки частоты с фильтром второго порядка // Известия вузов. Сер. Радиофизика. 2006. № 3. С. 267–278.
3. *Трифонов Н.М., Быков А.А.* Модель фазовой автоподстройки в форме расширенного фильтра Калмана // Вестник *МГТУ* им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2006. № 1. С. 50–56.
4. *Xu W., Huang W., Jiang H.* Analyses and Enhancement of Linear Kalman-Filter-Based Phase-Locked Loop // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. 2021. V. 70. P. 1–10. DOI: 10.1109/TIM.2021.3112776.
5. *Костоглотов А.А., Лазаренко С.В., Пугачев И.В.* Синтез систем фазовой автоподстройки частоты в условиях возмущений на основе модели объединенного принципа максимума и дискретного метода инвариантного погружения // Инженерный вестник Дона. 2020. № 12. С. 175–185.
6. *Мартиросов В.Е., Алексеев Г.А., Парамонов А.А., Савватеев Ю.И.* Структурный синтез систем синхронизации с высокими динамическими характеристиками // Радиотехника и электроника. 2019. № 2. С. 181–185.
7. *Kostoglotov A.A., Chebotarev A.V.* Synthesis of optimum algorithm of phase estimation based on the joint maximum principle // Automatic Control and Computer Sciences. 2006. № 6. P. 18–25.
8. *Костоглотов А.А., Лазаренко С.В., Кузнецов А.А., Дерябкин И.В., Лосев В.А.* Структурный синтез дискретных адаптивных следящих систем на основе объединенного принципа максимума // Вестник Донского государственного технического университета. 2017. Т. 17. № 1 (88). С. 105–112.
9. *Костоглотов А.А., Кузнецов А.А., Лазаренко С.В.* Синтез модели процесса с нестационарными возмущениями на основе максимума функции обобщенной мощности // Математическое моделирование. 2016. Т. 28. № 12. С. 133–142.
10. *Костоглотов А.А., Лазаренко С.В.* Метод решения обратных измерительных задач с применением аппарата негладкого анализа // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2009. Т. 7. № 10. С. 38–45.
11. *Геложе Ю.А., Клименко П.П., Максимов П.П.* Синтез управления фазовой автоматической системой при ограниченном ресурсе управления // Известия ЮФУ. Технические науки. 2019. № 2(204). URL: https://izv-tn.tti.sfedu.ru/index.php/izv_tn/article/view/106 (дата обращения: 10.02.2025).
12. *Печенин В.В., Щербина К.А., Мсаллам Е.П., Вонсович Е.А.* Система фазовой автоподстройки частоты с комбинированным управлением подстраиваемого генератора // Радиотехника. 2016. Вып. 187. С. 112–124.
13. *Костоглотов А.А., Агапов А.А., Лазаренко С.В.* Метод квазиоптимального синтеза многорежимных систем синхронизации в условиях регулярных возмущений на основе объединенного принципа максимума // Инженерный вестник Дона. 2019. № 6 (57). URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_99_6y2019_Kostoglotov_N.pdf_b0f27c8d54.pdf (дата обращения: 10.02.2025).
14. *Мартиросов В.Е., Алексеев Г.А.* Программная реализация системы фазовой автоподстройки частоты // Электронный журнал «Труды МАИ». Выпуск № 71. URL: https://trudymai.ru/upload/iblock/9ca/9ca83fe7076f2b218ce54bb15e464674.pdf?lang=en&issue=71 (дата обращения: 10.02.2025).
15. *Майкова О.Е.* Субоптимальные режимы в задаче Фуллера // Труды математического института им. В.А. Стеклова. 2002. С. 226–229.
16. *Мартиросов В.Е., Алексеев Г.А.* Методы высокоскоростной синхронизации в системах фазовой автоподстройки частоты // Радиотехника. 2023. Т. 87. № 3. С. 83–91.
17. *Шахгильдян В. В., Ляховский А. А.* Системы фазовой автоподстройки частоты. М.: Связь. 1972. 447 с.
18. *Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф.* Математическая теория оптимальных процессов. М.: Наука. 1983. 392 с.
19. *Корн Г., Корн Т.* Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука. 1974.832 с.

A METHOD OF QUASI-OPTIMAL STRUCTURAL-PARAMETRIC SYNTHESIS OF ADAPTIVE ALGORITHMS FOR SYNCHRONIZATION SYSTEMS BASED ON SOLVING INVERSE PROBLEMS UNDER PERTURBATION CONDITIONS

M.Y.Povasin[1]
[1]AO «Corporation of Special Purpose Space Systems «Comet»(Moscow, Russia)
[1]povasin@corpkometa.ru

Abstract

One of the main problems of radio electronics is the generation of highly stable electrical oscillations. The complexity of the hardware implementation of direct frequency synthesis devices (the high cost of manufacturing frequency multipliers and mixers, the impossibility of obtaining an oscillation with a frequency value that varies during operation) does not allow them to be widely used in practice. Therefore, when designing real radio electronic systems, synthesizers of stable electrical oscillations based on a phase-locked frequency system are used. This work is devoted to the development and research of radio engineering systems in conditions of disturbances that improve performance characteristics, in particular, the synthesis of a PLL structure with a single-link smoothing RC filter requiring a minimum control voltage power.

Keywords

Approximation, speed, transition mode, synchronization, phase auto-tuning of frequency.

УДК 621.39

ОЦЕНКА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ СИГНАЛА M-APSK НА ЛАБОРАТОРНОМ СТЕНДЕ KEYSIGHT PROPSIM

А.С. Погосян [1], **Г.А. Милорадов** [2]
[1–2] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] pogosyan.a.s @edu.mirea.ru, [2] miloradov@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Современные системы цифровой связи требуют высокой спектральной эффективности и устойчивости к помехам. Сигналы с амплитудно-фазовой модуляцией (M-APSK) широко применяются в спутниковой связи и цифровом телевидении, однако их использование в реальных условиях осложняется многолучевым распространением и замираниями сигнала. Эти факторы могут значительно ухудшить качество передачи данных, что делает актуальным изучение помехоустойчивости таких сигналов в различных сценариях распространения.

Цель. Целью данной работы является оценка помехоустойчивости сигналов M-APSK (16-APSK и 32-APSK) в условиях многолучевого распространения радиоволн. Исследование направлено на анализ зависимости вероятности битовой ошибки (BER) от отношения сигнал-шум (SNR) в каналах Рэлея и Райса с различным количеством отраженных лучей.

Результаты. Результаты исследования показали, что увеличение количества отраженных лучей приводит к значительному ухудшению качества сигнала. Для 16-APSK увеличение числа лучей с 3 до 5 снижало SNR на 1,9–2,3 дБ в канале Райса и на 2,3 дБ в канале Рэлея, что сопровождалось ростом BER. Сигнал 32-APSK оказался более чувствительным: падение SNR составило 2,3 дБ (Райс) и 2,1 дБ (Рэлей) при аналогичных условиях. Наибольшее ухудшение наблюдалось в канале Рэлея, где отсутствие прямой видимости усугубляло влияние многолучевости.

Практическая значимость. Практическая значимость работы заключается в разработке методики оценки помехоустойчивости сигналов M-APSK на имитационном стенде, которая может быть использована при проектировании и оптимизации современных систем связи. Результаты исследования подчеркивают необходимость учета многолучевых эффектов при выборе параметров модуляции, особенно для систем с высокой плотностью созвездия, таких как 32-APSK. Это открывает возможности для дальнейших исследований и инженерных решений, направленных на повышение надежности передачи данных в сложных условиях.

Ключевые слова

M-APSK, APSK, Keysight Propsim, отношение сигнала к шуму (SNR), битовая ошибка (BER), замирания, многолучевость, канал Рэлея, канал Райса.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Современные беспроводные системы связи требуют всё более высокой скорости передачи данных и спектральной эффективности, что делает перспективными сложные схемы модуляции, такие как M-APSK (амплитудно-фазовая манипуляция) [1,2]. Однако их применение осложняется эффектами многолучевого распространения и замираниями сигнала, особенно в условиях городской застройки и при отсутствии прямой видимости [3,4]. В данной работе исследуется помехоустойчивость сигналов 16-APSK и 32-APSK при различном количестве отражённых лучей в каналах Рэлея и Райса с использованием эмулятора каналов связи Keysight Propsim F8. Основная цель – анализ зависимости вероятности битовой ошибки (BER) от отношения сигнал/шум (SNR) и оценка деградации качества сигнала в условиях многолучевости. Полученные результаты имеют практическое значение для проектирования современных систем связи, где обеспечение устойчивости передачи данных в сложных условиях распространения радиоволн остаётся актуальной задачей.

Лабораторный стенд

В работе используется лабораторный стенд на базе генератора сигналов и спектрального анализатора, подключенные через эмулятор среды распространения Keysight Propsim F8 (рис. 1).



Рис. 1. Лабораторный стенд
Fig. 1. Laboratory stand

В качестве генератора сигналов в работе используется модель Keysight M9505A. Это высокопроизводительный модульный генератор сигналов, предназначенный для задач тестирования современных систем связи, включая технологии 5G, спутниковую связь (DVB-S2/S2X), радиолокацию и другие приложения, требующие высокой точности и широкой полосы частот [5,6].

В качестве спектрального анализатора в работе используется модель Rigol RSA5032N – это высокопроизводительный анализатор спектра, предназначенный для анализа и диагностики сигналов в частотной области. Он широко используется в телекоммуникациях, радиотехнике и разработке электронных устройств.

Генератор формирует сигналы с модуляцией 16-APSK и 32-APSK, для дальнейшей оценки битовой ошибки и отношения сигнал/шум на спектральном анализаторе.

Так же, в работе используется эмулятор среды распространения Keysight Propsim F8. Это профессиональный радиочастотный эмулятор каналов связи, предназначенный для тестирования беспроводных систем в контролируемых лабораторных условиях. Он позволяет воспроизводить реальные условия распространения сигналов, включая замирания, многолучевое распространение, доплеровские сдвиги и другие эффекты, характерные для радиоканалов.

Описание исследуемых моделей каналов

В исследовании использовались две основные модели каналов:Рэлея и Райса.

Канал Рэлея представляет собой частный случай канала Райса, когда отсутствует прямая видимость. В таком канале сигнал формируется исключительно за счёт многолучевого распространения, что приводит к глубоким замираниям и значительным колебаниям уровня сигнала. Такой сценарий характерен для городских условий с плотной застройкой, где прямая видимость часто отсутствует. Рэлеевский канал, характеризующийся отсутствием прямого луча — сигнал формируется только за счет отражений. Propsim позволяет настраивать количество лучей с динамическим изменением задержки и мощности, имитируя условия городской среды или помещений.

Канал Райса учитывает наличие прямого луча на фоне рассеянных компонент. Благодаря присутствию устойчивой LOS-компоненты колебания сигнала в таком канале менее выражены, а средний уровень сигнала выше. Такие условия типичны для открытых пространств, спутниковой связи и микроволновых линий передачи [3].

В ходе исследования были разработаны модели Райсовского и Рэлеевского каналов, с 3,4,5 лучами соответственно.

Настройка параметров канала в эмуляторе среды Propsim производится в соответствующем меню программы (рис. 2). Слева график «Channel Impulse Response» – импульсная характеристика канала. Справа блок настройки модели, в котором две вкладки: «Model Parameters» – основные параметры модели канала, «Taps» – настройка импульсной характеристики. На рисунке 2 показан пример импульсной характеристики.

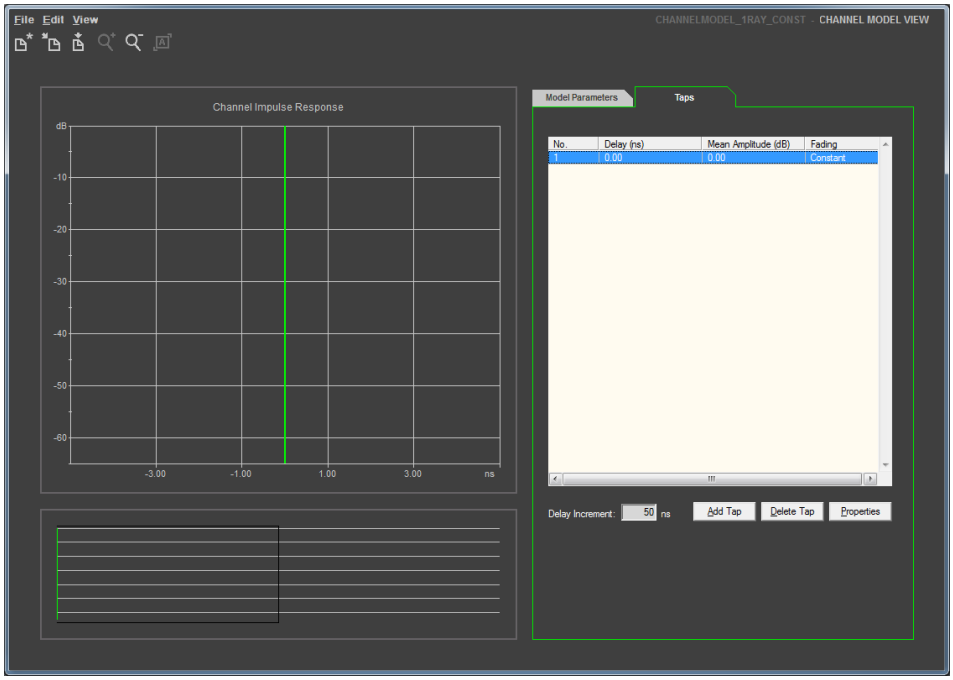


Рис. 2. Пример импульсной характеристики в подменю «Channel model view»
Fig. 2. Example of impulse response in the submenu «Channel model view»

Методика измерения битовой ошибки (BER)

Для оценки качества сигнала использовался режим Bit Error Rate (BER) на спектральном анализаторе Rigol RSA5032N. Процесс измерения включал следующие этапы:

1. Подготовка тестового сигнала:

1.1. В генераторе формировалась битовая последовательность с пилотными символами для синхронизации.

1.2. Для 16-APSK и 32-APSK создавались XML-файлы с битовой последовательностью с генератора, которые загружались в спектральный анализатор [7].

2. Настройка анализатора:

2.1. Активация режима VSA (Vector Signal Analysis) и подрежима BER.

2.2. Указание типа модуляции (16/32-APSK) и длины последовательности в соответствии с файлом конфигурации (100 символов).

2.3. Загрузка файла конфигурации через USB накопитель для сравнения с принятым сигналом (рис. 3).

```
<RIGOL_VSA_KNOWN_DATA_FILE Version="01.00">
<Comment> APSK16 </Comment>
<Base> 2 </Base>
<ModulationOrder> 16 </ModulationOrder>
<ResultLength> 100 </ResultLength>
<Data>
0110 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0110
00000101000001010001111000111101111010100111000111110101000001001111001001001000011111100111001001111111001110001100101
11111101111011000110000011010100111111100111000110011100011010100001011100001010110111100101001010100000100111000001011
10000100000100111001111100001010101100111101110010100000001001000000011100000000111111110100000011010111010011101000111
10011010100
</Data>
</RIGOL_VSA_KNOWN_DATA_FILE>
```

Рис. 3. Пример файла конфигурации для сигнала 16-APSK
Fig. 3. Example configuration file for 16-APSK signal

3. Выбор модели канала: Для каждого типа канала (Рэлеевский/Райсовский) и количества лучей (3, 4, 5) проводилось фиксирование BER и SNR.

4. Подведение результатов: Оценка помехоустойчивости производилась на спектральном анализаторе Rigol в режиме BER. SNR/ОСШ рассчитывались в режиме DMA с помощью встроенного блока в RIGOL с усреднением при количестве экспериментов 100 [7].

Результаты оценки помехоустойчивости

Перед представлением таблиц важно отметить, что также, одним из ключевых параметров являлось отношение сигнал-шум (SNR), измеренное в режиме DMA (Digital Modulation Analysis). Оно показывало, как многолучевость и тип канала влияют на качество сигнала. Оценка BER и SNR/ОСШ для каждой модели канала для 16 и 32-APSK представлена в таблицах 1–2.

По результатам измерения качества приема сигнала можно сделать вывод, что при увеличении количества отраженных лучей падает среднее значение SNR и растёт вероятность ошибочного приема.

Для 16-APSK увеличение числа лучей с 3 до 5 снижало SNR на 1,9–2,3 дБ в Райсовском канале и на 2,3 дБ в Рэлеевском.

Сигнал 32-APSK показал большую чувствительность: падение SNR на 2,3 дБ (Райс) и 2,1 дБ (Рэлей) при тех же условиях.

Таблица 1. Зависимость SNR и BER от количества лучей для 16-APSK в Райсовском и Рэлеевском каналах

16-APSK						
Вид канала	Райс (прямая видимость)			Рэлей (отсутствие прямой видимости)		
Количество отраженных лучей	3	4	5	3	4	5
SNR/ОСШ, дБ	10,1	9,3	8,2	8,1	7,4	5,8
BER	0,055	0,077	0,098	0,093	0,106	0,125

Таблица 2. Зависимость SNR и BER от количества лучей для 32-APSK в Райсовском и Рэлейном каналах

32-APSK						
Вид канала	Райс (прямая видимость)			Рэлей (отсутствие прямой видимости)		
Количество отраженных лучей	3	4	5	3	4	5
SNR/ОСШ, дБ	7,5	6,1	5,2	5,3	4,1	3,2
BER	0,135	0,153	0,177	0,179	0,202	0,222

Заключение

Результаты исследования показывают устойчивую взаимосвязь между качеством приема сигнала и условиями его распространения. При изучении характеристик 16 и 32-APSK модуляции было выявлено, что по мере увеличения количества многолучевых отражений происходит постепенное ухудшение параметров сигнала. В частности, наблюдается снижение среднего значения SNR на 3-5 дБ для каждого дополнительного отраженного луча, что вызывает резкое возрастание коэффициента битовых ошибок. Особенно ярко эта тенденция проявляется при сравнении 16-APSK и 32-APSK, где более высокая плотность модуляционного созвездия требует увеличения SNR на 2-3 дБ для поддержания аналогичных показателей BER.

Исследование подтвердило актуальность использования сложных модуляционных схем, таких как 16-APSK и 32-APSK, в условиях роста требований к скорости и качеству передачи данных. Практическая значимость работы заключается в разработке методики оценки помехоустойчивости сигналов, которая может быть применена в дальнейших исследованиях и инженерных разработках.

Список источников

1. *Елкин, П. Е.* Исследование влияния амплитудно-фазовой конверсии на помехоустойчивость приёма сигналов с модуляцией M-APSK / П. Е. Елкин, В. И. Носов // Современные проблемы телекоммуникаций : Материалы Российской научно-технической конференции, Новосибирск, 26–27 апреля 2017 года. – Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2017. – С. 279-286. – EDN ZFMMKP.
2. *Бондаренко, В. Н.* Помехоустойчивость сигналов с фазовой и амплитудно-фазовой модуляцией с учетом фазового шума гетеродина / В. Н. Бондаренко, А. В. Луферчик // Успехи современной радиоэлектроники. – 2023. – Т. 77, № 12. – С. 96-103. – DOI 10.18127/j20700784-202312-12. – EDN ZFQMNR.
3. *Малышев, И. И.* Анализ помехоустойчивости схемы некогерентного выделения информации из шумоподобного сигнала в канале с замираниями / И. И. Малышев, В. И. Шестопалов, А. И. Мордовин // Теория и техника радиосвязи. – 2020. – № 2. – С. 35-39. – EDN KLORDP.

4. *Назаров, Л. Е.* Исследование помехоустойчивости оптимального посимвольного приема сигналов с корректирующим кодированием в полях Галуа для каналов с замиранием / Л. Е. Назаров, В. В. Батанов // Цифровая обработка сигналов и ее применение DSPA - 2024 : Доклады XXVI Международной конференции, Москва, 27–29 марта 2024 года. – Москва: Российское научно-техническое общество радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова, 2024. – С. 9-12. – EDN WFZDYI.
5. IQTools – Waveform Generation Tool User Guide. – URL: https://www.keysight.com (дата обращения 10.04.2025). – Режим доступа свободный. – Текст: электронный.
6. Keysight M8190A Arbitrary Waveform Generator. User's Guide. – URL: https://www.keysight.com (дата обращения 15.04.2025). – Режим доступа свободный. – Текст: электронный.
7. RIGOL User's Guide. Vector Signal Analysis. Measurement Application. Applicable to RSA5000-VSA. – URL: https://www.tw.rigol.com (дата обращения 19.04.2024). – Режим доступа свободный. – Текст: электронный.

EVALUATION OF M-APSK SIGNAL NOISE IMMUNITY ON KEYSIGHT PROPSIM TEST BENCH

A.S. Pogosyan [1], **G.A. Miloradov** [2]
[1–2] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] pogosyan.a.s@edu.mirea.ru, [2] miloradov@mirea.ru

Abstract

Problem Statement. Modern digital communication systems require high spectral efficiency and noise immunity. Signals with amplitude-phase shift keying (M-APSK) are widely used in satellite communications and digital television. However, their practical application is complicated by multipath propagation and signal fading. These factors can significantly degrade data transmission quality, making it essential to study the noise immunity of such signals under various propagation scenarios.

Objective. The aim of this work is to evaluate the noise immunity of M-APSK signals (16-APSK and 32-APSK) under multipath radio wave propagation conditions. The study focuses on analyzing the dependence of the bit error rate (BER) on the signal-to-noise ratio (SNR) in Rayleigh and Rice channels with varying numbers of reflected paths (3, 4, and 5).

Results. The study results demonstrated that an increase in the number of reflected paths leads to significant signal quality degradation. For 16-APSK, increasing the number of paths from 3 to 5 reduced SNR by 1.9–2.3 dB in the Rice channel and by 2.3 dB in the Rayleigh channel, accompanied by a rise in BER. The 32-APSK signal exhibited higher sensitivity: SNR decreased by 2.3 dB (Rice) and 2.1 dB (Rayleigh) under the same conditions. The most pronounced degradation was observed in the Rayleigh channel, where the absence of a line-of-sight component exacerbated the impact of multipath propagation.

Practical Significance. The practical significance of this work lies in the development of a methodology for evaluating the noise immunity of M-APSK signals on a test bench, which can be applied in the design and optimization of modern communication systems. The findings highlight the necessity of accounting for multipath effects when selecting modulation parameters, especially for systems with high constellation density, such as 32-APSK. This opens avenues for further research and engineering solutions aimed at enhancing data transmission reliability in challenging conditions.

Keywords

M-APSK, APSK, Keysight Propsim, signal-to-noise ratio (SNR), bit error rate (BER), fading, multipath propagation, Rayleigh channel, Rician channel.

УДК 621.397

СПОСОБЫ СИНХРОНИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИИ ВНУТРИ ГРУППЫ БПЛА

Д.А. Потапов[1], **С.Ю. Зябриков**[2]
[1–2] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] dpotapov99@list.ru, [2] vmmarket@mail.ru

Аннотация

Постановка проблемы. При использовании группы БПЛА в условиях полного подавления любых радионавигационных сигналов возникает потребность в решении локальных навигационных задач по определению местоположению каждого из участников группы с применением радиосигналов с самих объектов группы. Следовательно, необходимо каким-то образом произвести синхронизацию сигналов внутри группы и иметь возможность ресинхронизацию в случае появлению нового члена группы.

Цель. Рассмотреть описанные ранее методы синхронизации информации внутри группы летальных аппаратов, в частности БПЛА для последующей оценки применимости в создании алгоритма решения локальных навигационных задач.

Результаты. Проведен обзор существующих алгоритмов и выбрано несколько перспективных для будущего исследования.

Практическая значимость. Полученные результаты позволяют провести более точную оценку применимости для решения локальных навигационных задач внутри группы БПЛА при полном глушении сигналов ГНСС.

Ключевые слова

Синхронизация БПЛА, обмен информации внутри группы БПЛА, стандарты связи, сверхширокополосные сигналы

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

В ходе применения беспилотных летальных аппаратов (БПЛА) в военных действиях для увеличения успеха боевого задания было принято решение применять группы БПЛА (рой БПЛА), которая состоит из главного БПЛА, управляемого оператором (ведущий дрон) и остальных беспилотников, которые управляются автономно (ведомые дроны).

Для корректного управления группой необходимо чтобы все участники группы знали точное взаимное расположение для избежание столкновений. Обычно применяется глобальная навигационная система (ГНСС), однако во время боевых действий велика вероятность частичного или полного глушения сигналов от ГНСС.

Для решения локальной навигационной задачи необходимо решить несколько технических вопросов и один из них связан с синхронизацией обмена данными между БПЛА, а также возможность ресинхронизацией с новым участником группы.

Цель работы – провести обзор существующих методов синхронизацией между участниками одной группы для последующего более глубокого анализа.

Способы синхронизации

Для обеспечения точности измерений внутри группы БПЛА одним из способов решения задачи является периодическая передача синхронизирующего сигнала остальным участникам группы, которые подстраивают свои временные шкалы времени. [1] А в случае снижения частоты выдачи сигнала происходит экономия заряда батареи основного дрона.

К недостаткам данного метода относят неоднозначность фазовых измерений, что приводит к ошибкам синхронизации. Метод дифференциальной фазы двух близких синхронизирующих частот применяют для устранения указанного недостатка. Точность метода зависит от величины частотного разнесения.

Таким образом необходимо подобрать оптимальное частотное разнесение для обеспечения:

- помехоустойчивость фазовых измерений;

• достоверное разрешение неоднозначности фазы используемых частот. [2]

Только в режиме непрерывной синхронизации, то есть, когда главный БПЛА непрерывно выдаёт опорный сигнал, возможно безошибочное отслеживание полной фазы несущей. Недостатком данного режима, несмотря на его потенциальную точность, является существенное сокращение времени работы сети от источников питания.

Для обеспечения точной синхронизации между дронами требуется компенсация временных задержек, возникающих при передаче сигналов на подчиненные аппараты. Это обуславливает необходимость высокоточной пространственной привязки каждого БПЛА. Одним из эффективных решений данной задачи является использование импульсной широкополосной радиопередачи, работающей в частотных диапазонах стандартов IEEE 802.11 [3] и IEEE 802.15 [4]. Наибольшее распространение для позиционирования получили сверхширокополосные технологии с шириной спектра 100–500 МГц. Как демонстрирует исследование [5], применение двунаправленной коммуникации обеспечивает синхронизацию с субнаносекундной погрешностью.

На рис. 1 представлена структура разрабатываемой аэросенсорной системы. Помимо летательных аппаратов, архитектура включает стационарный командный пункт (базовую станцию), выполняющий функции конфигурирования сети. Обмен служебными данными между управляющим центром и головным дроном осуществляется через выделенный канал связи, поддерживающий протокол IEEE 802.11. Аналогичный интерфейс может задействоваться для межмашинного взаимодействия внутри дрон-группы. Реализация механизма локализации основана на периодической трансляции ведущим аппаратом импульсов через специализированный зондирующий канал. Прием этих сигналов осуществляется всеми участниками сети - как ведомыми БПЛА, так и наземным контрольным пунктом.

Следовательно, рассматриваемая сеть должна содержать следующие типы каналов:

• служебный канал IEEE 802.11 (между ведущим и ведомым дронами);

• служебный канал IEEE 802.11 (между ведомыми дронами);

• канал синхронизации между ведущим и ведомыми дронами;

• зондирующий сверхширокополосный канал IEEE 802.11 (IEEE 802.15) между ведущим и ведомыми дронами, а также между ведущим дроном и базовой станцией.



Рис. 1. Архитектура воздушной сенсорной сети
Fig. 1. Aerial Sensor Network Architecture

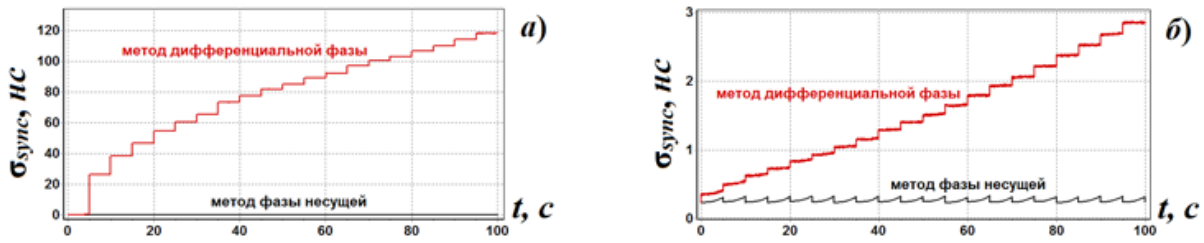


Рис. 2. Динамика ошибки синхронизации при систематическом допплеровском смещении фазовых измерений (Tsync = 5 с, tD = 1 с): а) случай недостаточного разнесения частот (f =100 МГц); б) случай оптимального разнесения частот (f = 1500 МГц)

Fig. 2. Dynamics of synchronization error with systematic Doppler shift of phase measurements (Tsync = 5 s, tD = 1 s): a) case of insufficient frequency spacing (f = 100 MHz); b) case of optimal frequency spacing (f = 1500 MHz)

Результаты исследований на рис. 2 демонстрируют, что для обеспечения требуемой точности временной синхронизации в практических условиях достаточно осуществлять корректировку эталонной временной шкалы с пятисекундным интервалом. Критическим параметром при этом выступает частотное разнесение синхронизирующих когерентных несущих в диапазоне 400–500 МГц. Следует подчеркнуть, что существующие бортовые радиоэлектронные комплексы современных БПЛА обладают полной аппаратной возможностью поддержки указанных рабочих режимов. [2]

Достижимая точность временного согласования в пространственно-разнесенных системах определяется несколькими ключевыми факторами:

- геометрией расположения элементов системы;
- используемым частотным диапазоном;
- динамикой перемещения объектов;
- применяемыми алгоритмами синхронизации.

Эти параметры существенно влияют на выбор метода обработки сигналов (когерентного или некогерентного типа).

В практике синхронизации распределенных устройств применяют два принципиальных подхода:

1. использование предварительно синхронизированных эталонных генераторов;
2. применение системы обмена синхросигналами.

Первый метод имеет существенное ограничение - даже при малых расстояниях между объектами неизбежно возникает расхождение фазовых характеристик со временем. Это требует применения высокоточных эталонов времени (атомных часов или аналогичных по стабильности устройств), что значительно увеличивает стоимость системы. [6]

Современные системы временной синхронизации можно разделить на два основных типа:

1. односторонние (вещательные) системы;
2. двусторонние (интерактивные) системы.

Классическим примером первого типа служат радионавигационные системы (LORAN, Transit, ГЛОНАСС и аналоги), где синхронизация осуществляется через одностороннюю передачу сигналов.

При организации двунаправленного обмена синхросигналами достигается значительное снижение влияния характеристик канала передачи. Это становится возможным благодаря:

- одновременной передаче сигналов в обоих направлениях;
- отсутствию необходимости в дополнительных методах оценки задержки;
- возможности использования более простого оборудования.

Отдельные технические решения предполагают обязательное обеспечение работоспособности радиосистем в условиях:

- отсутствия внешних источников координатно-временной информации;
- недоступности сигналов спутниковых навигационных систем;

• необходимости полной автономности работы.

На фазовые характеристики сигналов существенное влияние оказывают, как движение передающих и приемных устройств, так и перемещение радиолокационных целей (для радиолокационных систем). Эти факторы ограничивают временной интервал когерентности принимаемых сигналов [7].

Программно-алгоритмический метод синхронизации предполагает использование независимых опорных генераторов в элементах распределенной системы, работающих в автономном режиме. К особенностям метода можно отнести что каждый элемент системы регистрирует сигналы согласно своей временной шкале и одинаковые отсчеты сигнала в разных элементах соответствуют разным моментам времени. Кроме того, требуется специальная тактовая синхронизация для временного согласования сигналов.

Для точной фазовой привязки необходимо синхронизировать временные шкалы и согласовать высокочастотные фазы местных генераторов. Фазовая синхронизация устраняет расхождения между гетеродинами.

Основное достоинство описанного выше подхода — это сниженные требования к аппаратному обеспечению.

Основные недостатки:

• необходимость регулярного мониторинга расхождения фаз;

• зависимость частоты анализа от стабильности генераторов;

• требование выделения специальных временных интервалов.

В статье представлен инновационный подход для синхронизации подвижных объектов в распределенных системах, основанный на:

• многосторонней передаче синхросигналов;

• реальном времени вычислений;

• совместной обработке данных о фазах и частотах генераторов.

Метод включает следующие этапы:

1. поочередную передачу сигналов с каждой позиции;
2. прием сигналов всеми остальными позициями;
3. совместный анализ полученных данных;
4. коррекцию параметров генераторов в реальном времени;

Такой подход обеспечивает высокую точность синхронизации при сохранении автономности работы каждого элемента системы. [8]

В последнее десятилетие метод Precise Point Positioning (PPP) [9] получил широкое распространение для задач временной и частотной синхронизации. Однако анализ существующих программных реализаций показывает, что большинство решений используют либо комбинированные измерения GPS/ГЛОНАСС, либо исключительно данные GPS-спутников, тогда как потенциал применения только ГЛОНАСС-измерений исследован недостаточно полно.

Для решения задач частотно-временного согласования преимущественно применяются специализированные навигационные приемники, обеспечивающие привязку измерений к шкале времени опорного генератора. Среди современных моделей особого внимания заслуживают:

• PolaRX4 PRO (Septentrio);

• TTS-4 (PikTime);

• GTR51 (MESIT).

Последняя модель получила особенно широкое распространение на территории Российской Федерации.

Процедура сравнения временных шкал с использованием PPP-технологии включает два последовательных этапа:

1. Сетевой этап (выполняется провайдером ЭВИ):

• Уточнение высокоточных орбит;

• Коррекция показаний бортовых часов НКА;

2. Потребительский этап:

• PPP-обработка измерений двух приемников;

• Дифференциальный анализ полученных результатов.

Проведенные исследования демонстрируют возможность применения PPP-метода исключительно по ГЛОНАСС-измерениям для высокоточного:

• сравнения частотных характеристик;

• синхронизации временных шкал.

Ключевые результаты экспериментов:

1. обнаружен систематический сдвиг в оценке разности частот генераторов приемников GTR51 (на нулевой и малой базовых линиях);

2. установлено, что данный эффект обусловлен рассинхронизацией кодовых и фазовых измерений;

3. после устранения указанной рассинхронизации достигнуты:

• случайная погрешность временного сравнения ≈40 пс;

• контролируемая частотная нестабильность (5-6) 10^{-16} для 24-часового интервала.

Полученные результаты подтверждают перспективность использования ГЛОНАСС-измерений в PPP-технологиях для задач прецизионной временной синхронизации. [10]

Современные спутниковые навигационные комплексы состоят из трех основных компонентов:

1. космических аппаратов на орбите;

2. наземных контрольно-корректирующих станций;

3. пользовательского приемного оборудования.

Все элементы системы требуют точной координатной и временной привязки. Важной особенностью является то, что параметры орбитального движения навигационных спутников для конечного пользователя описываются временными зависимостями. Корректировка бортового времени осуществляется периодически, только при превышении установленного порога отклонения от эталонной системной шкалы времени.

В представленном исследовании [11] разработан инновационный метод синхронизации, который позволяет:

• согласовывать бортовое время геостационарных и высокоэллиптических спутников;

• использовать системную временную шкалу ГЛОНАСС в качестве эталона;

• применять радионавигационные измерения для коррекции.

Методология исследования включает:

• разработку алгоритмов синхронизации;

• проведение компьютерного моделирования;

• верификацию полученных результатов.

Предложенная технология находит применение в следующих областях:

1. совершенствование измерительных систем;

2. повышение точности определения:

• временных параметров;

• частотных характеристик;

3. использование на подвижных платформах:

• авиационной технике;

• космических аппаратах навигационных систем.

Разработанный метод особенно актуален для космических аппаратов системы ГЛОНАСС, где требуется обеспечение высокой стабильности временных и частотных параметров в условиях динамического изменения положения.

Но современные космические аппараты сталкиваются с существенной проблемой - необходимостью поддержания высокоточной бортовой временной шкалы. В традиционных решениях эта задача решается с помощью:

1. атомных стандартов частоты:

- цезиевых или водородных генераторов;
- обеспечивающих суточную стабильность 10^{-13}-10^{-14};

2. специальных технических решений:
- прецизионных термостабилизирующих систем;
- экранирования от электромагнитных помех;
- виброзащитных конструкций.

Однако такие решения имеют существенные недостатки:
- значительно увеличивают массу и габариты аппарата;
- существенно повышают стоимость космического комплекса;
- требуют регулярной (ежесуточной) коррекции с наземными станциями;
- необходимость сложного оборудования как на борту, так и на Земле.

Применение сигналов ГЛОНАСС открывает новые возможности в виде замены дорогостоящих атомных стандартов, обеспечение сравнимой временной стабильности, упрощение бортового оборудования, снижение эксплуатационных затрат и возможность получения высокоточных частотных сигналов.

Такой подход позволяет существенно оптимизировать конструкцию космических аппаратов, сохраняя при этом требуемые точностные характеристики временных шкал.

Применение сигналов ГЛОНАСС для коррекции бортового времени обеспечивает следующие ключевые преимущества:

1. снижение нагрузки на наземную инфраструктуру управления;
2. упрощение архитектуры системы контроля;
3. обеспечение длительной автономной работы:
- на геостационарной орбите (ГСО);
- на высокоэллиптических орбитах (ВЭО);

4. возможность поддержания синхронизации:
- в периоды отсутствия видимости с наземными станциями;
- в условиях невозможности применения традиционных методов.

Система временной синхронизации использует кварцевый генератор с частотой 10 МГц. Характеристики стабильности которого:
- суточная: 5×10^{-10};
- кратковременная (1 с): 2×10^{-12}.

Без коррекции такой генератор демонстрирует относительную погрешность частоты 10^{-7}-10^{-8}, что недостаточно для навигационных задач.

Предложенная технология включает:

1. автоматическую подстройку частоты:
- опорного генератора навигационного оборудования;
- синхронизацию с системной шкалой ГЛОНАСС;

2. использование навигационных параметров:
- измерения псевдодальности;
- анализ псевдоскорости;

3. обработку сигналов:
- от спутников ГЛОНАСС;
- от спутников GPS (при необходимости).

Данный подход позволяет достичь точности, сопоставимой с более сложными и дорогостоящими системами синхронизации. [11]

Обобщенная схема контура управления частотой и временем пред ставлена на рис. 3.

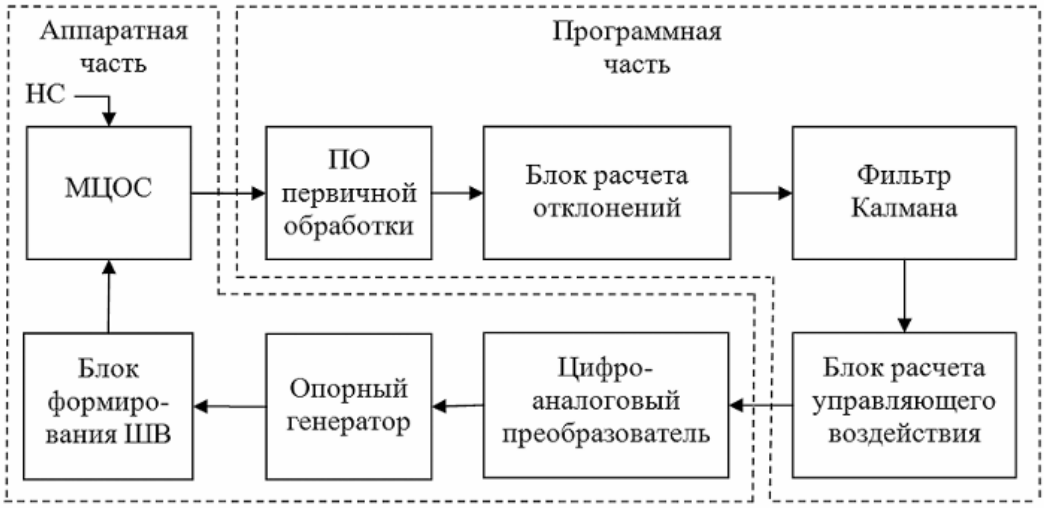


Рис. 3. Обобщенная схема контура управления частотой и временем: НС – навигационный сигнал; МЦОС – модуль цифровой обработки сигнала; ПО – программное обеспечение

Fig. 3. Generalized diagram of the frequency and time control loop: NS – navigation signal; DSPM – digital signal processing module; PO – software

Проведенные расчеты и моделирование продемонстрировали следующие характеристики системы:

1. в условиях непрерывного приема навигационных сигналов:
   - погрешность синхронизации: 50 нс (СКО);
   - частотная стабильность:
     - 5×10^{-11} (за 1 час/сутки/год);
     - 3×10^{-12} (за 1 секунду).
2. при прерывистом приеме (типичном для ГСО и ВЭО):
   - допустимые перерывы: до 2 часов с интервалом ≥6 часов;
   - погрешность синхронизации: 500 нс (СКО);
   - частотная стабильность:
     - 1×10^{-10} (за сутки/год);
     - 3×10^{-12} (за 1 секунду).

Разработанный алгоритм обеспечивает независимость от внешних факторов: температурных колебаний, колебаний напряжения питания, долговременного дрейфа параметров компонентов и автоматическую компенсацию изменений рабочих характеристик.

Метод в настоящее время адаптируется для бортовой аппаратуры радионавигации в рамках проекта космического аппарата, разрабатываемого АО "ИСС". Реализация алгоритма позволяет достичь высокой точности временной синхронизации даже в сложных орбитальных условиях. [11].

Заключение

В данной работе были рассмотрены существующие решения по синхронизации между участниками внутри одной группы. Были рассмотрены методы периодической передачи синхронизирующего сигнала от ведущего дрона, ключевые факторы, влияющие на достижение точности временного согласования, основные подходы синхронизации распределенных устройств.

Кроме того, рассмотрен подход для синхронизации подвижных объектов в распределенной системе.

Отдельное внимание было уделено методу Precise Point Positioning (PPP), который применяется в задачах временной и частотной синхронизации.

Список источников

1. *Sulimov A.I., Sherstyukov O.N., Latypov R.R., Nurgaliev D.K.* Simulation of perio dic synchronization of UAVs clock. Proc. Conf.: 2021 Systems of Signal Synchroniza tion, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO-2021), 2021, art. 9488361, pp. 18. doi: 10.1109/SYNCHROINFO51390.2021.9488361.
2. *Сулимов Амир Ильдарович* ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ФАЗОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Физ.-матем. науки. 2021. №3-4. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-parametrov-periodicheskoy-differentsialno-fazovoy-sinhronizatsii-bespilotnyh-letatelnyh-apparatov (дата обращения: 16.05.2025).
3. *Yanmaz E., Kuschnig R., Bettstetter C.* Achieving air-ground communications in 802.11 networks with three-dimensional aerial mobility // 2013 Proc. IEEE INFOCOM.– 2013. P. 120–124.– doi: 10.1109/INFCOM.2013.6566747.
4. *Tiemann J., Wietfeld C.* Scalable and precise multi-UAV indoor navigation using TDOA based UWB localization // Proc. 2017 Int. Conf. on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN).– 2017.– P. 1–7.– doi: 10.1109/IPIN.2017.8115937.
5. *Seijo ´ O., Val I., L´opez-Fern´ andez J.A.* Portable full channel sounder for industrial wireless applications with mobility by using sub-nanosecond wireless time synchronization // IEEE Access.– 2020.– V. 8.– P. 175576–175588.– doi: 10.1109/ACCESS.2020.3025896.
6. Direct frequency comparison of intercontinentally separated Sr lattice clocks using carrier-phase two-way satellite frequency transfer / T. Ido, M. Fujieda, H. Hachisu, Sh. Nagano, T. Gotoh, S. Falke, N. Huntemann, C. Grebing, B. Lipphardt, Ch. Lisdat, D. Piester // IEEE Intern. Fre quency Control Symposium (FCS), 19–22 May 2014, Tai pei, Taiwan. Piscataway: IEEE, 2014. P. 1–3. doi: 10.1109 /FCS.2014.6859906
7. *Слукин Г. П.* Время когерентности радиолокаци онного сигнала и влияние на него различных факторов // Радиооптические технологии в приборостроении: тез. докл. 3-й Всерос. НТК, Сочи, 12–16 сент. 2005 / МГТУ им. Н. Э. Баумана. М., 2005. С. 21–26.
8. *Крючков И. В.,* Ниашвили М. И., Скачкова А. И., Филатов А. А. Экспериментальные результаты синхронизации разнесенной радиотехнической системы с подвижными носителями программно-алгоритмическим способом // Известия вузов России. Радиоэлектроника. 2019. №2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnye-rezultaty-sinhronizatsii-raznesennoy-radiotehnicheskoy-sistemy-s-podvizhnymi-nositelyami-programmno (дата обращения: 18.05.2025).
9. *Anderle R.J.* Point positioning concept using precise ephemeris. Satellite Doppler Positioning, 1976, pp. 47–75.
10. *Митрикас В. В., Печерица Д. С., Скакун И. О., Федотов В. Н.* Сравнение шкал времени методом PPP по измерениям навигационной аппаратуры потребителей системы ГЛОНАСС // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Приборостроение». 2018. №4 (121). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sravnenie-shkal-vremeni-metodom-ppp-po-izmereniyam-navigatsionnoy-apparatury-potrebiteley-sistemy-glonass (дата обращения: 18.05.2025).
11. *Ковалёв Роман Борисович* Синхронизация бортовой шкалы времени космического аппарата с системным временем ГЛОНАСС при помощи аппаратуры радионавигации // Космические аппараты и технологии. 2017. №2 (20). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sinhronizatsiya-bortovoy-shkaly-vremeni-kosmicheskogo-apparata-s-sistemnym-vremenem-glonass-pri-pomoschi-apparatury-radionavigatsii (дата обращения: 18.05.2025).

METHODS OF INFORMATION SYNCHRONIZATION WITHIN A UAV GROUP

D.A. Potapov [1], **S.Yu. Zyabrikov** [2]
[1–2] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] dpotapov99@list.ru, [2] vmmarket@mail.ru

Abstract

Problem statement. When using a UAV group under conditions of complete suppression of any radio navigation signals, there is a need to solve local navigation problems to determine the location of each of the group members using radio signals from the group objects themselves. Therefore, it is necessary to somehow synchronize signals within the group and have the ability to resynchronize in the event of a new group member.

Objective. To consider the previously described methods of synchronizing information within a group of aircraft, in particular UAVs, for subsequent assessment of applicability in creating an algorithm for solving local navigation problems.

Results. A review of existing algorithms was conducted, and several promising ones were selected for future research.

Practical significance. The results obtained allow a more accurate assessment of the applicability for solving local navigation problems within a UAV group under complete jamming of GNSS signals.

Keywords

UAV synchronization, information exchange within a UAV group, communication standards, ultra-wideband signals.

УДК 621.396.96

СИСТЕМА ЛОКАЦИИ, ИСПОЛЬЗУЯЩАЯ Wi-Fi FINGERPRINT

М.М. Репин[1], **Е.А. Чистяков**[2]
[1–2] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] max18441930@gmail.com, [2] chistyakov@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Системы позиционирования играют ключевую роль в обеспечении безопасности, навигации и автоматизации как в промышленной, так и в повседневной сфере. Однако традиционные методы на основе глобальных навигационных спутниковых систем (GNSS) оказываются неэффективными в условиях закрытых помещений вследствие экранирования сигналов. Это создаёт потребность в альтернативных технологиях локации, способных точно определять местоположение без использования спутниковых данных.

Цель. Разработать и протестировать систему внутреннего позиционирования, использующую метод Wi-Fi fingerprint, с учётом особенностей построения базы «отпечатков» сигнала, алгоритмов сопоставления и требований к точности в условиях ограниченного пространства.

Результаты. Создана функциональная система локации, включающая аппаратную часть на основе модуля ESP32, реализованы фазы калибровки и позиционирования, проведено тестирование системы в реальных условиях. Использованы алгоритмы на базе метода ближайших соседей (KNN), обеспечивающие точность позиционирования до 2–3 метров. Построена радиокарта и выполнена визуализация перемещений объекта внутри помещения.

Практическая значимость. Разработанная система может быть внедрена в офисные здания, склады, медицинские учреждения и другие объекты с ограниченным доступом к GNSS. Кроме того, технология применима в перспективных космических миссиях, для навигации внутри модулей орбитальных и планетарных станций, где также отсутствует спутниковая связь.

Ключевые слова

Wi-Fi fingerprint, позиционирование в закрытых помещениях, RSSI (received signal strength indicator), калибровка (offline phase), позиционирование (online phase), система локации, модуль Wi-Fi, алгоритм сбора и обработки данных, ESP32, навигация и мониторинг, база данных отпечатков (fingerprint map), метод ближайших соседей (KNN), архитектура системы, тестирование системы, алгоритмы машинного обучения, точность позиционирования, радиокарта, системы безопасности, arduino IDE, интернет вещей (IoT).

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

В современном мире системы позиционирования играют ключевую роль в различных областях, включая логистику, навигацию, робототехнику, а также в обеспечении повседневного комфорта пользователей мобильных устройств. Особое внимание уделяется технологиям определения местоположения в закрытых помещениях, где традиционные методы на основе глобальных навигационных спутниковых систем (GNSS) становятся неэффективными вследствие отсутствия прямого доступа к сигналам спутников. В этом контексте особую актуальность приобретают системы позиционирования, использующие метод Wi-Fi Fingerprint.

Метод Wi-Fi Fingerprint основывается на измерении параметров сигналов беспроводных сетей Wi-Fi, таких как уровень мощности сигнала (RSSI), для построения уникального "отпечатка" местоположения. Благодаря доступности Wi-Fi сетей в большинстве современных зданий, данный подход является экономически эффективным и не требует установки дополнительного оборудования, что делает его востребованным для внедрения в практические приложения.

Целью настоящей работы является разработка и реализация системы локации на основе Wi-Fi Fingerprint с применением современных аппаратных и программных средств.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1. изучить принципы работы метода Wi-Fi Fingerprint и его преимущества перед альтернативными подходами;

2. разработать функциональную схему устройства, использующего данную технологию;

3. создать алгоритм работы системы и реализовать его в среде программирования Arduino IDE;

4. провести тестирование разработанной системы на практике и проанализировать результаты.

Актуальность исследования обусловлена ростом спроса на точные, экономичные и доступные системы позиционирования, которые могут применяться как в бытовых условиях, так и в промышленной сфере. Использование технологии Wi-Fi Fingerprint позволяет эффективно решать задачи навигации и мониторинга объектов в помещениях, что делает данное направление перспективным для дальнейшего развития.

Wi-Fi Fingerprint

Метод Wi-Fi Fingerprint представляет собой технологию позиционирования, основанную на сборе и анализе параметров сигналов беспроводных сетей Wi-Fi, таких как мощность сигнала (RSSI – Received Signal Strength Indicator) [4, 5, 6]. Главная особенность данного метода заключается в создании уникальных "отпечатков" местоположения на основе собранных данных о сигналах от доступных точек доступа Wi-Fi в помещении [4, 6, 8].

Основные особенности метода Wi-Fi Fingerprint:

1. Отсутствие необходимости дополнительного оборудования.

Метод использует существующую инфраструктуру беспроводных сетей Wi-Fi, что делает его экономически выгодным и простым для реализации [2, 4, 8].

2. Высокая точность позиционирования в закрытых помещениях.

В отличие от спутниковых систем (GPS/GLONASS), которые неэффективны внутри зданий из-за затухания сигналов, Wi-Fi Fingerprint позволяет определять местоположение с точностью до нескольких метров, используя сигналы от точек доступа Wi-Fi [4, 5, 6].

3. Создание базы данных "отпечатков".

Система требует предварительного этапа калибровки, на котором собирается база данных "отпечатков" (профилей) для конкретного помещения. Эти данные сопоставляются с измеренными значениями в реальном времени для определения местоположения [4, 5, 8].

4. Устойчивость к изменчивости условий среды.

Несмотря на наличие шумов и флуктуаций мощности сигналов, современные алгоритмы обработки данных обеспечивают устойчивую и точную работу системы [3, 5, 6].

5. Гибкость и масштабируемость.

Метод Wi-Fi Fingerprint может быть адаптирован для помещений различного размера и конфигурации, а также интегрирован с другими технологиями позиционирования для повышения точности [4, 6, 8].

Актуальность использования Wi-Fi Fingerprint обусловлена растущим спросом на точные и доступные системы позиционирования в условиях, где применение спутниковых технологий ограничено или невозможно. В таких местах, как торговые центры, офисные здания, аэропорты, больницы и промышленные объекты, спутниковые сигналы ослабляются или полностью блокируются строительными материалами [5, 7, 8].

Метод Wi-Fi Fingerprint позволяет эффективно решать задачи позиционирования в таких условиях благодаря следующим преимуществам:

1. Низкая стоимость реализации за счет использования существующей инфраструктуры Wi-Fi [2, 4];

2. Простота внедрения и возможность применения в уже построенных зданиях [4, 8];

3. Широкая область применения, включая навигацию внутри помещений, отслеживание перемещения персонала и оборудования, системы безопасности и мониторинга [3, 4, 6].

Таким образом, метод Wi-Fi Fingerprint является актуальным и перспективным решением для задач позиционирования в закрытых помещениях. Его особенности, такие как высокая

точность, экономичность и гибкость, делают его важным инструментом для современных систем локации, особенно в условиях урбанизированной среды и развития технологий Интернета вещей (IoT) [3, 4, 6].

Схема системы локации

Система локации на основе Wi-Fi Fingerprint представляет собой комплекс программных и аппаратных решений, обеспечивающих сбор, обработку и анализ данных о сигналах Wi-Fi для определения местоположения объекта [4, 5, 6].

Архитектура системы локации

1. Клиентская часть (мобильное устройство или трекер):
   1.1. Функция:
      1.1.1. Сканирование доступных Wi-Fi точек доступа и измерение уровня сигнала (RSSI) [4, 5].
   1.2. Технические ресурсы:
      1.2.1. Модуль Wi-Fi (встроенный в мобильные устройства, планшеты или трекеры) [1, 4].
      1.2.2. Процессор для обработки данных [3, 5].
      1.2.3. Батарея или источник питания.
   1.3. Оптимальные параметры:
      1.3.1. Высокочувствительный Wi-Fi модуль для точного измерения RSSI с минимальными задержками [4, 6].
2. Серверная часть (база данных отпечатков):
   2.1. Функция:
      2.1.1. Хранение и обработка "отпечатков" Wi-Fi сигналов, полученных на этапе калибровки [4, 8].
   2.2. Технические ресурсы:
      2.2.1. Сервер для хранения базы данных профилей Wi-Fi (Fingerprint Map) [5, 6].
      2.2.2. Алгоритмы сопоставления текущих значений RSSI с базой данных [4, 6, 8].
      2.2.3. Программное обеспечение для обработки данных (напр., на языке Python или в среде Arduino IDE) [1, 4].
   2.3. Оптимальные параметры:
      2.3.1. Эффективный алгоритм поиска и сопоставления данных (например, KNN – метод ближайших соседей или алгоритм на основе машинного обучения) [4, 5, 6].
      2.3.2. Минимальное время отклика для быстрого позиционирования [6, 9].
3. Инфраструктура Wi-Fi (точки доступа):
   3.1. Функция:
      3.1.1. Генерация сигналов Wi-Fi для сканирования и создания "отпечатков" местоположения [2, 4].
   3.2. Технические ресурсы:
      3.2.1. Существующие точки доступа Wi-Fi, расположенные равномерно в помещении [2, 7].
      3.2.2. Оптимизация расположения точек доступа для улучшения покрытия и снижения перекрытий [2, 4].
   3.3. Оптимальные параметры:
      3.3.1. Уровень сигнала на всех участках помещения выше минимального порога (для стабильного сканирования) [4, 7].
      3.3.2. Четкое покрытие пространства минимум 3–5 точками доступа в каждой зоне [4, 6].
4. Алгоритм работы системы:
   4.1. Этап калибровки (Offline Phase):
      4.1.1. Сбор данных о мощности сигналов (RSSI) от доступных точек доступа Wi-Fi в определенных местах помещения [4, 5, 8].

4.1.2. Создание "отпечатков" и занесение их в базу данных [4, 6].

4.2. Этап позиционирования (Online Phase):

4.2.1. Клиентское устройство сканирует доступные точки Wi-Fi и передает данные на сервер [4, 5].

4.2.2. Алгоритм на сервере сопоставляет полученные данные с базой "отпечатков" и определяет координаты устройства [4, 6].

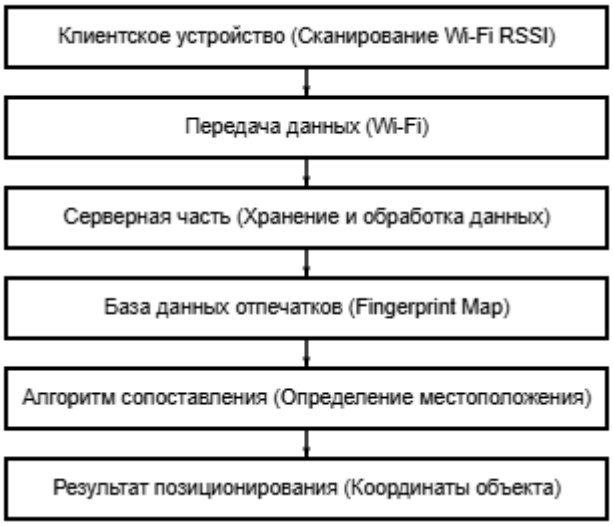


Рис. 1. Схема системы
Fig. 1. System diagram

Оптимальные параметры работы системы:

1. Частота сканирования: 1–2 раза в секунду для обеспечения актуальности данных [5, 6].

2. Точность позиционирования: 2–3 метра при оптимальном размещении точек доступа [4, 5, 6].

3. Объем базы данных: должен учитывать количество точек измерений и их взаиморасположение для минимизации погрешностей [6, 8].

4. Энергопотребление: Оптимизация алгоритмов для снижения нагрузки на клиентские устройства [3, 4, 9].

Таким образом, система локации, построенная с учетом доступных технических ресурсов и оптимальных параметров работы, обеспечивает точное и стабильное определение местоположения в закрытых помещениях [4, 5, 6].

Алгоритм сбора и обработки

Метод Wi-Fi Fingerprint для позиционирования состоит из двух основных фаз: фазы калибровки (Offline Phase) и фазы позиционирования (Online Phase) [4, 5, 6]. Эти этапы обеспечивают сбор, обработку и анализ данных о Wi-Fi сигналах с целью определения местоположения объекта [4, 6, 8].

Фаза калибровки (Offline Phase)

На этом этапе создается база данных "отпечатков" (Fingerprint Map), в которой фиксируются параметры сигналов Wi-Fi в разных точках пространства [4, 5, 6].

Алгоритм:

1. Инициализация системы: определяются точки пространства, в которых будут собираться данные (например, сетка координат с шагом 1–2 м) [4, 6, 8]. Устанавливается оборудование для сканирования (мобильное устройство или трекер с Wi-Fi модулем) [1, 4, 5].

2. Сканирование сигналов Wi-Fi: на каждой контрольной точке выполняется сканирование доступных Wi-Fi сетей [4, 5]. Для каждой точки доступа фиксируется мощность сигнала RSSI (Received Signal Strength Indicator) [4, 5, 6]. Многократное сканирование (например, 10–20 раз) для минимизации погрешностей [4, 6].

3. Обработка данных: рассчитывается среднее значение RSSI для каждой точки доступа по результатам многократных измерений [4, 5, 6]. Для каждой контрольной точки создается "отпечаток" – набор значений RSSI от всех доступных точек доступа Wi-Fi: $RSSI_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^{N} RSSI_i}{N}$, где N – количество измерений [5, 6].

4. Формирование базы данных: Полученные "отпечатки" (Fingerprint) заносятся в базу данных с привязкой к соответствующим координатам [4, 8].

База данных содержит: Координаты точки (x, y); Средние значения RSSI от каждой точки доступа Wi-Fi [4, 5].

Фаза позиционирования (Online Phase)

На этом этапе система определяет местоположение устройства на основе текущих значений сигналов Wi-Fi и сопоставления их с базой данных "отпечатков" [4, 5, 6].

Алгоритм:

1. Сканирование текущих значений RSSI: Мобильное устройство или трекер выполняет сканирование доступных Wi-Fi сетей в реальном времени [4, 5]. Фиксируются значения RSSI от каждой обнаруженной точки доступа [4, 6].

2. Предварительная обработка данных: исключаются "шумовые" значения или ненадежные данные (например, RSSI ниже определенного порога) [5, 6]. Для повышения точности рассчитывается среднее значение RSSI по нескольким сканированиям [4, 6].

3. Сопоставление с базой данных (Matching): используется алгоритм поиска ближайшего соответствия между текущими значениями RSSI и данными в базе Fingerprint [4, 6, 8]. Метод ближайших соседей (K-Nearest Neighbors, KNN): сравниваются текущие значения RSSI с каждым "отпечатком" в базе данных. Расстояние между значениями вычисляется по формуле евклидова расстояния: $D = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(RSSI_{current,i} - RSSI_{db,i})^2}$, где n – количество точек доступа [4, 5]. Выбирается точка с минимальным значением расстояния D, как наиболее вероятное местоположение [5, 6].

4. Определение координат: Координаты точки из базы данных, соответствующей текущему значению RSSI, принимаются за координаты устройства. В случае применения метода KNN учитывается усредненная позиция нескольких ближайших соседей для повышения точности [4, 6].

5. Вывод результатов: Определенные координаты передаются пользователю или визуализируются на карте помещения [4, 5].



Рис. 2. Фаза калибровки
Fig. 2. Calibration phase

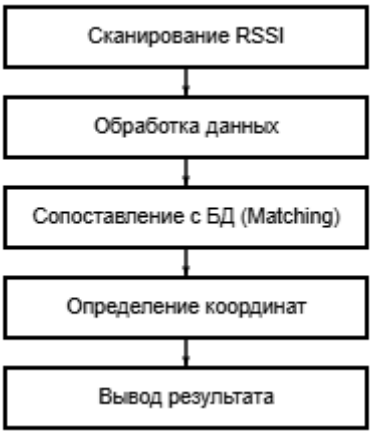


Рис. 3. Фаза позиционирования
Fig. 3. Positioning phase

Оптимизация алгоритма: Устранение помех и шумов: Применение фильтров (например, медианный фильтр) для сглаживания значений RSSI [5, 6]. Учет изменений среды: Регулярное обновление базы данных отпечатков для повышения актуальности [4, 8]. Смешанные методы: Интеграция с другими методами (например, триангуляция на основе времени прихода сигнала) для повышения точности [3, 6].

Таким образом, алгоритм сбора и обработки данных сигналов Wi-Fi обеспечивает эффективную и точную работу системы локации, позволяя определять местоположение объектов в закрытых помещениях с минимальными затратами и высокой производительностью [4, 5, 6].

Результаты измерений

В качестве станции системы локации использовался микроконтроллер ESP32, являвшийся объектом позиционирования [1, 4, 5].

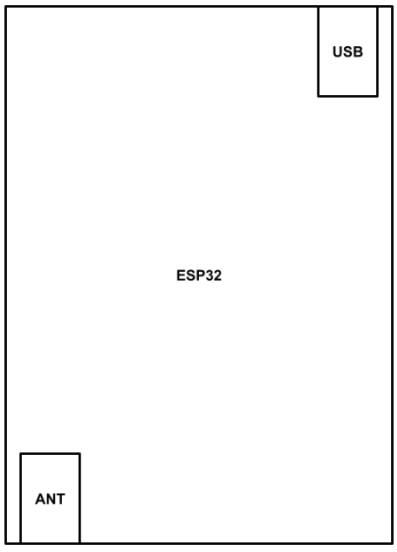


Рис. 4. Блок-схема станции
Fig. 4. Station block diagram

Позиционированный объект по беспроводной сети передал координаты точек позиционирования по системе удаления от базовых станций [4, 6]:

1. (63, 65, 55)
2. (61, 64, 46)
3. (58, 61, 61)

4. (68, 45, 72)

Было выделено 4 точки с известными параметрами, по которым в дальнейшем строится радиокарта [5, 8].

По ходу выполнения программы объект определяет свое текущее местонахождение. А после расчетов по выделенному каналу связи передает номер сектора, в котором находится. На основе данной информации оператор может выполнить визуализацию для пользователей или отправить положение объекта в следующий тракт для дальнейшего анализа системой [4, 6, 9].

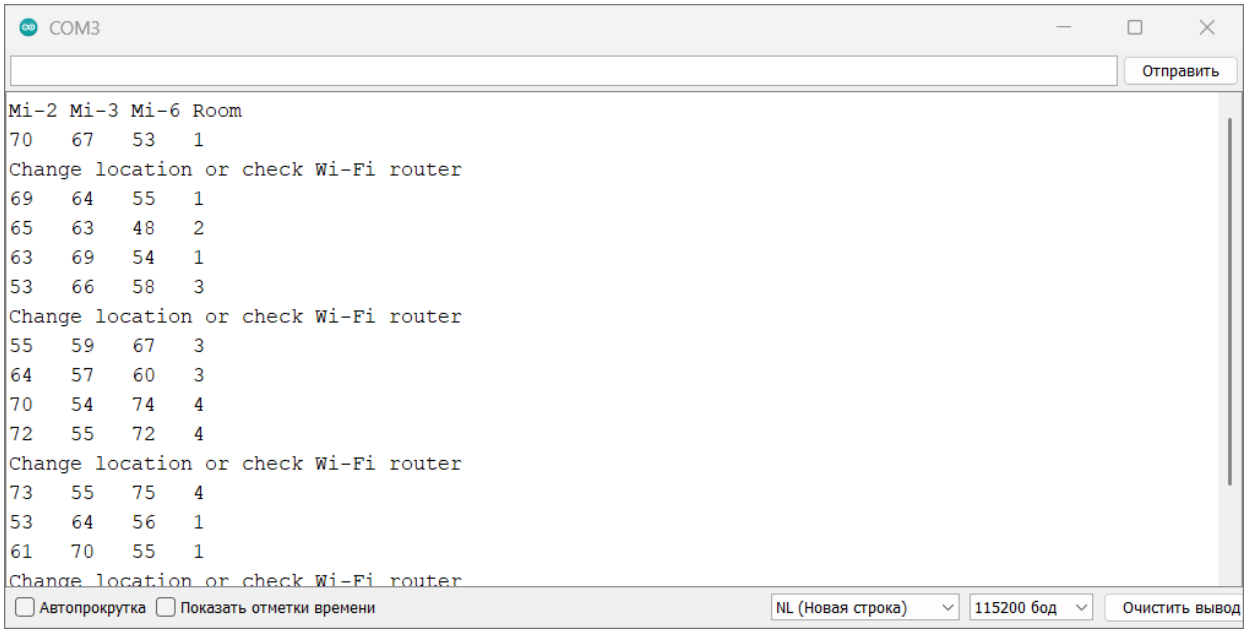


Рис. 5. Интерфейс передачи номера сектора
Fig. 5. Sector ID transmission interface

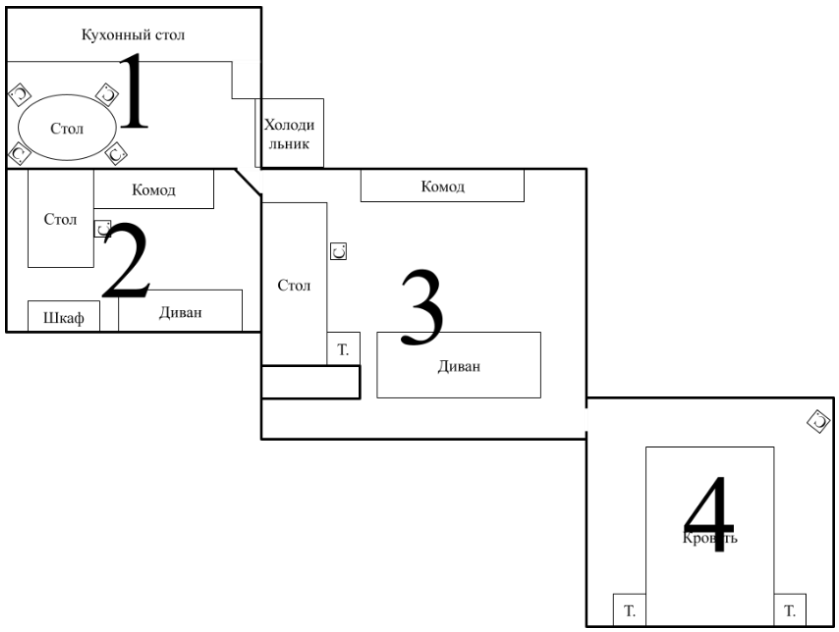


Рис. 6. Радиокарта
Fig. 6. Radiomap

Фаза калибровки (Offline Phase)

Для создания базы данных "отпечатков" (Fingerprint Map), в которой фиксируются параметры сигналов Wi-Fi в разных точках пространства были созданы таблицы с десятью измерениями в каждой точке калибровки позиционируемого пространства

Таблица 2. Измерения в первом секторе пространства

Номер измерения	Параметры точки А	Параметры точки Б	Параметры точки В
1	62	65	55
2	63	65	54
3	64	66	55
4	62	65	54
5	62	65	54
6	64	65	55
7	64	65	55
8	64	65	55
9	64	65	55
10	64	65	55
Округленное среднее значение	63	65	55

Сумма округленных средних значений равна 183.

Таблица 3. Измерения во втором секторе пространства

Номер измерения	Параметры точки А	Параметры точки Б	Параметры точки В
1	62	64	47
2	62	64	47
3	61	64	46
4	61	64	46
5	61	64	46
6	61	64	46
7	61	64	46
8	61	64	46
9	61	64	46
10	61	64	46
Округленное среднее значение	61	64	46

Сумма округленных средних значений равна 171.

Таблица 4. Измерения в третьем секторе пространства

Номер измерения	Параметры точки А	Параметры точки Б	Параметры точки В
1	60	61	61
2	59	61	61
3	59	61	61
4	58	61	61
5	59	61	61
6	58	61	61
7	58	61	61
8	58	61	61
9	58	61	61
10	56	62	59
Округленное среднее значение	58	61	61

Сумма округленных средних значений равна 180.

Таблица 5. Измерения в четвертом секторе пространства

Номер измерения	Параметры точки А	Параметры точки Б	Параметры точки В
1	67	47	73
2	67	42	73
3	68	43	72
4	68	47	72
5	68	42	72
6	67	48	72
7	67	47	72
8	68	48	72
9	68	42	72
10	68	42	72
Округленное среднее значение	68	45	72

Сумма округленных средних значений равна 185.

Фаза позиционирования (Online Phase)

На этом этапе система определяет местоположение устройства на основе текущих значений сигналов Wi-Fi и сопоставляет их с базой данных "отпечатков", определяя и передавая номер правильного сектора в систему интерфейса или оператору.

Таблица 6. Измеренные значения в случайной точке первого сектора

Номер измерения	Параметры точки А	Параметры точки Б	Параметры точки В	Номер сектора
1	67	62	54	1
2	67	62	54	1
3	67	62	54	1
4	67	62	54	1
5	67	62	54	1
6	67	62	54	1
7	69	60	55	1
8	69	60	55	1
9	70	62	54	1
10	69	65	55	1

Таблица 7. Измеренные значения в случайной точке второго сектора

Номер измерения	Параметры точки А	Параметры точки Б	Параметры точки В	Номер сектора
1	75	67	44	2
2	75	67	44	2
3	76	68	45	2
4	80	65	44	2
5	74	66	46	2
6	75	69	45	2
7	75	69	45	2
8	77	67	44	2
9	77	67	44	2
10	77	67	45	2

Таблица 8. Измеренные значения в случайной точке третьего сектора

Номер измерения	Параметры точки А	Параметры точки Б	Параметры точки В	Номер сектора
1	58	66	59	3
2	58	66	59	3
3	57	66	59	3
4	56	67	60	3
5	58	67	60	3
6	58	67	60	3
7	58	67	60	3
8	57	67	60	3
9	59	67	59	3
10	58	61	60	3

Таблица 9. Измеренные значения в случайной точке четвертого сектора

Номер измерения	Параметры точки А	Параметры точки Б	Параметры точки В	Номер сектора
1	70	48	74	4
2	66	45	76	4
3	70	46	75	4
4	71	49	77	4
5	72	45	71	4
6	69	50	75	4
7	72	46	73	4
8	72	44	73	4
9	72	44	73	4
10	72	47	75	4

При разделении пространства порядка нескольких десятков метров на метровые секторы точность достаточна велика. Но уменьшая объект или зоны разделения точность будет падать. В данном случае помещение приблизительно двадцать пять метров, и всего четыре сектора. Результатом является стопроцентное сопоставление зоны с местонахождением позиционируемого объекта в стабильных точках. На краях зон существуют нестабильные точки, исходы измерений в них непредсказуемы.

Способы применения технологии в космической отрасли

Wi-Fi fingerprint – ключевой компонент для создания автономной и адаптивной навигационной системы, способной функционировать в экстремальных условиях внеземных объектов, где традиционные средства позиционирования неприменимы [4, 5, 6].

В условиях строительства и эксплуатации лунных или марсианских баз, где применение глобальных навигационных спутниковых систем (GNSS) невозможно из-за отсутствия орбитальных спутников, особую актуальность приобретает использование автономных систем позиционирования [6, 9]. Одной из таких технологий может стать метод Wi-Fi fingerprint, позволяющий определять местоположение объектов внутри герметичных модулей и соединительных туннелей за счёт анализа параметров сигнала от локальных Wi-Fi точек доступа [4, 5].

На этапе строительства базы Wi-Fi fingerprint может использоваться для координации перемещения людей и роботов внутри уже возведённых сегментов станции. Работники, снабжённые устройствами со встроенными Wi-Fi модулями, смогут в реальном времени определять своё местоположение относительно внутренней радиокарты, сформированной на основе предварительной калибровки [4, 6, 8]. Это обеспечит безопасную навигацию в условиях ограниченной видимости, герметичных отсеков и сложной топологии сооружений. Особенно это важно при возникновении аварийных ситуаций, когда скорость эвакуации зависит от точного знания текущего положения персонала и оптимальных путей выхода [5, 6].

Кроме того, система может быть интегрирована в инфраструктуру интеллектуального управления ресурсами базы. В зависимости от локации конкретного астронавта возможно автоматическое включение освещения, вентиляции, подача кислорода или активация научного оборудования, что позволит значительно сэкономить ресурсы [2, 4]. В случае автономной работы мобильных роботов метод Wi-Fi fingerprint обеспечит их надёжную навигацию без необходимости внешней ориентации, позволяя эффективно выполнять задачи по обслуживанию, доставке грузов и мониторингу состояния базовых конструкций [3, 5, 6].

Одним из ключевых применений Wi-Fi fingerprint на орбитальных станциях является автоматическое определение текущего местоположения членов экипажа в режиме реального времени [4, 5, 6]. В условиях замкнутого пространства, большого количества оборудования и ограниченного визуального контроля такая система позволяет значительно повысить уровень оперативной безопасности [6, 9].

В случае аварийной ситуации (например, разгерметизации, задымления или потери связи), система моментально покажет, где находится каждый космонавт, что критично для спасательных мероприятий и быстрой эвакуации. Помимо этого, информация о перемещениях используется для автоматического формирования журналов работы: система регистрирует, кто и когда находился в конкретном модуле или отсеке, что упрощает учёт активности и выполнение графиков задач [4, 6]. Также можно собирать статистические данные о перемещениях по станции, что полезно для планирования маршрутов, анализа продуктивности и оптимизации пространства [5, 6, 8].

Wi-Fi fingerprint также может использоваться для точного отслеживания научных приборов, инструментов и другого переносного оборудования на борту станции [5, 8]. В условиях микрогравитации объекты могут легко перемещаться или быть случайно оставлены в разных модулях, а ручной поиск требует значительных временных затрат [4, 5].

Система позиционирования позволит быстро и точно определить местоположение нужного предмета, обеспечивая быстрый доступ к оборудованию в случае срочной

необходимости. Это также снижает вероятность потери или повреждения мелких, но ценных устройств. Дополнительно возможно внедрение автоматизированного инвентаря, в котором каждое устройство будет "привязано" к координатам внутри станции, а его перемещения будут фиксироваться в журнале без участия человека [4, 5, 8].

Современные космические станции активно внедряют автономные платформы, такие как роботы-ассистенты (например, Astrobee от NASA). Для их эффективного функционирования в замкнутом пространстве необходима точная внутренняя навигация, не зависящая от внешних систем позиционирования [5, 6].

С помощью Wi-Fi fingerprint роботы могут ориентироваться в пространстве, точно определяя своё положение в каждом модуле станции. Это открывает возможности для доставки инструментов или образцов, выполнения патрулирования и визуальных осмотров оборудования, а также взаимодействия с экипажем, например, в виде сопровождения или помощи при проведении научных экспериментов [4, 5, 6]. Надёжное позиционирование повышает уровень автономности роботов и уменьшает нагрузку на членов экипажа [3, 5].

Новые участники экипажа или гости станции (например, космические туристы или исследователи в рамках краткосрочных миссий) сталкиваются с задачей быстрой ориентации в сложной структуре станции. Система Wi-Fi fingerprint может служить основой для интерактивной навигационной поддержки [4, 5, 6].

При входе в модуль пользователю может автоматически отображаться контекстная информация, например: «Вы находитесь в модуле Destiny. Здесь проводят биомедицинские исследования. Следующий модуль — Unity, соединительный отсек». Навигационные стрелки могут выводиться на экранах планшетов или через очки дополненной реальности (HUD), позволяя новичку быстро понять, куда двигаться и что его окружает. Также возможна автоматизация обучающих экскурсий по станции — система определяет местоположение и предлагает сопровождающие пояснения по маршруту [4, 5].

Для оптимизации использования ресурсов жизнедеятельности станции Wi-Fi fingerprint может быть использован как сенсор присутствия, определяющий, есть ли человек в конкретном отсеке [2, 4]. Это позволяет автоматизировать включение и выключение систем освещения, вентиляции, подачи кислорода и других сервисов на основе фактического нахождения экипажа [2, 4, 6].

Такая система повышает энергоэффективность станции, снижает износ оборудования и делает обстановку более комфортной — всё нужное активируется в нужное время, без ручного вмешательства. Кроме того, такие функции особенно актуальны при переходе к автономным или удалённо управляемым базам, где экономия ресурсов критична [2, 3, 4].

Система Wi-Fi fingerprint может быть использована не только в технических, но и в психолого-медицинских целях. Путём анализа перемещений членов экипажа можно выявлять поведенческие паттерны: кто сколько времени проводит в одиночестве, как часто взаимодействует с другими, какие маршруты выбирает и т.д. [4, 5, 6].

Такая информация помогает выявлять признаки усталости, изоляции, стресса или отклонения от привычных схем поведения, что может быть индикатором психологических или физиологических проблем. Также это даёт возможность оптимизировать рабочие и личные графики, перераспределить зоны активности, улучшить компоновку модулей и создать более комфортную среду для длительных миссий, в том числе на Луну и Марс [5, 6, 9].

Заключение

Технология Wi-Fi fingerprint обладает высоким потенциалом для использования в составе навигационных и вспомогательных систем в космосе. Её применение на орбитальных станциях и внеземных базах способствует повышению безопасности, эффективности и автономности миссий.

Список источников

1. Arduino.cc. Документация по среде разработки arduino IDE [Электронный ресурс]. – URL: https://www.arduino.cc/ (дата обращения: 16.06.2024).

2. Cisco Systems. Wireless Network Design Guide [Электронный ресурс]. – URL: https://www.cisco.com/ (дата обращения: 18.06.2024).
3. *Palaniswami M., Zomaya A.* Wireless Sensor Networks: Applications and Advances. – Elsevier, 2022. – 320 p.
4. *Sadowski S., Spachos P.* Wi-Fi Positioning Systems: Principles and Applications. – Springer, 2020. – 240 p.
5. *Wang J., Yang H.* Indoor Wireless Localization Techniques: Principles and Applications. – CRC Press, 2021. – 280 p.
6. *Zafari F., Gkelias A., Leung K.K. A* Survey of Indoor Localization Systems and Technologies // IEEE Communications Surveys & Tutorials. – 2019. – Vol. 21, No. 3. – P. 2564–2599.
7. *Гольдштейн Б.С., Ильин А.А.* Технологии беспроводной передачи данных. – М.: Техносфера, 2020. – 320 с.
8. *Ильясов М.Н., Тихонов А.В.* Методы и системы локализации в сетях Wi-Fi. – СПб.: БХВ-Петербург, 2023. – 368 с.
9. *Курятников А.В., Кутепов А.В.* Системы радиосвязи: современные технологии и перспективы. – М.: Горячая линия – Телеком, 2021. – 416 с.
10. *Таненбаум Э., Уэзеролл Д.* Компьютерные сети: учебник / пер. с англ. 6-е изд. – М.: Питер, 2019. – 960 с.

A LOCATION SYSTEM USING WI-FI FINGERPRINT

M.M. Repin [1], **E.A. Chistyakov** [2]
[1–2] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] max18441930@gmail.com, [2] chistyakov@mirea.ru

Abstract

In today's world, positioning systems play a key role in various fields, including logistics, navigation, robotics, as well as in ensuring the daily comfort of mobile device users. Particular attention is paid to location technologies in enclosed spaces, where traditional methods based on global navigation satellite systems (GNSS) are becoming ineffective due to the lack of direct access to satellite signals. In this context, positioning systems using the Wi-Fi fingerprint method are becoming particularly relevant.

Keywords

Wi-Fi fingerprint, indoor positioning, RSSI (received signal strength indicator), calibration (offline phase), positioning (online phase), location system, Wi-Fi module, data acquisition and processing algorithm, ESP32, navigation and monitoring, fingerprint database (fingerprint map), proximity method neighbors (KNN), system architecture, system testing, machine learning algorithms, positioning accuracy, radio card, security systems, arduino IDE, Internet of Things (IoT).

УДК 537.226.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МАТЕРИАЛОВ АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ 3D-ПЕЧАТИ

А.В. Азаров[1], А.А. Политико[2], С.С. Рожков[3], В.А. Дьяконов[4]
[1,3] Акционерное общество «Научно-исследовательский институт «Вектор» (г. Санкт-Петербург, Россия)
[2,4] Акционерное общество «Композит» (г. Королёв, Московская область, Россия)
[1] andrey_91@bk.ru, [2] info@kompozit-mv.ru, [3] ssr.kgd@mail.ru, [4] info@kompozit-mv.ru

Аннотация

По мере развития аддитивных технологий растёт спрос на их использование во многих наукоёмких отраслях промышленности. Во-первых, аддитивные технологии позволяют создавать геометрию, которую невозможно реализовать с помощью субтрактивных технологий. Во-вторых, 3D-печать с каждым годом становятся доступнее по мере появления у производителей 3D-оборудования новых продуктов для всех сегментов рынка. Одной из отраслей применения 3D-печати в рамках быстрого прототипирования лабораторных образцов, а также разработки серийных изделий является радиотехническая отрасль. Однако радиотехника тесно связана с физическими процессами распространения радиоволн, что выдвигает жёсткие требования к допустимым к применению материалам в части их электродинамических свойств и параметров. Обращаясь к линейкам материалов производителей пластиков для 3D-печати, практически невозможно найти информацию об электродинамических параметрах материалов, в частности о значениях диэлектрической проницаемости в широкой полосе частот СВЧ диапазона. Отсутствие этой информации сильно затрудняет выбор допустимых к применению материалов в процессе разработки и создания макета или прототипа. В этой статье представлены результаты экспериментальных исследований электродинамических параметров пластиков, используемых в 3D-печати. В том числе, получены результаты исследований комплексной диэлектрической проницаемости группы пластиков типа полиэтилентерефталат-гликоль (PET-G) и акрилонитрилбутадиенстирол (ABS) с различными красящими пигментами в составе от двух разных производителей.

Ключевые слова

Диэлектрическая проницаемость, тангенс угла диэлектрических потерь, коэффициент прохождения, аддитивные технологии производства, быстрое прототипирование, электродинамические параметры, 3D-печать.

A brief version in English is given at the end of the article.

Введение

Аддитивные технологии 3D-печати в радиотехнической отрасли незаменимы для быстрого прототипирования (кронштейны, корпуса, обтекатели и др.), что позволяет экономить время разработки и минимизировать необходимость доработки изделий после получения образца из промышленного производства [1—3]. На сегодняшний день существует широкий перечень материалов для печати — от композитов, в состав которых входит дерево и керамика, до печати металлом. Наиболее доступной и повсеместной является печать пластиками типа ABS и PET-G. Каждый из материалов имеет свои уникальные физические свойства, что определяет место и условия эксплуатации изделий, выполненных из этих материалов. Так, например, ABS имеет температуру размягчения порядка 105 °C, что на 25 °C выше, чем у PET-G. Это обстоятельство позволяет использовать пластики типа ABS в условиях с большим нагревом окружающей среды и прилегающих поверхностей. Полиэтилентерефталат-гликоль PET-G, в свою очередь, является гипоаллергенным и абсолютно безопасным для человека при постоянном контакте (преимущественно из этого типа пластика делают бутылки для воды, детские игрушки).

Но в радиотехнике помимо механических свойств необходимо учитывать электродинамические свойства материалов (диэлектрическая проницаемость ε, тангенс угла диэлектрических потерь tg(δ)), которые влияют на преломление, отражение, поглощение и распространение электромагнитных волн (ЭМВ). На момент написания этой статьи выявлено, что производители пластиков для 3D-печати практически не размещают у себя технических условий (ТУ) и не предоставляют информации об этих параметрах, потому что нет документа,

регламентирующего нормы электродинамических параметров материалов для 3D-печати и обязывающего контролировать допуска отклонений от этих норм. Даже в рамках продуктовой линейки материалов одного производителя в зависимости от красящего пигмента или партии производства электродинамические характеристики материалов могут отличаться.

Разработанные АО «Институт пластических масс имени Г.С. Петрова» ГОСТы на филаменты для аддитивных технологий [4, 5] выдвигают требования, что пластмассы, применяемые для изготовления филамента, должны сопровождаться документами о качестве или ТУ с указанием физических свойств, но в результате выполнения производственных циклов полученный композит будет отличаться по физическим свойствам от материалов, входящих в состав композита. Также на сегодняшний день большинство производителей не руководствуются этими ГОСТами. Целью настоящей статьи является исследования электродинамических параметров, а именно комплексной диэлектрической проницаемости ε и тангенса угла диэлектрических потерь tg(δ), самых востребованных из применяемых в аддитивных технологиях пластиков (ABS и PET-G) с описанием метода измерения этих характеристик.

Для поддержания интереса к тематике статьи среди научного сообщества можно обратиться к авторам1,3 публикации для получения подробной информации об исследуемых пластиках и для получения образцов, имеющихся в наличии на момент обращения.

Методы 3D-печати и их классификация

Для производства серийных и лабораторных образцов изделий и оснастки в радиотехнической отрасли используют два типа производственных технологий — субтрактивную и аддитивную [6].

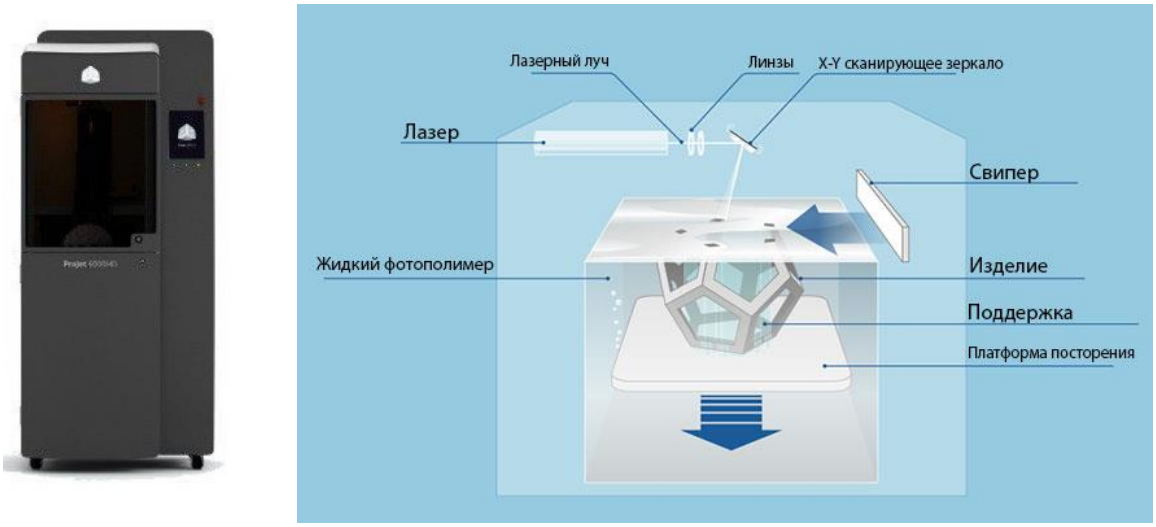
Идеология субтрактивных технологий заключается в послойном удалении материала из заготовки с помощью инструмента (фрезы) таким образом, чтобы сформировать плоскости, пазы, лыски и т.д.

К достоинствам данного метода можно отнести высокую точность изготовления и повторяемость, высокую производительность, возможность выполнять изделия любой сложности без брака (по сравнению с ручной фрезеровкой). К недостаткам данного метода производства относятся: необходимость разбиения сложной геометрии на составные более простые части при проектировании конструктива, также высокая стоимость оборудования по сравнению с аддитивными технологиями и высокая стоимость расходных материалов по сравнению с аддитивными технологиями.

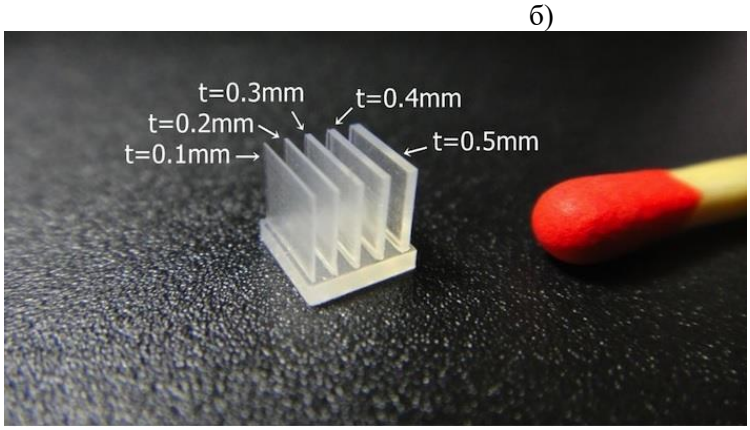
Идеология аддитивных технологий заключается в послойном наращивании из различных типов материалов изделия таким образом, чтобы придать ему необходимую форму и прочностные характеристики. Есть ряд схожих по принципу аддитивных технологий современного производства.

Стереолитография (SLA от англ. Stereolithography) — технология аддитивного производства моделей, прототипов или готовых изделий из жидких фотополимерных смол. Отверждение фотополимерной смолы происходит за счет излучения ультрафиолетового лазера или другого схожего источника энергии.

Пример стереолитографического аппарата, устройство его рабочей камеры и пример изготовленного методом SLA образца представлены на рисунке 1.



а) б)



в)

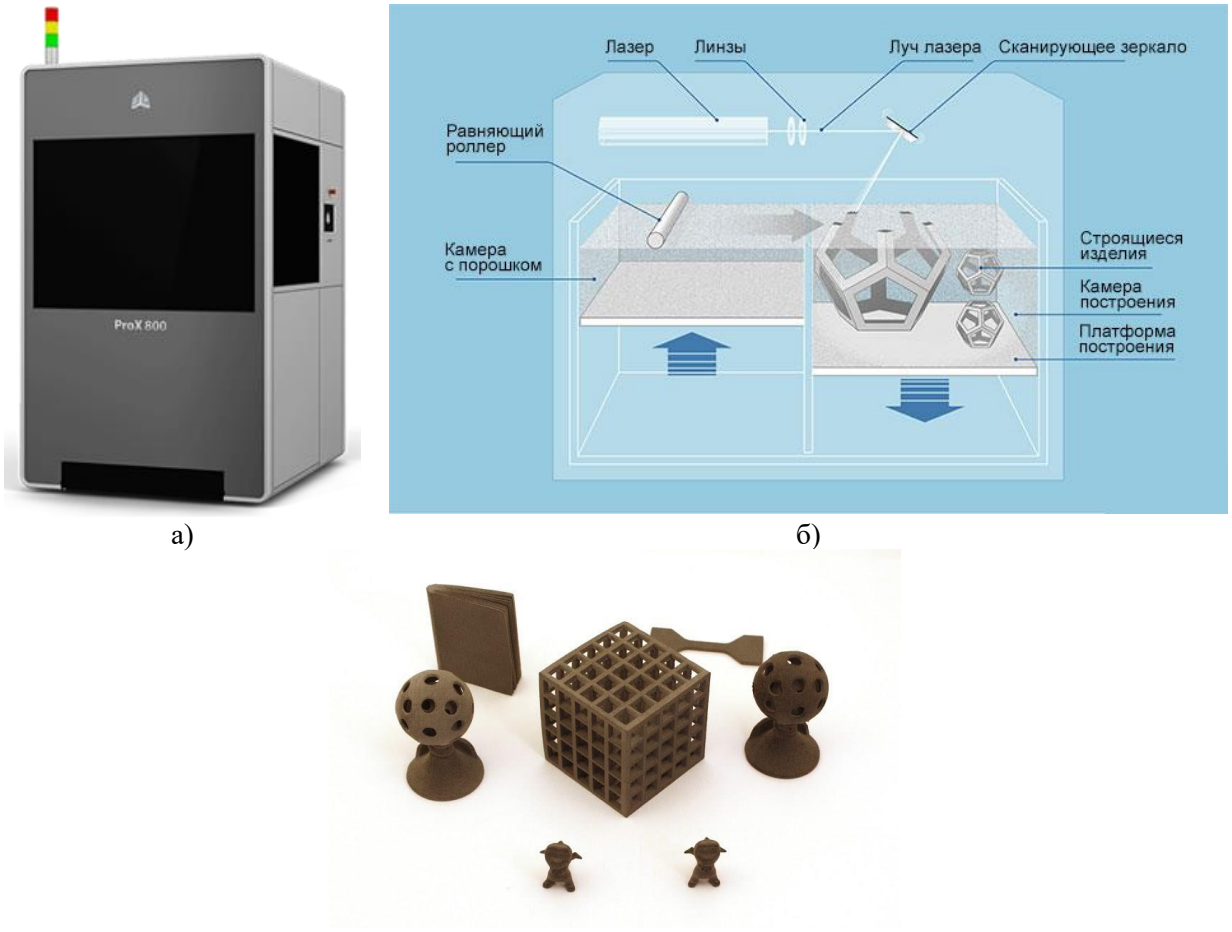
Рис. 1. Стереолитографический аппарат:
а) принтер 3D Systems «ProJet 6000 HD»; б) принцип устройства; в) пример изготовленных моделей
Fig. 1. SLA Printer:
a) 3D Systems «ProJet 6000 HD»; b) principle of technology; c) manufactured model

С помощью данного метода производства можно изготовить модели любой сложности (тонкостенные детали, мелкие детали) с высокой точностью построения и чистотой поверхности (15 мкм). Благодаря физическим прочностным свойствам применяемых полимеров можно использовать выращенный прототип в качестве готового изделия, а обработка прототипа не составляет сложностей и не требует дорогостоящего оборудования и инструментов. Низкий процент расходного материала требуется для создания вспомогательных временных структур модели — «поддержек».

К недостаткам данного метода производства можно отнести высокую стоимость оборудования по сравнению с другими технологиями 3D-печати (на примере бюджетного аппарата стоимость составляет порядка 10 000 000 ₽), высокую стоимость расходного материала по сравнению с материалами для FDM технологии 3D-печати (стоимость 1 л фотополимера около 10 000 ₽). Также необходимо приобретать дополнительное оборудование — ультрафиолетовый шкаф для окончательной полимеризации модели.

Селективное лазерное спекание (SLS от англ. selective laser sintering) – технология аддитивного производства, основанная на послойном спекании порошковых материалов (полиамиды, пластик) с помощью луча углекислотного импульсного лазера. Перед началом печати расходный материал подогревается до температуры чуть ниже точки плавления, чтобы облегчить процесс спекания. В качестве расходных материалов используются частицы с тугоплавким центром и оболочкой из более плавкого материала.

Пример аппарата селективного лазерного спекания и его устройство представлены на рисунке 2.



а) б)

в)

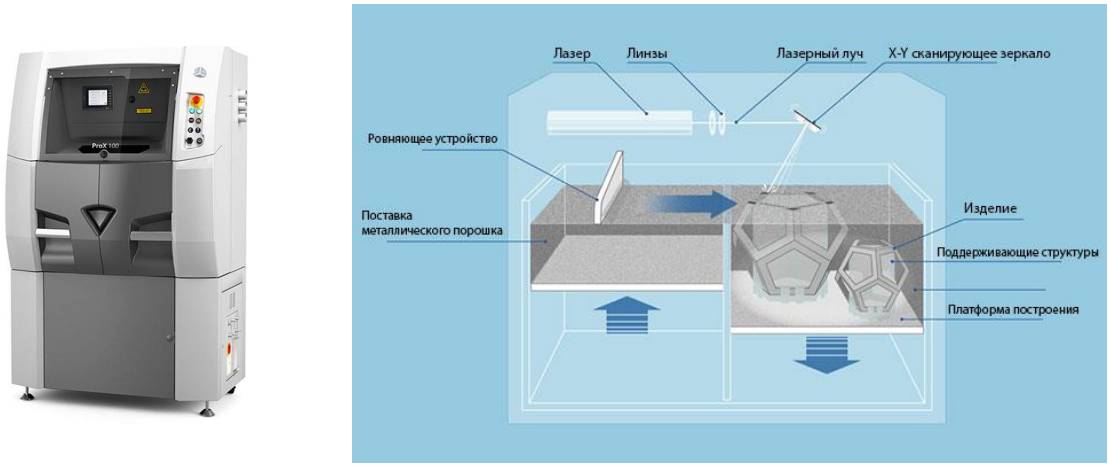
Рис. 2. Аппарат селективного лазерного спекания:
а) Принтер 3D Systems «ProX 800»; б) принцип устройства; в) пример изготовленных моделей
Fig. 2. SLS Printer:
a) 3D Systems «ProX 800»; b) principle of technology; c) manufactured model

В отличие от других методов аддитивного производства SLS не требует построения поддерживающих структур. Навесные части модели поддерживаются неизрасходованным материалом. Такой подход позволяет добиться практически неограниченной геометрической сложности изготовляемых моделей. Также при высокой точности построения и высокой степени гладкости и однородности поверхности изготовленного прототипа он достаточно легко придаётся механической обработке.

К недостаткам данной технологии производства относятся высокая стоимость оборудования (недорогой аппарат будет стоить порядка 50 000 000 ₽), высокая стоимость расходного материала (стоимость 1 кг порошка около 80 000 ₽). Также желательно приобрести дополнительное оборудования — станцию очистки от остатков незадействованного порошка.

Селективная лазерная плавка (SLM от англ. selective laser melting) – метод аддитивного производства моделей, использующий лазеры высокой мощности для создания трехмерных физических объектов за счёт плавки металлических порошков.

Пример аппарата селективной лазерной плавки, его устройство и пример модели, изготовленной по данной технологии, представлены на рисунке 3.



а) б)

в)

Рис. 3. Аппарат селективного лазерной плавки:
а) Принтер 3D Systems «ProX 100»; б) принцип устройства; в) пример изготовленных моделей
Fig. 3. SLM Printer:
a) 3D Systems «ProX 100»; b) principle of technology; c) manufactured model

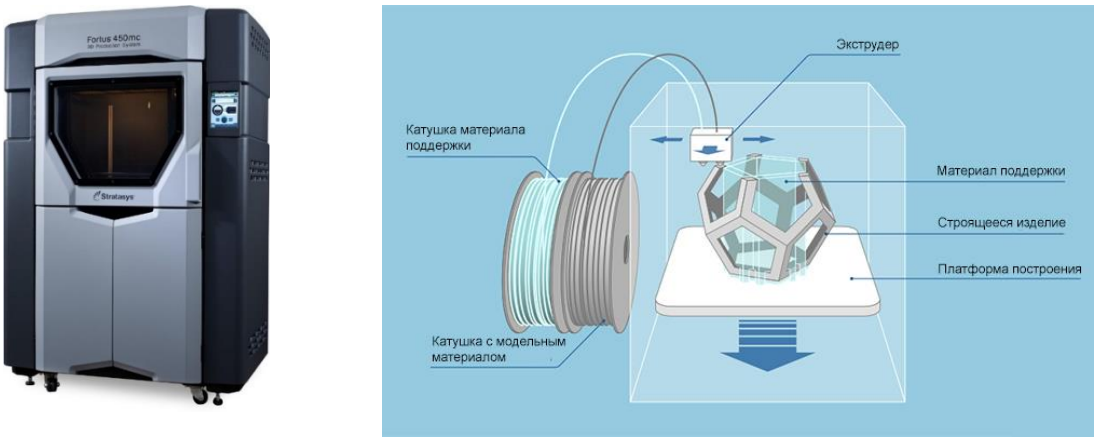
Метод селективной лазерной (SLM) плавки идентичен методу селективного лазерного спекания (SLS) за исключением разницы применяемого лазера и материала порошка. Процесс печати протекает в рабочей камере, заполняемой инертными газами (например, аргоном). Отсутствие кислорода позволяет избегать оксидации расходного материала, что делает возможной печать такими материалами, как титан. Мощность лазерного излучателя достаточно высока для плавки частиц порошка в гомогенный материал. Материалами являются порошковые металлы и сплавы, включая нержавеющую сталь, инструментальную сталь, кобальт-хромовые сплавы, титан, алюминий, золото и т.п.

К достоинствам данной технологии производства относятся изготовление готовых функциональных моделей любой сложности (тонкостенные детали, мелкие детали), из-за применяемых при производстве материалов прочность значительно выше в сравнении с технологиями SLA, SLS, FDM, есть возможность повторно применять неиспользованный при печати материал, заполнявший камеру.

Недостатками данной технологии аддитивного производства являются высокая стоимость оборудования (самый простой аппарат будет стоить порядка 25 000 000 ₽), высокая стоимость расходного материала (стоимость 1 кг металлического порошка будет стоить порядка 250 000 ₽). Также необходимо закупать дополнительное оборудование для отделения модели от стола и для постобработки поверхностей.

Моделирование послойным наплавлением (FDM от англ. fused deposition modeling) — технология аддитивного производства трехмерных моделей методом послойного наплавления рабочего материала (прутка).

Пример промышленной модели аппарата послойного наплавления, его устройство и примеры моделей, изготовленные по данной технологии представлены на рисунке 4.



а) б)



в)

Рис. 4. Аппарат послойного наплавления:
а) Принтер Stratasys «Fortus 450mc»; б) принцип устройства; в) пример изготовленных моделей
Fig. 4. FDM Printer:
a) 3D Systems « Fortus 450mc »; b) principle of technology; c) manufactured model

Метод послойного наплавления основан на выдавливании («экструзии») и нанесением микрокапель расплавленного материала (термопластика, композита и т.д.) с формированием последовательных слоев, застывающих сразу после экструдирования. Процесс непосредственной 3D-печати происходит следующим образом: нагревающая головка с фильерами (экструдер) расплавляет тонкую пластиковую нить (пруток) и послойно укладывает ее согласно цифровой модели, далее стол опускается на высоту слоя, цикл повторяется до полного завершения построения модели. После завершения процесса построения готовое изделие может быть использовано в напечатанном виде или подвергнуто любому способу постобработки в том числе химической для получения необходимой чистоты поверхности прототипа.

К достоинствам данной технологии аддитивного производства относятся низкая стоимость оборудования (недорогой профессиональный аппарат стоит примерно 1 500 000 ₽, непрофессиональный можно приобрести от 25 000 ₽), низкая стоимость расходных материалов (стоимость 1 кг прутка из пластика от 1 500 ₽).

Среди недостатков данной технологии можно выявить более низкое качество печати в сравнении с другими технологиями 3D-печати (такими как SLA, SLS, SLM), ограниченность печати тонкостенных элементов, требование к постобработке модели после изготовления, а также необходимость разработки поддерживающих структур при проектировании.

На сегодняшний день для быстрого прототипирования кронштейнов, креплений, конструкционных элементов и обтекателей в рамках производства штучных изделий

(лабораторных образцов и макетов) наиболее выгодна и доступна FDM-печать. При необходимости пластиковую модель можно металлизировать (распылением токопроводящей краски, методом гальванизации и др.). Поэтому экспериментальные исследования электродинамических параметров материалов были проведены именно из линейки пластиковых прутков (PLA и ABS), используемых в FDM-печати. Для проведения исследований были напечатаны при помощи аддитивной технологии FDM-печати образцы пластиков прямоугольной формы размерами 200×200 мм и толщиной 0,6…0,7 мм. Внешний вид исследуемых образцов представлен на рисунке 5.

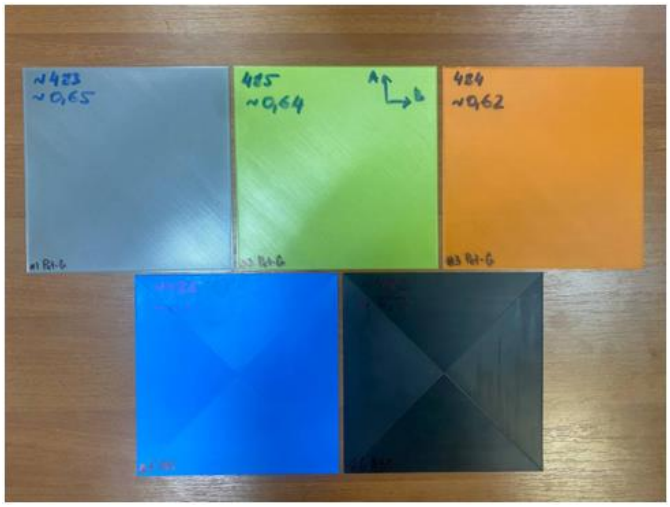


Рис. 5. Образцы пластиков для измерения электродинамических параметров материалов
Fig. 5. Samples of the plastics for measuring electromagnetic parameters of materials

Метод экспериментальных исследований электродинамических параметров материалов

Для измерения комплексной диэлектрической проницаемости материалов в СВЧ диапазоне обычно используют три подхода: методы линии передачи, резонаторный метод и метод свободного пространства. Измерениям параметров материалов в линиях передачи посвящен ряд научных работ [7, 8]. Данный метод позволяет измерять диэлектрическую проницаемость материалов в достаточно широкой полосе частот, однако при этом обладает рядом определенных недостатков [9]. Главным из них является то, что при измерениях в коаксиальных/волноводных ячейках и линиях передачи неизбежно возникают зазоры между образцом и измерительными электродами. В итоге это приводит к появлению неконтролируемых погрешностей измерений – значения диэлектрической проницаемости при измерениях получаются заниженными и не соответствуют результатам измерений того же образца в свободном пространстве, то есть в том случае, когда указанных погрешностей нет.

Резонаторный метод в отличие от методов линии передач обладает более высокой точностью. Данный метод обладает высокой чувствительностью, обеспечивает раздельное измерение диэлектрической и магнитной проницаемости материала, применим в широком диапазоне частот от единиц МГц до десятков ГГц. В его основе лежит метод малых возмущений поля в резонаторе небольшим образцом материала. При введении в колебательную систему (резонатор) образца ее основные параметры (добротность и резонансная частота) изменяются. Далее по результатам изменений этих параметров определяются действительная и мнимая часть диэлектрической проницаемости исследуемого образца материала. В работах [10, 11] рассматривается применение резонаторов для измерения диэлектрической проницаемости материалов. Однако существенным недостатком данного метода является его узкополосность, т.к. измерения могут выполняться только на одной фиксированной частоте или ряде дискретных частот в случае использования многомодового резонатора. Кроме того, этот метод накладывает существенные ограничения, связанные с

измеряемыми образцами, а именно, необходимо, чтобы образцы обладали достаточно малой толщиной и имели относительно низкие диэлектрические потери.

В этой связи для проведения исследований электродинамических параметров образцов пластиков выбран бесконтактный метод измерений в свободном пространстве. Некоторые аспекты метода свободного пространства заимствованы из оптики, в силу этого он также носит название квазиоптический. Идея квазиоптического метода состоит в наблюдении проходящих и отраженных от среды ЭМВ, собранных в узкие пучки с помощью подходящих направляющих устройств (источников и приемников излучения). В качестве таких фокусирующих устройств, как правило, используются направленные антенны.

В рассматриваемом методе определение комплексной диэлектрической $\varepsilon = \varepsilon' + j\varepsilon''$ (j – мнимая единица) проницаемости плоских образцов немагнитных материалов, магнитная проницаемость которых равна единице, основано на измерении значений комплексного коэффициента прохождения образцов и применении формул Френеля [12]. В качестве измерителя комплексного коэффициента прохождения используется векторный анализатор электрических цепей (ВАЦ) R&S типа ZVA. ВАЦ осуществляет измерения частотных зависимостей коэффициента прохождения (параметр S21) образцов с помощью сверхширокополосных диафрагмированных линзовых рупорных антенн, подключенных к его портам посредством СВЧ кабелей. Ввиду того, что сами измеряемые образцы имеют конечные геометрические размеры, при проведении измерений они помещаются на окно круглой металлической диафрагмы Ø180 мм с нанесенными на нее радиопоглощающими материалами, что необходимо для минимизации вклада от процессов дифракции на краях образцов. Применяемые линзовые рупорные антенны располагаются на таком расстоянии от образцов, при котором обеспечивается на их поверхности фронт электромагнитной волны близкий к плоскому амплитудно-фазовому распределению поля.

На рисунке 6 показана принципиальная схема измерительной установки.

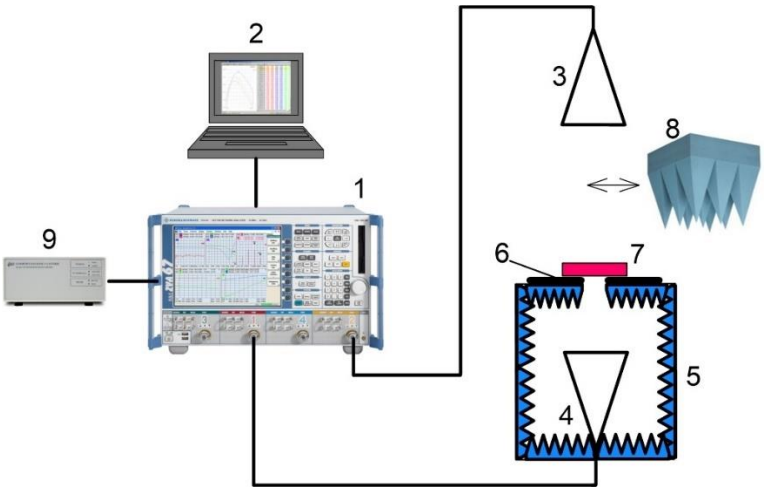


Рис. 6. Принципиальная схема экспериментальной измерительной установки: 1 – ВАЦ R&S типа ZVA; 2 – ПК; 3,4 – широкополосная рупорная линзовая антенна; 5 – антенный стол; 6 – металлическая диафрагма с нанесенным радиопоглощающим покрытием; 7 – измеряемый образец; 8 – пирамидальный радиопоглощающий блок; 9 – рубидиевый стандарт частоты

Fig. 6. Block diagram of the experimental measurement bench: 1 – VNA of type R&S ZVA; 2 – PC; 3,4 – wideband lens horn antenna; 5 – shielding chamber with a radar absorbing material inside; 6 – metal diaphragm with a radar absorbing material coating on it; 7 – test sample; 8 – pyramidal microwave absorber; 9 – rubidium frequency standard

Перед началом измерений параметра S21 для устранения паразитных переотражений в СВЧ тракте, включая отражения от диафрагмы, производится процедура калибровки измерительного стенда, заключающаяся в измерении матриц двух комплексных сигналов – Bgr (фон) и Resp (стандартный отклик), как показано в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики калибровочных сигналов при измерении S-параметров

Тип	**Коэффициент прохождения (параметр S_{21})**
Bgr	Окно диафрагмы закрыто металлическим экраном
Resp	Окно диафрагмы открыто (свободно)
Measure	Образец расположен на диафрагме

После записи этих сигналов возможна запись матрицы комплексного сигнала Measure, представляющего собой матрицу некалиброванных значений параметра S21 образца. Истинное комплексное значения матрицы параметра S21 образца рассчитывается по формуле преобразования из измеренных трех базовых матриц параметров следующим образом:

$$S_{21} = \frac{S_{21}(Measure) - S_{21}(Bgr)}{S_{21}(Resp) - S_{21}(Bgr)}. \quad (1)$$

При расположении образца материала или покрытия в плоскости диафрагмы возникают множественные переотражения между образцом, антеннами и окружающим пространством. Для минимизации влияния переотражений СВЧ сигнал преобразуется во временную область с помощью обратного Фурье-преобразования [13]. Затем производится выделение полезного сигнала с использованием полосового фильтра на основе окна Кайзера-Бесселя:

$$p(t) = \begin{cases} \dfrac{J_0\left[\beta\sqrt{1-(t/\tau)^2}\right]}{J_0(\beta)}, & |t| \le \tau \\ 0, & |t| > \tau \end{cases}, \quad (2)$$

где $J_0(\beta) = \sum_{k=1}^{\infty}\left[\frac{\left(\frac{\beta}{2}\right)^k}{k!}\right]^2$ – модифицированная функция Бесселя нулевого порядка; τ – ширина окна; β – неотрицательное действительное число, определяющее форму окна.

После процедуры прямого Фурье-преобразования получаем частотную зависимость функции коэффициента прохождения S21 в сглаженном виде.

Далее рассмотрим процедуру вычисления комплексной диэлектрической проницаемости немагнитных образцов материалов из результатов измерений частотной зависимости коэффициента прохождения. Представим в упрощенном виде эквивалентную длинную линию [14], соответствующую методу свободного пространства, которая показана на рисунке 7. В эквивалентной длинной линии входной импеданс ZBX образца, находящегося в плоскости диафрагмы, будет определяться:

$$Z_{BX} = \frac{ch(-j\gamma d) + Zsh(-j\gamma d)}{(1/Z)sh(-j\gamma d) + ch(-j\gamma d)} = \frac{cos(\varphi) - jZ\,sin(\varphi)}{cos(\varphi) - j(1/Z)\,sin(\varphi)}, \quad (3)$$

где γ – постоянная распространения ЭМВ в образце в свободном пространстве; d – толщина образца материала; φ = γd – набег фазы при прохождении ЭМВ через измеряемый образец; $Z = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}$ – волновое сопротивление в образце, нормированное на волновое сопротивление свободного пространства; $k = \frac{2\pi\sqrt{\varepsilon\mu}}{\lambda}$ – волновое число в образце (для случая нормального падения волны k = γ); λ – длина ЭМВ в свободном пространстве; μ = 1 для немагнитных материалов.

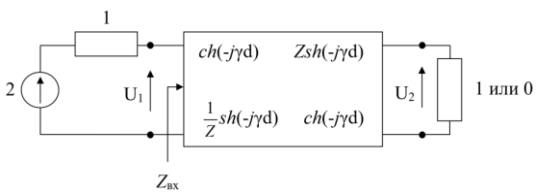


Рис. 7. Эквивалентная длинная линия, соответствующая методу свободного пространства
Fig. 7. Equivalent transmission line corresponding to the free space method

С учетом (3) запишем выражение для комплексного коэффициента прохождения образца при нормальном падении ЭМВ:

$$S_{21} = \frac{2Z_{BX}}{Z_{BX}+1}\frac{1}{1\cdot cos(\varphi) - jZ\,sin(\varphi)} = \frac{2}{2\,cos(\varphi) - (j(1/Z) + jZ)\,sin(\varphi)} = \\ = \frac{2jZ\,sin(\varphi)}{2jZ\,cos(\varphi)\,sin(\varphi) + Z^2\,sin^2(\varphi) + sin^2(\varphi)}, \quad (4)$$

Упрощая данное выражение, можно записать:

$$S_{21} = \frac{(x+y)}{(1-y^2)}, \quad (5)$$

где $x = jZ\sin(\varphi) + \cos(\varphi)$; $y = jZ\sin(\varphi) - \cos(\varphi)$.

Для определения диэлектрической проницаемости образца материала вначале производится измерение параметра S21, затем с помощью численных методов решается уравнение (5) относительно переменных x, y. После этого рассчитывается волновое число и нормированное волновое сопротивление образца по формулам:

$$k = \frac{1}{d}arccos\left(\frac{x-y}{2}\right); Z = \frac{y+cos(\varphi)}{j\,sin(\varphi)} \quad (6)$$

Далее вычисляется диэлектрическая проницаемость материала:

$$\varepsilon = \frac{ck}{(2\pi fZ)}, \quad (7)$$

где $f = c/\lambda$ – частота ЭМВ.

Данный метод предполагает измерение образцов, габаритные размеры которых должны составлять 2λ и более, поэтому при проведении измерений от нижней граничной частоты 3 ГГц используется диафрагма Ø180 мм. Если размер диафрагмы больше двух длин ЭМВ, можно считать, что распределение поля в апертуре диафрагмы близко к плоской волне. В этом случае обеспечивается высокая точность измерений S-параметров. Если диаметр диафрагмы меньше 2λ, то распределение поля в ее апертуре не соответствует плоской волне, что в итоге приводит к появлению погрешностей измерений [15]. Таким образом, выбранные габаритные размеры исследуемых образцов 200×200 мм удовлетворяют вышеуказанному условию. Погрешности измерений параметров ε' и ε'' в соответствии с представленным методом не превышают 10% |ε| при выполнении условия $\frac{\lambda}{100} < d\sqrt{|\varepsilon|}$.

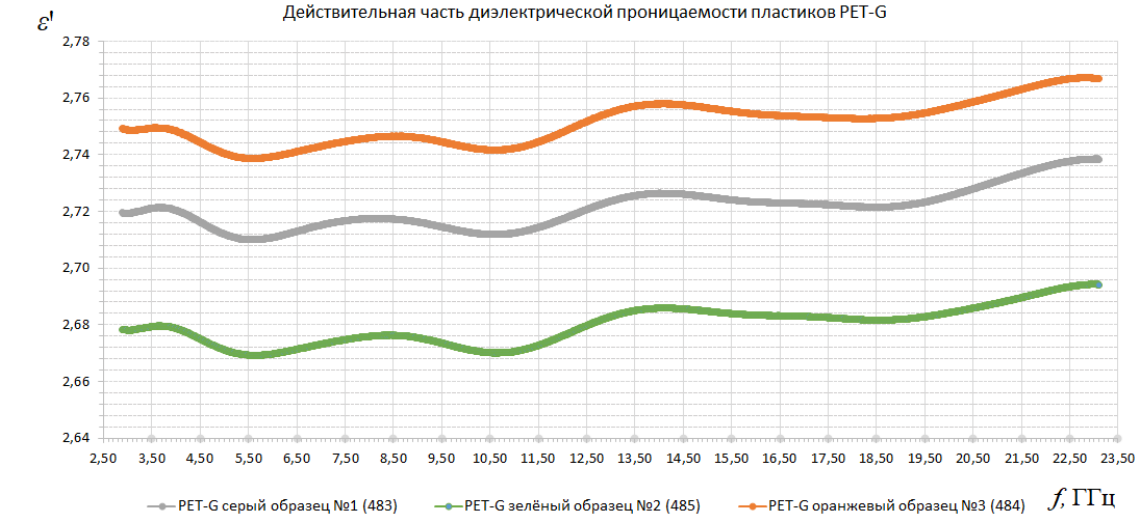
Несмотря на то, что в данной работе измерения диэлектрической проницаемости образцов материалов проведены в диапазоне частот от 3 до 23 ГГц, представленный метод и экспериментальные установки, реализованные на его основе, позволяют проводить измерения электродинамических параметров в сверхширокоом частотном диапазоне от 1 до 110 ГГц, что более подробно описано в работах [9, 16, 17].

Результаты экспериментальных исследований

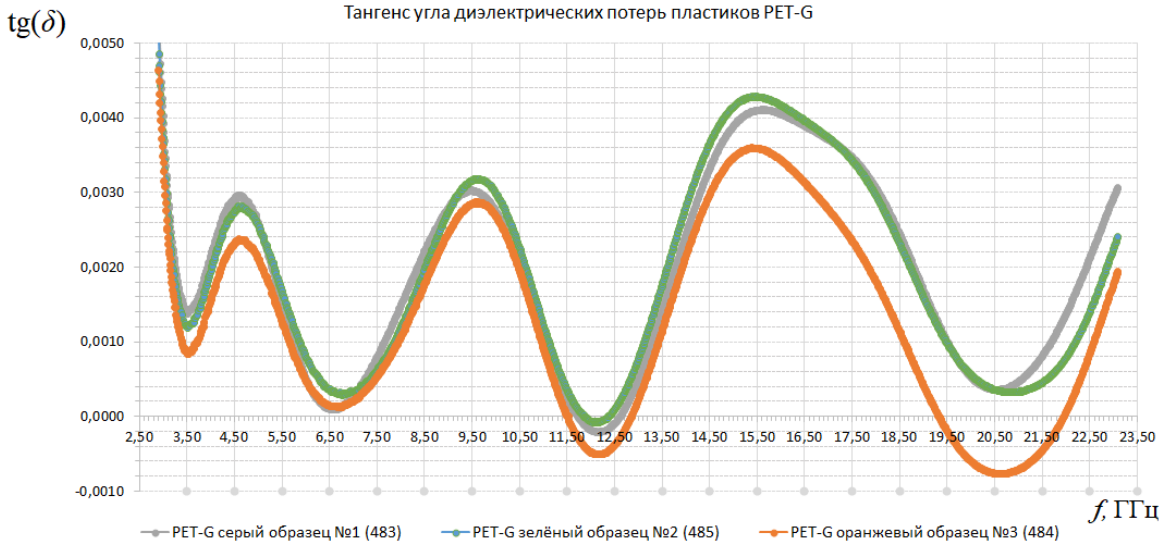
Результаты измерений действительной части диэлектрической проницаемости ε' и тангенса угла диэлектрических потерь tg(δ)=ε''/ε' материалов ABS и PET-G, применяемых в аддитивной технологии 3D-печати, в диапазоне частот от 3 до 23 ГГц представлены на рисунках 8 и 9.

По полученным в результате экспериментальных исследований графикам зависимостей диэлектрических параметров ε' и tg(δ) от частоты видно, что метод исследования описанный ранее подходит для количественного измерения характеристик материалов, применяемых в аддитивной технологии 3D-печати. По графикам видно, что характер зависимостей в рамках одного типа материала у разных образцов идентичный. Разброс значений ε' в зависимости от частоты у каждого образца пластика составляет ± 0,15. В рамках одного типа пластика параметр ε' в некоторой степени чувствителен к красящему пигменту, что влияет на значения действительной части диэлектрической проницаемости в пределах ± 0,035 для PET-G и ± 0,055

для ABS в зависимости от частоты. Значения тангенса угла диэлектрических потерь для образцов материалов из разных типов пластика изменяются незначительно. Следует отметить, что на графиках, изображенных на рисунках 8б и 9б, наблюдаются небольшие осцилляции тангенса угла диэлектрических потерь в зависимости от частоты. В том числе tg(δ) при отдельных частотах принимает значения около минус 0,001, что составляет менее 0 и не имеет физического смысла. Такое поведение частотных зависимостей вероятно связано с некоторой неплоскостностью исследуемых образцов материалов, из-за чего могут возникать воздушные зазоры между поверхностями образца и измерительной диафрагмой, что в результате приводит к появлению погрешностей и ошибок измерений диэлектрической проницаемости.



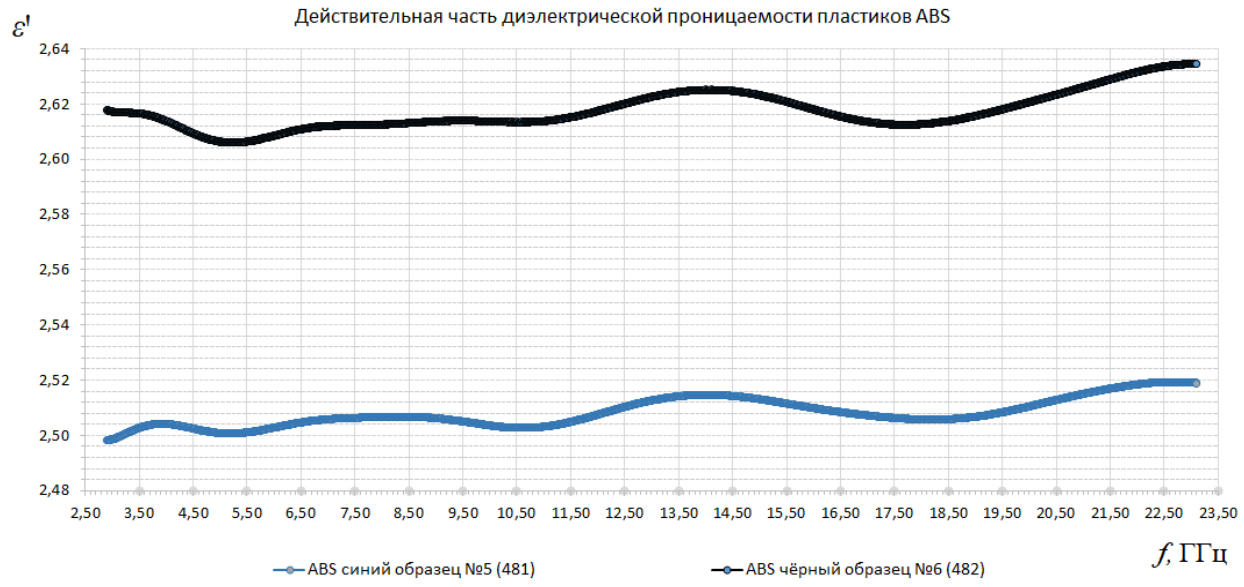
а)



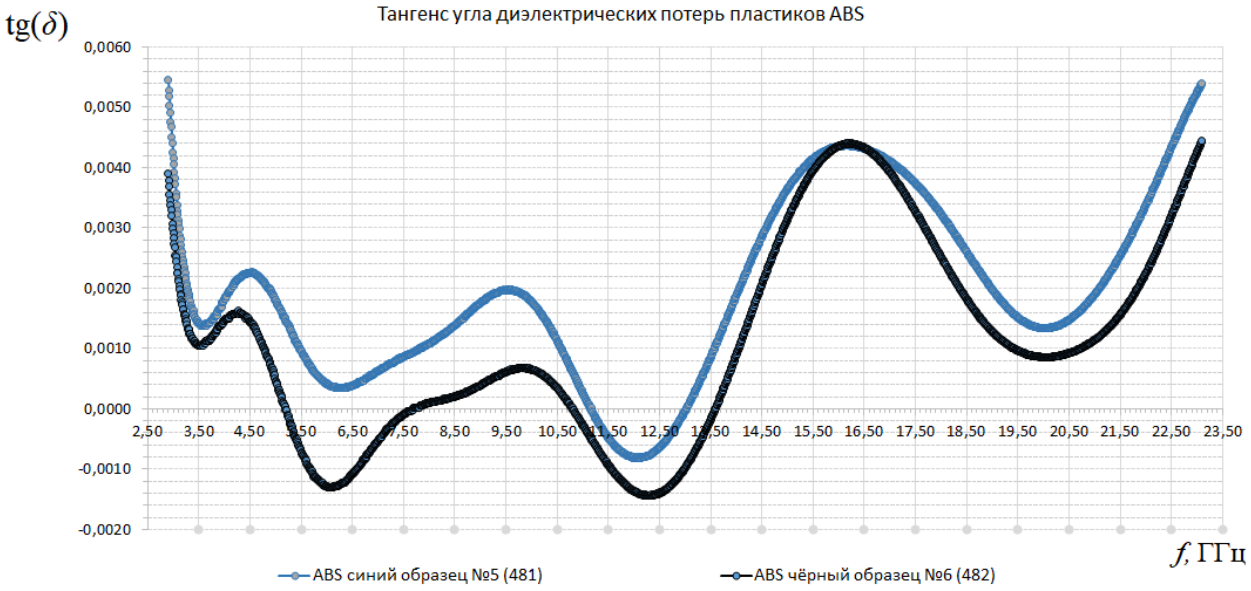
б)

Рис. 8. Частотные зависимости действительной части диэлектрической проницаемости (а) и тангенса угла диэлектрических потерь (б) пластиков PET-G

Fig. 8. Frequency dependences of relative part of complex dielectric permittivity (a) and loss tangent (b) of PET-G plastics



а)



б)

Рис. 9. Частотные зависимости действительной части диэлектрической проницаемости (а) и тангенса угла диэлектрических потерь (б) пластиков ABS

Fig. 9. Frequency dependences of relative part of complex dielectric permittivity (a) and loss tangent (b) of ABS plastics

Для удобства числовые значения действительной части диэлектрической проницаемости ε' и тангенса угла диэлектрических потерь tg(δ), полученные в результате исследований образцов материалов аддитивной технологии 3D-печати, представлены в виде таблицы 2.

Таблица 2. Значения электродинамических параметров материалов для 3D-печати

№	Наименование образца материала	Значение действительной част диэлектрической проницаемости ε' от частоты *f*			Значение тангенса угла потерь tg(δ) от частоты *f*			Среднее значение в диапазоне частот 3—20 ГГц	
		3 ГГц	10 ГГц	18 ГГц	3 ГГц	10 ГГц	18 ГГц	ε'	tg(δ)
1.	Пластик PET-G (серый) образец № 1 (483) FDp	2,72	2,71	2,72	$4\cdot10^{-3}$	$3\cdot10^{-3}$	$3\cdot10^{-3}$	2,72	$3\cdot10^{-3}$
2.	Пластик PET-G (зелёный) образец № 2 (485) FDp	2,68	2,67	2,68	$4\cdot10^{-3}$	$3\cdot10^{-3}$	$3\cdot10^{-3}$	2,68	$3\cdot10^{-3}$
3.	Пластик PET-G (оранжевый) образец № 3 (484) FDp	2,75	2,74	2,75	$3\cdot10^{-3}$	$3\cdot10^{-3}$	$2\cdot10^{-3}$	2,75	$2\cdot10^{-3}$
4.	Пластик ABS (синий) образец № 5 (481) CybFib	2,50	2,50	2,51	$4\cdot10^{-3}$	$2\cdot10^{-3}$	$3\cdot10^{-3}$	2,51	$2\cdot10^{-3}$
5.	Пластик ABS **(чёрный)** образец № 6 (482) CybFib	2,62	2,61	2,61	$3\cdot10^{-3}$	$1\cdot10^{-3}$	$3\cdot10^{-3}$	2,62	$2\cdot10^{-3}$

Заключение

Технология 3D-печати обладает рядом существенных преимуществ при проектировании и производстве устройств радиотехнического назначения. Она позволяет создавать сложные геометрические формы и структуры, оптимизируя производственные процессы. В радиотехнике и радиоэлектронике 3D-печать демонстрирует высокий потенциал, позволяя производить прототипирование СВЧ устройств, что повышает эффективность их разработки. Применение 3D-печати в данных отраслях активно развивается, и результаты исследований становятся основой для разработки инновационных технологий.

В настоящей работе проведены экспериментальные исследования комплексной диэлектрической проницаемости различных образцов пластиков типов PET-G и ABS, широко применяемых в технологии 3D-печати в широкой полосе СВЧ диапазона от 3 до 23 ГГц. Измерения диэлектрической проницаемости образцов проведены методом свободного пространства с использованием специализированной экспериментальной установки, реализованной на базе векторного анализатора цепей и широкополосных рупорных антенн с установленными фазокорректирующими линзами. С целью снижения погрешностей измерений радиофизических характеристик применялась временная селекция мешающих переотражений в СВЧ тракте и цифровая компенсации фоновых помех.

Результаты проведенных измерений свидетельствуют о том, что пластики типа ABS обладают меньшей диэлектрической проницаемостью по сравнению с пластиками типа PET-G. Наполнители и пигменты, применяемые в пластиках для придания им цветовой окраски, оказывают влияние, главным образом, на значения действительной часть диэлектрической проницаемости. Это наблюдается для обоих исследованных типов пластиков. При этом мнимая часть диэлектрической проницаемости и, соответственно, тангенс угла диэлектрических потерь от цветовой окраски пластика практически не зависит.

Дальнейшие исследования авторов статьи в этой области касаются изучения влияния параметров 3D-печати на электродинамические свойства материалов, выявление различий в электродинамических характеристиках между одинаковыми типами пластика одного **производителя** при закупке **разных партий** (произведённых в разное время), составление базы данных с электродинамическими параметрами материалов для аддитивной технологии 3D-печати от разных производителей.

Список источников

1. *Борщев Ю.П. и др.* Применение метода 3D-печати при изготовлении элементов антенно-фидерных устройств космических аппаратов // Инженерный журнал: наука и инновации, 2020, № 9, с. 1—11.
2. Харалгин С.В. и др. Прототипирование СВЧ-устройств с заданными электродинамическими характеристиками по технологии аддитивной 3D-печати // Российский технологический журнал, 2019, т. 7(1), с. 80—101.
3. *Тюлин А.Е. и др*. Применение 3D-печати для изготовления элементов радиоэлектронной аппаратуры космического назначения // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, 2022, т. 9(3), с. 76—90.
4. *ГОСТ Р 59100-2020.* Пластмассы. Филаменты для аддитивных технологий. Общие технические требования — https://rosgosts.ru/file/gost/83/080/gost_r_59100-2020.pdf (дата обращения: 28.11.2024).
5. ГОСТ Р 59101-2020. Пластмассы. Филаменты для аддитивных технологий. Общие требования к технологическим процессам — https://rosgosts.ru/file/gost/83/080/gost_r_59101-2020.pdf (дата обращения: 28.11.2024).
6. *Лысыч М.Н., Шабанов М.Л., Качурин А.А*. Обзор современных технологий 3D-печати // Современные наукоемкие технологии, 2015, № 6, с. 26—30.
7. *Gallaher C.P. et al. A Broadband Stripline* Technique for Characterizing Relative Permittivity and Permeability // IEEE Trans. Microw. Theory Tech., 2019, v. 67(1), pp. 231—238.
8. *Houtz D.A., Gu D., Walker D.K.* An Improved Two-Port Transmission Line Permittivity and Permeability Determination Method with Shorted Sample // IEEE Trans. Microw. Theory Tech., 2016, v. 64(11), pp. 3820—3827.
9. *Semenenko V.N., Chistyaev V.A., Politiko A.A. et al.* Test Stand for Measuring the Free-Space Electromagnetic Parameters of Materials over an Ultrawide Range of Microwave Frequencies // Meas. Tech., 2019, v. 62(2), p. 161.
10. *Егоров В.Н. и др.* Работы Восточно-Сибирского филиала ФГУП «ВНИИФТРИ» в области диэлектрических измерений // Альманах современной метрологии, 2014, № 1(1), с. 247—273.
11. Пархоменко М.П. и др. Улучшенный резонаторный метод для измерения комплексной диэлектрической проницаемости материалов // Радиотехника и электроника, 2017, т. 62(7), с. 651—656.
12. *Бреховских Л.М.* Волны в слоистых средах. – М. Изд-во АН СССР. 1957. 502 с.
13. *Hiebel M.* Fundamentals of Vector Network Analysis. – München, Rohde & Schwarz, 2nd ed., 2008, 501 p.
14. *Бодров В.В., Сурков В.И.* Математическое моделирование устройств СВЧ и антенн. – М.: Изд-во МЭИ, 1994, 96 с.
15. *Басков К.М., Политико А.А., Семененко В.Н. и др.* Коррекция S-параметров при измерении материальных параметров магнитодиэлектрических композитов в свободном пространстве с применением диафрагмы // Журнал радиоэлектроники, 2017, № 5, с. 1—27.
16. *Semenenko V.N. et al.* Complex Permittivity and Permeability of Composite Materials Based on Carbonyl Iron Powder Over an Ultrawide Frequency Band // Physycal Review Applied, 2021, v. 16, p. 014062.
17. *A.A. Politiko et al.* Measurement of Radiophysical Properties and Electromagnetic Parameters of Material Samples in the Millimeter Microwave Range // 2024 Photonics & Electromagnetics Research Symposium (PIERS), 2024, pp. 1—9.
18. *Рожков С.С.* Методика экспериментальной оценки диэлектрической проницаемости плоских радиопрозрачных материалов // Тезисы 17-ой Международной конференции «Авиация и космонавтика – 2018», 2018, с. 268-269.

ELECTROMAGNETIC PARAMETERS OF MATERIALS FOR 3D PRINTING TECHNOLOGY

A.V. Azarov[1], A.A. Politiko[2], S.S. Rozhkov[3], V.A. Dyakonov[4]
[1,3] Joint-Stock Company «Vector» Research Institute, (Saint Petersburg, Russia)
[2,4] Joint-Stock Company «Kompozit», (Korolev, Moscow region, Russia)
[1] andrey_91@bk.ru, [2] info@kompozit-mv.ru, [3] ssr.kgd@mail.ru, [4] info@kompozit-mv.ru

Abstract

The demand for additive manufacturing technologies is growing. Additive technologies allow you to create geometries that cannot be implemented using subtractive technologies. 3D printing equipment is getting cheaper every year. In radio engineering, 3D printing is used to develop serial products and as part of rapid prototyping of laboratory product samples. The physical processes of radio wave propagation depend on the materials used. This article presents a technology for studying the electromagnetic parameters of plastics used in 3D printing. The results of a study of the parameters of a group of plastics such as polyethylene terephthalate glycol (PET-G) and acrylonitrile butadiene styrene (ABS) have been obtained.

Keywords

Dielectric permittivity, loss tangent, transmission coefficient, additive manufacture, rapid prototyping, electromagnetic parameters, 3D printing.

УДК 621.396.4

ОСОБЕННОСТИ РАДИОТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕГО ПРОСТРАНСТВА ПРОСТРАНСТВЕННО РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ИНФОРМАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ

О.В. Семёнова[1], С.Н. Замуруев[2] , В.О. Скрипачев[3]
[1–3] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] semyonova@mirea.ru, [2] zamuruev@mirea.ru, [3] skripachev@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. В современных условиях актуальной задачей является повышение эффективности радиотехнического мониторинга окружающего пространства, особенно в условиях воздействия преднамеренных и непреднамеренных помех. Пространственно распределённые информационные системы, такие как многопозиционные радиолокационные системы (МПРЛС), требуют разработки методов совместной обработки данных для улучшения точности и надёжности обнаружения целей.

Цель. Исследовать особенности радиотехнического мониторинга с использованием пространственно распределённых систем, проанализировать методы совместной обработки радиолокационной информации и предложить алгоритмы для повышения эффективности работы в условиях помех.

Результаты. Проведён анализ существующих методов обработки данных в МПРЛС, включая эллиптический, гиперболический и триангуляционный подходы. Разработаны математические модели для оценки координат и скорости целей, а также синтезирован алгоритм оптимального оценивания на основе критерия максимума правдоподобия. Получены выражения для суммарной дальности, доплеровского сдвига и разности хода сигналов, что позволяет повысить точность измерений в сложных условиях.

Практическая значимость. Результаты исследования могут быть применены для совершенствования радиолокационных систем, включая управление воздушным движением, навигацию и мониторинг окружающего пространства. Предложенный метод способствуют повышению помехоустойчивости и точности работы распределённых систем в реальном времени.

Ключевые слова

Радиотехнический мониторинг, пространственно распределённые системы, МПРЛС, совместная обработка данных, адаптивная фильтрация, помехоустойчивость.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

В последнее время понятие «мониторинг» получило широкое распространение практически во всех отраслях науки. На основе анализа научной литературы и с учетом специфики инженерной науки, к которой относится радиолокация под термином «мониторинг» будем понимать процесс наблюдения за объектом, оценку его состояния, контроль за событиями и предотвращение нежелательных тенденций развития.

При этом понятие мониторинга может быть применено практически к любой информационной радиотехнической системе: локации, навигации, управления воздушным движением и т.д. Рассмотрим информационную радиотехническую систему на примере радиолокационных средств.

Одним из направлений совершенствования радиолокационных средств в целях более полного удовлетворения предъявляемым требованиям является объединение РЛС в системы с совместной обработкой информации [1]. Проблема объединения РЛС в системы с совместной обработкой имеется во многих системах, часто в сложных условиях воздействия активных помех.

Важной частью процесса определения принципов построения радиолокационных систем является математический синтез. При математическом синтезе определяется принцип или алгоритм действия системы, обеспечивающий наилучшее значение показателя качества при заданных ограничениях и условиях ее функционирования.

В общем случае активные помехи можно разделить на преднамеренные и непреднамеренные.

Непреднамеренные помехи в зависимости от происхождения разделяют на естественные и искусственные. К первым относятся радиоизлучение Солнца, других космических дискретных и протяженных источников, грозовые разряды, ко вторым – излучение связных передатчиков и другие помехи промышленного происхождения. Непреднамеренные помехи без принятия специальных мер к распознаванию и прогнозированию таких ситуаций могут практически полностью нарушить работу РЛС.

Преднамеренные помехи по характеру излучения могут быть заградительными (широкополосными) или прицельными по частоте, стационарными и нестационарными. Широкополосные помехи, с учетом ограниченности полосы приемного тракта, как временной процесс можно описать моделью «белого» шума, но чаще всего его адекватной моделью является представление в виде точечного источника [7].

Таким образом, необходимо рассмотреть существующие подходы к совместной обработке в РЛС радиолокационной информации при мониторинге пространства пространственно распределенными информационными системами в условиях помех

Анализ существующих методов совместной обработки радиолокационной информации при мониторинге пространства

Способы обработки совместных измерений в многопозиционных радиолокационных системах (МПРЛС) зависят от их типа. В опубликованных работах рассматривались как пространственно-когерентные МПРЛС, в том числе с кратковременной пространственной когерентностью, так и пространственно-некогерентные МПРЛС.

Часть или даже все РЛС могут измерять лишь некоторые координаты, например, дальность и азимут. В таких системах, где нет трехкоординатных РЛС, объединение данных часто позволяет получать три координаты цели, а избыточные измерения использовать для повышения точности. Если три (или более) РЛС, не лежащие в одной плоскости с целью, измеряют доплеровские частоты эхо-сигналов, можно получить вектор скорости цели по его проекциям.

Если в состав разнесенной системы входят бистатические РЛС, они измеряют суммарную дальность «передающая позиция—цель—приемная позиция» и скорость изменения суммарной дальности, а угловые координаты — относительно приемных позиций. При измерении суммарной дальности координатные поверхности ($R_\Sigma = const$) — это эллипсоиды вращения с фокусами в точках расположения передающей и приемной позиций. Пусть цель находится в точке со сферическими координатами $R, \beta, \varepsilon,$ а передающая позиция в начале координат. Суммарная дальность, измеряемая первой приемной позицией в точке $(L_i, \beta_i, \varepsilon_i)$:

$$R_{\Sigma \mathrm{i}} = R\left\{1 + \sqrt{1 + (L_i^2|R^2) - 2(L_i|R)[\cos\varepsilon\cos\varepsilon_i\cos(\beta - \beta_i) + \sin\varepsilon\sin\varepsilon_i]}\right\}, \qquad (1)$$

если $\frac{L_i}{R} \ll 1$, то, разлагая (1) в ряд Тейлора, получаем (2):

$$R_{\Sigma \mathrm{i}} \approx R\left\{2 - \left(\frac{L_i}{R}\right)\{\cos\varepsilon\cos\varepsilon_i\cos(\beta - \beta_i) + \sin\varepsilon\sin\varepsilon_i\} + O\left(\frac{L_i^2}{R^2}\right)\right\}. \qquad (2)$$

Приближение (2) соответствует предположению, что цель находится в дальней зоне МПРЛС (направления излучения и приема параллельны [2, 12]). Такое приближение достаточно для оценки ошибок измерения угловых координат. Использование следующего члена ряда обеспечивает большую точность:

$$R_{\Sigma i} \approx R\left\{\begin{array}{c} 2-\left(\frac{L_i}{R}\right)\{\cos\varepsilon\cos\varepsilon_i\cos(\beta-\beta_i)+\sin\varepsilon\sin\varepsilon_i\}+ \\ +\left(\frac{L_i^2}{R^2}\right)\{1-[\cos\varepsilon\cos\varepsilon_i\cos(\beta-\beta_i)+\sin\varepsilon\sin\varepsilon_i]^2\}+O\left(\frac{L_i^3}{R^3}\right) \end{array}\right\}. \quad (3)$$

В общем случае суммарная дальность j-я передающая позиция—цель—i-я приемная позиция в декартовой системе координат:

$$R_{\Sigma ij}=\left[\left(x-x_{0j}\right)^2+(y-y_{0o})^2+\left(z-z_{0j}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}+\left[\left(x-x_j\right)^2+\left(y-y_j\right)^2+\left(z-z_j\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

где $(x,y,z),\left(x_{0j},y_{0j},z_{0j}\right),\left(x_j,y_j,z_j\right)$ – координаты цели, j-й передающей и – i-й приемной позиций.

Для каждой бистатической РЛС, входящей в МПРЛС, удобно рассматривать положение цели в бистатической плоскости, проходящей через цель, передающую и приемную позиции. В этой плоскости дальности от передающей $R_{\text{прд}}$ и приемной $R_{\text{прм}}$ позиций просто выражаются через суммарную дальность $R_\Sigma = R_{\text{прд}} + R_{\text{прм}}$ и пеленг цели $\theta_{\text{пр}}$ относительно линии базы L [4,11]:

$$R_{\text{ПРД}} = 0.5\frac{R_\Sigma^2 + L^2 + 2R_\Sigma L\cos\Theta_{\text{ПР}}}{R_\Sigma + L\cos\Theta_{\text{ПР}}}; \quad (5)$$

$$R_{\text{ПР}} = 0.5\frac{R_\Sigma^2 - L^2}{R_\Sigma + L\cos\Theta_{\text{ПР}}}. \quad (6)$$

При $\Theta_{\text{ПР}} = \pi$ – эллипсоид вращения вырождается в линию. Ясно, что цель находится на линии базы, но $R_{\text{ПРД}}$ и $R_{\text{ПР}}$ измерить нельзя.

Доплеровское смещение частоты эхосигнала в приемной позиции би-статической РЛС выражается в виде:

$$F_{\text{Д}} = \frac{1}{\lambda}\frac{dR_\Sigma}{dt} = \frac{1}{\lambda}\frac{d\left(R_{\text{ПРД}} + R_{\text{ПР}}\right)}{dt}, \quad (7)$$

где λ – длинна волны.

В простом случае, FД, зависит от скорости v цели, движущейся в бистатической плоскости под углом φ к линии базы:

$$F_{\text{д}} = \frac{2v}{\lambda}\cos\left(\varphi - \Theta_{\text{ПР}} + \frac{\breve{\beta}}{2}\right)\cos\left(\frac{\breve{\beta}}{2}\right). \quad (8)$$

Первый косинусоидальный множитель показывает, что доплеровский сдвиг частоты в бистатической РЛС определяется скоростью движения цели в направлении биссектрисы угла $\breve{\beta}$. Второй косинусоидальный множитель отражает уменьшение сдвига частоты из-за различия направлений от цели на передающую и приемную позиции.

Из (7) и (8) следует, что доплеровский сдвиг частоты в бистатической РЛС зависит не только от величины и направления вектора скорости цели (как в однопозиционной РЛС), но и от положения цели в пространстве относительно передающей и приемной позиций, причем эта зависимость тем сильнее, чем меньше отношение дальности цели к размеру базы. Связь доплеровского сдвига частоты с положением цели не только влияет на измерение скорости, но и позволяет определять координаты целей доплеровским методом [2,4-5,19,22].

Из (4) в соответствии с (7) получить общее выражение для доплеровского сдвига частоты эхосигнала в i-й приемной позиции при облучении объекта j-й передающей позицией:

$$F_{Дij} = \frac{1}{\lambda}\left[\frac{\left(x - x_{0j}\right)v_x + \left(y - y_{0j}\right)v_y + \left(z - z_{0j}\right)v_z}{\sqrt{\left(x - x_{0j}\right)^2 + \left(y - y_{0o}\right)^2 + \left(z - z_{0j}\right)^2}} + \frac{(x - x_i)v_x + (y - y_i)v_y + (z - z_i)v_z}{\sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2}}\right], \quad (9)$$

где v_x, v_y, v_z – декартовы составляющие вектора скорости v. Остальные обозначения те же, что в (4) и (7).

Применение совместного приема сигналов значительно увеличивает объем координатной информации. При облучении цели какой-либо передающей позицией уже не одна, а несколько приемных позиций измеряют угловые координаты, дальности или суммарные дальности и доплеровские сдвиги частоты, пропорциональные производным дальности или суммарной дальности. Кроме того, появляется возможность измерения разностей дальности (и их производных) от цели до различных приемных или передающих позиций. Все это создает, как правило, значительную избыточность числа единичных замеров “первичных координат”, которую используют для уточнения положения и вектора скорости целей, а также для межпозиционного отождествления замеров.

Для определения пространственного положения целей по измеренным координатам в разнесенных системах могут применяться различные методы: эллиптический, гиперболический, триангуляционный, а также их сочетания.

Эллиптический метод позволяет определять три пространственные координаты цели только по суммарным дальностям от цели до передающих и приемных позиций. Его называют также суммарно-дальномерным, трилатерационным или мультилатерационным методом. Для получения трех координат цели при приеме сигналов требуется не менее трех-четырех позиций (например, одна приемопередающая и две приемные или одна передающая и три приемные). Если для приема сигналов используются только отдельные РЛС, то необходимо не менее трех однопозиционных или бистатических РЛС. Положение цели определяется как точка пересечения трех эллипсоидов вращения, соответствующих трем измеренным значениям суммарных дальностей. В случае трех однопозиционных РЛС эллипсоиды вырождаются в три сферы.

Гиперболический метод определяет положение цели по разностям дальностей цели до разнесенных позиций. Поэтому метод называют также разностно-дальномерным. Координатная поверхность, соответствующая измеренному значению разности дальностей до пары позиций, представляет собой гиперболоид вращения с фокусами в точках расположения позиций. Пересечение трех гиперболоидов определяет пространственное положение цели. Чтобы получить три линейно независимые разности дальностей по эхосигналам, общее число передающих и приемных позиций должно быть не менее пяти (например, одна передающая и четыре приемных), что на одну больше, чем при эллиптическом методе. В отличие от эллиптического метода ошибка определения дальности цели быстро возрастает (приблизительно по квадратичному закону) по мере увеличения дальности. Причина этих недостатков в том, что не используется имеющаяся информация о суммарных дальностях от цели до передающей и любой из приемных позиций. Поэтому гиперболический метод применяется часто в сочетании с другими методами, например эллиптическим.

В пассивных РЛС, когда нельзя измерить время распространения сигнала от источника излучения до каждой из приемных позиций в отдельности, гиперболический метод нашел широкое применение. Разность дальностей от источника излучения до любой пары позиций измеряется обычно взаимно корреляционным методом. В простейшем случае сигналы, принятые парой позиций, поступают на входы коррелятора, причем от одной из позиций через регулируемую линию задержки. Задержка, соответствующая максимуму выходного сигнала коррелятора, компенсирует разность времен запаздывания сигналов на входах коррелятора. Измерив ее, можно вычислить разность дальностей от источника до приемных позиций. При

этом не требуется знать априори форму и момент излучения принимаемых сигналов, что и позволяет применять гиперболический метод для определения координат источников сигналов неизвестной формы. Чтобы получить три координаты источника излучения гиперболическим методом, необходимо не менее четырех приемных позиций.

Выражения, связывающие разность хода сигналов до двух произвольных приемных позиций ΔR_{ik} с координатами источника в сферической системе, легко получить из (1) — (3), если учесть, что $\Delta R_{ik} = R_{\sum k} - R_{\sum i}$. Для оценки угловых координат источника β и ε по измерениям разности хода ΔR_{ik} часто достаточно приближение (2). Чтобы связать ΔR_{ik} с дальностью R, надо в формулу $\Delta R_{ik} = R_{\sum k} - R_{\sum i}$. подставить $R_{\sum k}$ и $R_{\sum i}$ из (3), а в общем случае из (1). В декартовой системе координат ΔR_{ik} легко получить из (4), если учесть, что $\Delta R_{ik} = R_{\sum k} - R_{\sum i}$ где i - номер произвольной передающей позиции.

При движении источника излучения разность доплеровских сдвигов частоты в каждой паре позиций, пропорциональная скорости изменения разности дальностей, проявляется в смещении центральной частоты взаимной корреляционной функции принятых сигналов. Разностно-доплеровский сдвиг частоты зависит и от пространственного положения, и от скорости источника. Он определяется проекцией вектора скорости на нормаль, построенную в точке расположения источника к гиперболе, являющейся пересечением гиперболической координатной поверхности и бистатической плоскости. Если число приемных позиций в системе не менее четырех, то в дополнение к трем координатам можно, измерив три разностно-доплеровских сдвига частоты, найти вектор скорости источника излучения. В декартовой системе координат получим из (9):

$$\Delta F_{Дik} = F_{Дik} - F_{Дij}, \text{ при любых } i. \qquad (10)$$

При триангуляционном методе для определения пространственного положения используют только пеленги, измеренные разнесенными приемными позициями. Поэтому метод называют также угломерным или пеленгационным. В активной радиолокационной системе, где можно измерить дальность или суммарную дальность цели, триангуляционный метод применяется только в сочетании с другими методами, например, эллиптическим [5,6]. В МПРЛС триангуляционный метод может применяться как самостоятельно, так и в сочетании с гиперболическим методом. Минимальное число позиций, необходимое для измерений трех координат источника излучения триангуляционным методом, равно двум, если хотя бы в одной из позиций измеряют обе угловые координаты источника.

Рассмотренные и другие методы измерений в разнесенных радиолокационных системах в зависимости от условий их применения обладают теми или иными характеристиками и могут использоваться в локальных структурах систем РЛС при независимых межпозиционных измерениях.

При получении оценок во всех случаях используется соответствие их некоторому критерию. В процессе проведения измерений траекторных параметров цели в разнесенных системах, они преобразуются в единую систему координат. При взаимно однозначном преобразовании параметров сигналов в координаты цели оптимальность оценок параметров сигналов по любому статистическому критерию гарантирует оптимальность (по тому же критерию) оценок координат.

Наиболее часто в качестве критерия оптимальности оценок используется критерий максимума правдоподобия, так как априорные распределения оцениваемых параметров обычно значительно шире функций правдоподобия.

Синтез алгоритмов оценивания для разнесенных систем в общем случае опирается на использование отношения правдоподобия следующим образом.

Синтез алгоритма оценивания МПРЛС

Рассмотрим разнесенную систему с произвольно расположенными одной передающей и m приемными позициями. Помехи в общем случае полагаем пространственно-коррелированными.

Вектор параметров принимаемого сигнала включает m информативных 2 m неинформативных $(a_{c1}, \dots, a_{cm}, \varphi_{c1}, \dots, \varphi_{cm})$ параметров. Используя разделение информативных и неинформативных параметров, запишем логарифм отношения правдоподобия относительно всех неизвестных параметров [2, 4-6]:

$$L = a_c^T Re\left[\check{E}^*(\varphi_c) G(t_{c1}, \dots, t_{cm})\right] - 0.5 a_c^T \check{E}^*(\varphi_c) C(t_{c1}, \dots, t_{cm}) \check{E}(\varphi) a_c \qquad (11)$$

Вектор G и матрица C зависят только от моментов прихода сигналов, а $\check{E}^*(\varphi_c)$ и a_c - диагональная матрица и вектор неинформативных параметров.

Для получения оптимальных оценок необходимо максимизировать отношение правдоподобия по всей совокупности параметров.

Многоступенчатые системы РЛС наиболее близки к рассматриваемым в этой работе. Основное их отличие от рассматриваемых заключается в том, что цели передаются последовательно от одной РЛС к следующей без управления структурой состояния. При этом одна из главных задач является идентификация целей (их траекторий).

В многоступенчатой системе осуществляется последовательная передача целей от одной ступени к другой на определенных рубежах.

Рассмотрим взаимодействие во времени радиолокационных каналов различных ступеней в n-ступенчатой радиолокационной системе. Пусть i-я ступень получает от (i-1)-й ступени целеуказание относительно m действительных целей со средними квадратическими ошибками по азимуту, углу места и расстоянию, и ложных целей. В зависимости от закона распределения ошибок i-я ступень должна произвести поиск в некоторой области Q_{i-1}, где зональные элементы - части области Q_{i-1} могут быть расположены в различных угловых направлениях и могут частично пересекаться.

Особенность первой ступени радиолокационной системы по сравнению с остальными ступенями состоит в том, что для нее задается зона наблюдения Q_0 − элементы, которые могут быть расположены в различных секторах, например в соответствии с наиболее вероятными направлениями появления целей.

Для первой ступени зона Q_0 есть обычно величина постоянная, для последующих — она зависит от практически сложившихся ситуаций.

Последовательный обзор элементарных зон производит i-я ступень, накапливая информацию и после нескольких циклов обзора выполняется ее обработка (число которых может быть различным для различных целей). При этом часть целей остается необнаруженной, часть ложных траекторий прекращает существование, появляются новые действительные и ложные цели.

При работе некоторой i_0 − й ступени принимается решение о существовании целей. Цели, наблюдавшиеся всеми ступенями от $i = 1$ до $i = i_0$ включительно, считаются существующими независимо от того, обнаружены они последующими ступенями или потеряны. Обычно $i_0 = n$, однако возможны случаи, когда $i_0 < n$, например при недостаточной пропускной способности в последних, наиболее точных ступенях.

Такая схема взаимодействия охватывает практически все частные случаи.

При оптимальной обработке эффективность i-й ступени определяется энергией сигнала i-й ступени E_i, принятой за время наблюдения цели T_i.

Вероятность обнаружения целей, точность определения параметров траекторий и количество ложных тревог определяются, в конечном счете, этой энергией [49,50]. Если пренебречь изменением дальности цели на интервале T_i. и ввести среднюю E_{im}, то полную энергию, принятую от j-й цели всей системой, запишем в виде:

$$E_{\Sigma} = \Sigma E_{im} \quad (12)$$

Конечная вероятность обнаружения системы равна произведению вероятностей обнаружения в каждой ступени. При этом число ложных траекторий определяется в основном последней ступенью.

Заключение

Таким образом, традиционное построение РЛС даже при значительном прогрессе в развитии их технологической базы не позволяет во многих случаях полностью удовлетворить предъявляемым требованиям. Многоступенчатые системы позволяют, повысить эффективность определения целей и их параметров, а наиболее важным для управления в системе РЛС является идентификация траекторий целей, проводимая последовательно в совокупности известных операций по сопровождению целей.

Дальнейшая конкретизация оптимальных алгоритмов зависит от типа РЛС, условий приема и характера сигналов. Все приведенные методы и алгоритм могут быть использованы в локальных структурах системы РЛС. При этом рассмотренные методы разработаны для проведения измерений в один и тот же момент времени системой фиксированной конфигурации, но в них не учитываются изменения структуры системы РЛС при ее изменении в процессе управления. Так же отсутствует теоретическое обоснование методов приема сигналов в сложных системах РЛС на больших дальностях в условиях воздействия на них преднамеренных активных помех.

Список источников

1. *Семенова, О. В.* Особенности моделирования многопозиционных радиолокационных систем с неравномерным распределением приёмо-передающих позиций / О. В. Семенова, С. Н. Замуруев, В. О. Скрипачев // Вопросы контроля хозяйственной деятельности и финансового аудита, национальной безопасности, системного анализа и управления: Сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции, Москва, 07 декабря 2023 года. – Москва: Экспертно-аналитический центр, 2024. – С. 437-446.
2. *Семенова, О. В.* Моделирование многопозиционной радиолокационной системы с неэквидистантным распределением приемо-передающих радиолокационных станций / О. В. Семенова, С. Н. Замуруев // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2022. – Т. 191, № 6. – С. 52-56.
3. *Гриднев В.И., Кондратенков Г.С.* Радиотехнический мониторинг окружающей среды. – М.: Радиотехника, 2018. – 320 с.
4. *Дмитриев В.И., Коробов В.А.* Распределенные радиотехнические системы мониторинга. – СПб.: Политехника, 2020. – 256 с.
5. *Коптев Д.С*. Теория радиотехнических сигналов: учебное пособие. Курск: ЮЗГУ, 2019. 239 с.
6. *Тихонов В.И., Харисов В.Н*. Статистический анализ и синтез радиотехнических систем мониторинга. – М.: Радио и связь, 2020. – 368 с.
7. *Скрипачев, В. О*. Влияние помех на дальномерный канал бортовой радиолокационной станции / В. О. Скрипачев, А. Н. Белов // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2024. – Т. 202, № 5. – С. 44-50.
8. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования / В. С. Верба, Л. Б. Неронский, И. Г. Осипов [и др.]. – Москва : Радиотехника, 2010. – 676 с. : ил. – (Системы мониторинга воздушного, космического пространства и земной поверхности).
9. Автоматизированные информационные системы: Методы построения и исследования / А. П. Реутов, М. В. Черняков, С. Н. Замуруев. – Москва : Радиотехника, 2010. – 324 с. : ил.
10. Zamuruev S. N. In laboratory hardware emulation of radiofrequency propagation / S. N. Zamuruev, A. A. Sudakov, K. V. Avdeev // Conference Proceedings – 2021 Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves, RSEMW. – 2021. – P. 301–307. – DOI: 10.1109/RSEMW52378.2021.9494025.
11. Патент на изобретение РФ № 2730184 C1, МПК G01S 13/87 (2006.01), H04B 7/26 (2006.01). Многопозиционная радиолокационная система : № 2019136237 : заявл. 11.11.2019 : опубл. 19.08.2020 / Быков А. В. – Бюл. № 23. – 13 с.

PECULIARITIES OF RADIO-TECHNICAL MONITORING OF THE SURROUNDING SPACE BY SPATIALLY DISTRIBUTED INFORMATION SYSTEMS

O.V. Semyonova[1], S.N. Zamuruev[2], V.O. Skripachev[3]
[1–3] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] semyonova@mirea.ru, [2] zamuruev@mirea.ru, [3] skripachev@mirea.ru

Abstract

The text addresses the need to enhance radio monitoring of the surrounding space amid various types of interference, focusing on spatially distributed systems like multi-position radar systems (MPRLS). The objective is to explore radio monitoring using these systems, analyze methods of joint radar data processing, and suggest algorithms to enhance performance in interference scenarios. The study delves into existing data processing methods in MPRLS, such as elliptic, hyperbolic, and triangulation approaches, and develops mathematical models for target estimation, offering algorithms for optimal estimation based on the maximum likelihood criterion. The research also yields expressions for total range, Doppler shift, and signal travel difference to enhance measurement accuracy in challenging conditions. The practical significance lies in the potential application of these findings to advance radar systems for air traffic control, navigation, and space monitoring, ultimately boosting noise immunity and accuracy in real-world settings.

Keywords

Radio-technical monitoring, spatially distributed systems, MPRLS, joint data processing, adaptive filtering, noise immunity.

УДК 004.8, 629.783

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ТРАЕКТОРИИ КА В АРХИТЕКТУРЕ КЛИЕНТ-СЕРВЕР

А.В. Ксендзук [1], **А.В. Семин** [2]
[1–2] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[2] sinritzen@yandex.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Для сети наблюдательных средств системы мониторинга космического пространства существует необходим точный расчет координат космических объектов в условиях их ограниченных вычислительных ресурсов и пропускной способности каналов связи. Существующие методы прямого расчета по алгоритму SGP требуют значительных временных затрат, что делает критически важным разработку компромиссных решений, сочетающих приемлемую точность позиционирования с сокращением времени обработки данных.

Цель. Оптимизация процесса определения координат космических объектов в распределённых наблюдательных системах типа клиент-сервер за счёт выбора оптимального метода интерполяции и рационального распределения вычислительной нагрузки между сервером сети мониторинга космического пространства и клиентами - наблюдательными средствами

Результаты. Проведено сравнение методов интерполяции орбитальных данных, определены оптимальные параметры распределения вычислений между сервером и клиентом, получены количественные оценки точности и времени обработки для различных конфигураций системы.

Практическая значимость. Полученные результаты позволяют определить рациональный метод интерполяции орбитальных данных и схему распределения вычислений для наблюдательных систем.

Ключевые слова

Точность позиционирования, оптимизация вычислений, интерполяция орбитальных данных, клиент-серверные вычисления, временные затраты.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

В сети оптических, радиолокационных и радиотехнических средств наведение на космические объекты выполняется по результатам прогноза их координат как функции времени путем расчета углов наведения в горизонтальной и вертикальной плоскости при известных координатах наблюдательного средства.

Положение космических объектов можно рассчитать по открытой орбитальной информации, публикуемой NORAD, в виде двухстрочных элементов TLE (two-line elements), алгоритмом SGP4 (Simplified General Perturbations 4) [1]. Несмотря на то, что SGP4 является упрощенной версией более сложных моделей возмущенного движения космических объектов, прогноз на сутки координат группировки из 1000 КА с шагом 1 сек (то есть 86400 значений для одного КА) на тестовом ПК (python 3.8, i13200, 16 Gb RAM) занимает 2 часа [2].

Цель работы – оптимизация процесса определения координат космических объектов в распределённых наблюдательных системах за счёт выбора оптимального метода интерполяции и рационального распределения вычислительной нагрузки между сервером и клиентом.

Анализ интерполяционных методов в наблюдательных системах

Рассмотрим решение следующей задачи. Пусть имеется сервер, обеспечивающий 1 TFlops операций (процессоры Intel Core i9-7980XE, Intel Core i9-14900K, Intel Xeon Phi 3120A), а также клиент, обеспечивающий 0.1 TFlops (процессоры Intel Core i7-4930K, Movidius Neural Compute Stick) [3]. Линия связи между ними имеет пропускную способность 1 Мбит/с. Рассмотрим варианты распределения между ними вычислений координат группировки из 1000 космических аппаратов на сутки с шагом 1 сек. Общее время получения результатов, необходимых для работы наблюдательного средства (клиента), складывается из времени вычислений на сервере, времени передачи данных и времени расчетов на клиенте, формула 1:

$$T_{\text{общее}} = T_{\text{выч сервер}} + T_{\text{выч клиент}} + T_{\text{передачи данных}} \quad (1)$$

Необходимые расчеты – вычисление координат группировки 1000 космических аппаратов с помощью SGP4 по исходным данным в формате TLE с шагом 1 сек на интервале сутки.

Воспользуемся следующими численными значениями, полученными на реальных ПК и параметрами существующих линий связи со средствами наблюдения, - сервер с производительностью 1 TFlops выполняет необходимые расчеты координат 1000 КА за 1 час 40 минут, а клиент с производительностью 0.1 TFlops выполняет эти же расчеты за 17 часов. Линия связи между клиентом и сервером имеет пропускную способность 1 мбит/с [7, 8]. Варианты распределения вычислительной нагрузки в вычислительной системе клиент-сервер при такой конфигурации приведены в таблице 1.

Таблица 1. Распределение нагрузки рассматриваемой архитектуры для скорости передачи 1мбит/с

Доля вычислений на сервере	**Время вычислений на сервере**	**Время вычислений на клиенте**	**Время передачи данных сервер-клиент по линии 1 Мбит/с**	**Общее время получения результатов, часов**
100%	1.7 ч	0 ч	13.86 ч	15.56 ч
75%	1.275 ч	4.25 ч	10.4 ч	15.925 ч
50%	0.85 ч	8.5 ч	6.93 ч	16.28 ч
25%	0.425 ч	12.75 ч	3.465 ч	16.64 ч
0%	0 ч	17 ч	0 ч	17 ч

Вариант распределения при нагрузке с большей пропускной способностью линии связи представлены в таблице 2.

Таблица 2. Распределение нагрузки рассматриваемой архитектуры для скорости передачи 10мбит/с

Доля вычислений на сервере	**Время вычислений на сервере**	**Время вычислений на клиенте**	**Время передачи данных сервер-клиент по линии 10 Мбит/с**	**Общее время получения результатов, часов**
100%	1.7 ч	0 ч	1.386 ч	3.086 ч
75%	1.04 ч	4.25 ч	1.04 ч	4.25 ч
50%	0.85 ч	8.5 ч	0.693 ч	8.5 ч
25%	0.425 ч	12.75 ч	0.346 ч	12.75 ч
0%	0 ч	17 ч	0 ч	17 ч

В пределе, при увеличении пропускной способности линии связи, общее врем получения результатов будет близко к времени вычисления на сервере, то есть к 1.7 часа.

Для большинства практических применений целесообразно уменьшить время расчета координат космического аппарата за счет аппроксимации орбиты (координат КА) линейной, квадратичной или кубической функцией [4, 5]. Это приводит к уменьшению объема вычислений на сервере (точные координаты КА с помощью SGP по данным TLE формируются с большим шагом по времени), уменьшению объема передаваемых (прореженных) данных, но требуют интерполяции на клиенте (наблюдательном средстве). В этом случае также имеет место противоречие: чем проще интерполяция (например, линейная), тем быстрее выполняются

вычисления на клиенте, но тем больший объем исходных данных (координат КА) необходимо передавать, что требует большего объема вычислений [6].

Оценка эффективности различных типов интерполяции

В качестве критерия используем среднее и максимальное расстояние между истинной траекторией (полученной по SGP(TLE) с шагом 1 сек) и результатом ее интерполяции:

$$\Delta R(t) = \left\| \bar{r}[t; SGP(TLE)] - \bar{r}\left[t; Interp\left(t_{dec}; SGP(TLE)\right)\right] \right\|, \quad t \in [0, T] \qquad (2)$$

Для низкоорбитального КА Iridium зависимость координат x y z на сутки приведена на рисунке 1, ошибки интерполяции при различном равномерном шаге в секундах относительно значений, полученных по SGP(TLE) с шагом 1 сек, приведены в таблице 3 и 4.

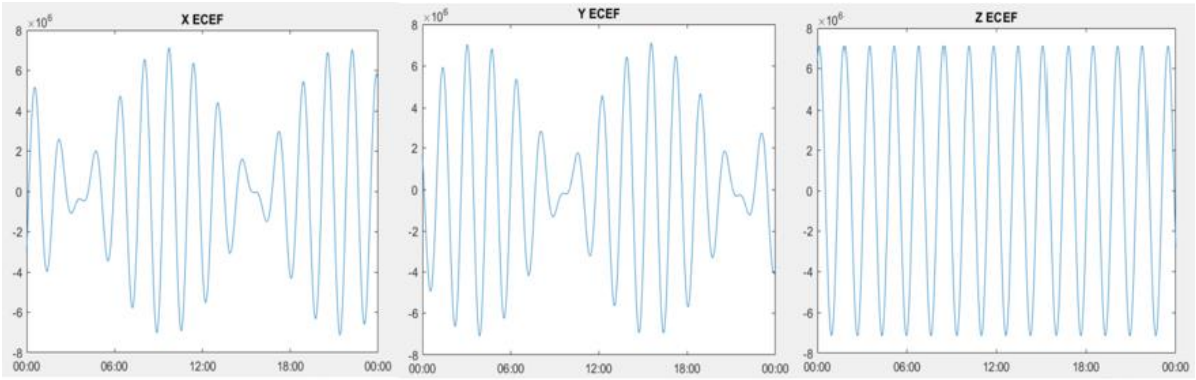


Рис. 1. Поведение X, Y, Z для низкоорбитального КА Iridium (Norad1536, начало прогноза 14.05.2025)
Fig. 1. X, Y, Z coordinates behavior for Iridium Low-Earth orbit spacecraft (NORAD 1536, epoch start 14.05.2025)

Таблица 3. Максимальная ошибка интерполяции в метрах в зависимости от интервала децимации

Тип интерполяции	10 с	15 с	20 с	25 с	30 с	35 с	40 с	45 с	50 с
Линейная	702	1668	3046	4834	7032	4217	12663	16094	19936
Квадратичная	6.28	22.65	55.49	110	193	112	465	666	918
Кубическая	0.06	0.34	1.11	2.76	5.81	3.52	18.71	30.14	46.16

Таблица 4. Средняя ошибка интерполяции в метрах в зависимости от интервала децимации

Тип интерполяции	10 с	15 с	20 с	25 с	30 с	35 с	40 с	45 с	50 с
Линейная	67.7	153.2	273.0	427.0	615.4	837.0	1095.0	1386.4	1712.1
Квадратичная	0.04	0.16	0.37	0.74	1.28	2.01	3.06	4.38	6.03
Кубическая	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.04	0.06	0.09

По результатам проведенного анализа точности и производительности различных методов интерполяции для заданных условий работы сети наблюдательных средств рекомендуется использовать квадратичный алгоритм интерполяции. Данный метод обеспечивает среднюю точность определения координат в диапазоне от 0.04 до 6.03 метров при максимальных ошибках, не превышающих 918 метров для всех рассматриваемых шагов интерполяции от 10 до 50 секунд. Квадратичная интерполяция демонстрирует оптимальный баланс между точностью и вычислительной сложностью, существенно превосходя по точности линейный метод (с ошибками

до 19.9 км) и лишь незначительно уступая кубической интерполяции, которая при средней точности 0.00-0.09 метров требует значительно больших вычислительных ресурсов [9, 10].

Для оперативных задач, требующих минимального времени обработки, может быть рассмотрен линейный метод интерполяции, позволяющий сократить время расчетов в 2-3 раза при приемлемой точности около 1-2 км. В случаях, когда требования к точности превышают 100 метров, рекомендуется использовать квадратичную интерполяцию как наиболее сбалансированное решение, обеспечивающее высокую точность при разумных вычислительных затратах.

Заключение

Для задачи определения координат группировки космических средств по орбитальной информации в формате TLE рассмотрены варианты распределения вычислительной нагрузки в клиент-серверной архитектуре. Определено достижимое время получения расчетов с учетом ограничений по вычислительной мощности и линии связи. Для распределенных наблюдательных систем рекомендовано использовать интерполяционные методы. Сравнение трех методов интерполяции, которые могут быть реализованы на малопроизводительном вычислителе наблюдательного средства, показало целесообразность использования квадратичной аппроксимации. Дальнейшее улучшение может быть реализовано путем учета характера изменения координат космических аппаратов.

Список источников

1. *Козлов С.И., Михайлов М.В***.** Методы обработки данных системы NORAD для задач мониторинга космического пространства. Космические исследования. - 2020. - Т. 58, № 3. - С. 210-225.
2. *Петров Г.А., Семёнов А.К.* Оптимизация алгоритмов расчёта эфемерид искусственных спутников Земли. Журнал вычислительной математики и математической физики. - 2021. - Т. 61, № 2. - С. 305-318.
3. *Волков Р.Н., Гришин В.А.* Распределённые системы обработки данных в задачах контроля космического пространства. Информационные технологии. - 2022. - № 5. - С. 34-47.
4. *Лебедев А.С.* Методы интерполяции траекторий космических аппаратов. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. - 2019. - № 4. - С. 89-102.
5. *Соколов Б.В., Фёдоров М.П.* Анализ точности определения орбит по данным системы NORAD. Астрономический вестник. - 2021. - Т. 55, № 1. - С. 72-85.
6. *Роскосмос*. Руководство по обработке данных системы контроля космического пространства. - М.: Роскосмос, 2023. - 145 с.
7. *Зимин В.Н., Крылов С.С.* Параллельные вычисления в задачах астрономии и космонавтики. Вычислительные методы и программирование. - 2020. - Т. 21. - С. 156-170.
8. *Гаврилов А.А.* Методы сокращения объёмов, передаваемых данных в распределённых системах наблюдения. Радиотехника. - 2022. - № 8. - С. 64-72.
9. *Белов А.А., Кузнецова Т.Н.* Программные комплексы для расчёта орбит космических объектов. Программная инженерия. - 2021. - № 7. - С. 28-37.
10. *Иванов К.Д., Смирнов П.Р.* Экспериментальное исследование точности интерполяционных методов в задачах определения орбит. Измерительная техника. - 2022. - № 6. - С. 45-53.

COMPARISON OF SPACECRAFT TRAJECTORY INTERPOLATION METHODS IN CLIENT-SERVER ARCHITECTURE

A.V. Ksendzuk [1], **A.V. Semin** [2]
[1–2] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[2] sinritzen@yandex.ru

Abstract

This article addresses the challenge of optimizing spacecraft trajectory calculations in distributed observation systems, particularly focusing on the trade-off between computational efficiency and positioning accuracy. While traditional SGP4 algorithms provide precise orbital data, their computational demands create bottlenecks in client-server architectures with limited resources. The study evaluates three interpolation methods (linear, quadratic, and cubic) for approximating orbital trajectories, analyzing their performance in a distributed computing environment with 1 TFlops server and 0.1 TFlops client configurations connected via 1-10 Mbps channels. Through comprehensive testing with NORAD TLE data for 1,000 space objects at 1-second intervals, we demonstrate that quadratic interpolation achieves optimal balance - maintaining sub-10-meter average accuracy while reducing processing time by 5 compared to direct SGP4 calculations on client hardware. The results provide practical guidelines for implementing efficient orbit determination systems in resource-constrained ground station networks, significantly enhancing the feasibility of real-time space situational awareness operations.

Keywords

Positioning accuracy, computation optimization, orbital data interpolation, client-server computing, processing time.

УДК 534.86

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК УСИЛИТЕЛЯ РАДИОЧАСТОТЫ НА БАЗЕ МИКРОСХЕМЫ BGA616 НА ЛАБОРАТОРНОМ СТЕНДЕ

В.А. Согрина [1], **Г.А. Милорадов** [2]
[1–2] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] sogrina.v.a@edu.mirea.ru, [2] miloradov@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Современные системы беспроводной связи требуют высокоэффективных усилителей радиочастоты (УРЧ), способных обеспечивать стабильное усиление сигнала при минимальном уровне шумов и энергопотреблении. Особую актуальность приобретают решения, сочетающие компактность, широкополосные характеристики и возможность интеграции в сложные радиоэлектронные системы. Одним из перспективных компонентов для таких задач является микросхема BGA616, однако её практическое применение требует детального анализа параметров и адаптации под конкретные условия эксплуатации.

Цель. Целью данной работы является изготовление и оценка эффективности усилителя радиочастоты на базе микросхемы BGA616, включая анализ таких ключевых параметров, как: коэффициент усиления, уровень шумов, линейность характеристики, стабильность работы в широком диапазоне частот.

Результаты. Экспериментальные исследования усилителя на базе микросхемы BGA616 показали следующие характеристики: коэффициент усиления достигает максимального значения 20 дБ в частотном диапазоне 1–2 ГГц, при этом зависимость усиления от частоты соответствует паспортным данным с отклонением не более ±0.5 дБ. Уровень шумов усилителя характеризуется коэффициентом шума, не превышающим 2 дБ в рабочем диапазоне частот. Линейные свойства устройства демонстрируют точку компрессии 1 дБ (P1dB) на уровне +15 дБм и интермодуляционные искажения (IP3) +25 дБм. Показатели энергоэффективности составили 30 мА потребляемого тока при напряжении питания 3 В, что подтверждает низкое энергопотребление устройства.

Практическая значимость. Полученные результаты демонстрируют, что усилитель на базе BGA616 является эффективным решением для приемопередающих модулей систем связи (Wi-Fi, Bluetooth, 5G), радиочастотных трактов измерительных приборов, малогабаритных устройств с требованиями к низкому энергопотреблению.

Ключевые слова

Усилитель радиочастоты, BGA616, малошумящий усилитель, моделирование, печатная плата, лабораторные измерения, AWR, AppCAD, Altium Designer, радиосвязь, радиотехника

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Рост требований к качеству радиопередающих систем и стремление к снижению энергопотребления и габаритов аппаратуры определяют необходимость создания компактных и высокоэффективных усилителей радиочастоты. УРЧ — важнейший элемент радиоприемников и передатчиков, напрямую влияющий на чувствительность, линейность и устойчивость всего тракта [1].

Ц е л ь р а б о т ы – изготовление и оценка эффективности усилителя радиочастоты на базе микросхемы BGA616, включая анализ таких ключевых параметров, как: коэффициент усиления, уровень шумов, линейность характеристики, стабильность работы в широком диапазоне частот.

Моделирование и выбор технического решения

Проектирование усилителя началось с анализа существующих решений и схемотехнических подходов к реализации малошумящих усилителей. Особое внимание было уделено вопросам согласования импеданса, стабильности и компоновки на печатной плате.

Схема усилителя разрабатывалась с использованием типовой конфигурации включения BGA616, рекомендованной производителем [2]. Для анализа рабочих характеристик усилителя применялись программные средства AppCAD и AWR Design Environment [3], [4]. В среде

AppCAD были рассчитаны параметры компланарной линии передачи, а в AWR произведено моделирование частотной зависимости усиления, согласования и уровня шума.

Для расчёта характеристик компланарной линии в программе AppCAD (рис. 1) были заданы следующие параметры:

- относительная диэлектрическая проницаемость подложки (ε_r): 4,6;
- толщина подложки (T): 0,020 мм;
- высота подложки (H): 1,5 мм;
- ширина центрального проводника (W): 2,7 мм;
- зазор между центральным проводником и землей (G): 2 мм;
- тип диэлектрика: FR-4;
- рабочая частота: 2,7 ГГц.

Все геометрические размеры заданы в миллиметрах.

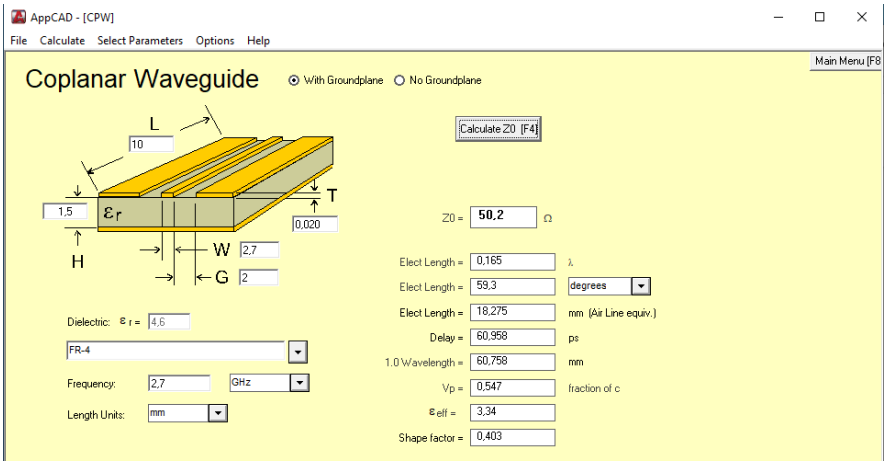


Рис. 1. Рабочая область программы AppCAD
Fig. 1. The working area of the AppCAD program

Моделирование компланарной линии в программе AWR Design Environment (рис. 2) выполнено для следующих характеристик:

1. Подложка (CPW-SUB):

- диэлектрическая проницаемость: $\varepsilon_r = 4{,}6$;
- толщина: H = 1,5 мм;
- толщина металлизации: T = 0,020 мм;
- тангенс угла потерь: tan = 0,022 при 2,7 ГГц;
- воздушный зазор: Hoover = 1 мм;
- адгезионный слой: Hab = 0,05 мм.

2. Геометрия линии (CPWLINE):

- ширина центрального проводника: W = 2,7 мм;
- зазор проводник-земля: S = 1 мм;
- длина линии: L = 10 мм;
- волновое сопротивление: Z = 50 Ом.

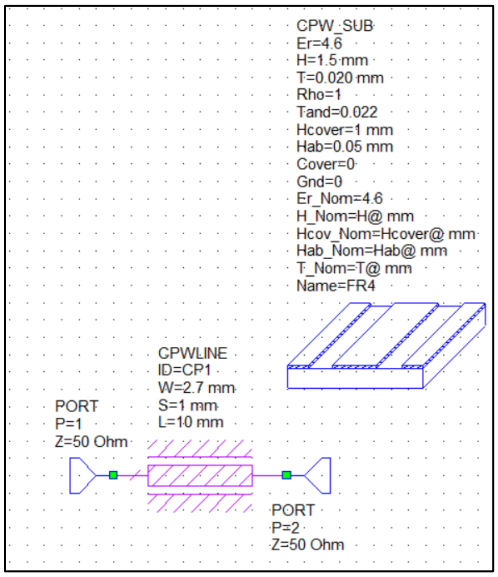


Рис. 2. Рабочая область программы AppCAD
Fig. 2. CPW diagram with ports and board material parameters

Также было выполнено электромагнитное моделирование в программе AWR Design Environment (рис. 3).

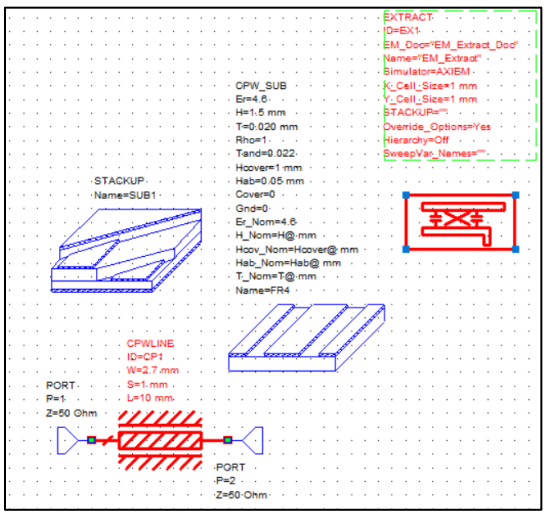


Рис. 3. Рабочая область программы AppCAD
Fig. 3. CPW circuit with ports and board material parameters with addition of extraction unit and SETUP unit

Результаты моделирования показали, что при правильной конфигурации схемы и выборе согласующих элементов можно обеспечить коэффициент усиления порядка 18,5–18,9 дБ, коэффициент шума менее 2,2 дБ, а КСВН на входе и выходе — в пределах 1,2–1,5 в рабочем диапазоне частот до 2,7 ГГц.

Разработка и изготовление печатной платы

Следующим этапом стала разработка печатной платы, выполненная в среде Altium Designer [5] (рис. 4). Основной задачей при проектировании платы было обеспечение согласования ВЧ-цепей, снижение влияния паразитных эффектов и минимизация переходных сопротивлений.

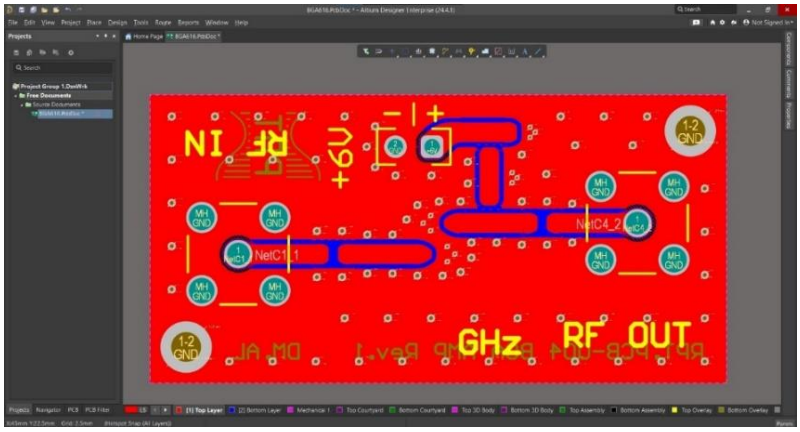


Рис. 4. Топология печатной платы в среде Altium Designer
Fig. 4. The topology of the printed circuit board in the Altium Designer environment

Топология платы реализована с использованием компланарной линий. Это позволило повысить устойчивость к внешним электромагнитным воздействиям и упростить согласование входного и выходного трактов усилителя. Были предусмотрены заземляющие отверстия вокруг сигнальных дорожек для экранирования.

Изготовление платы выполнено на двухслойном стеклотекстолите FR4 с толщиной 1,5 мм и стандартной медной фольгой толщиной 35 мкм. Монтаж компонентов осуществлялся методом пайки горячим воздухом, с использованием бессвинцового припоя. Микросхема BGA616 установлена в корпусе SOT-343 и требует особого подхода к пайке из-за близкого расположения выводов.

Лабораторные измерения

После завершения монтажа усилитель прошёл лабораторные испытания в учебной лаборатории. Лабораторная установка представлена на рисунке 5.

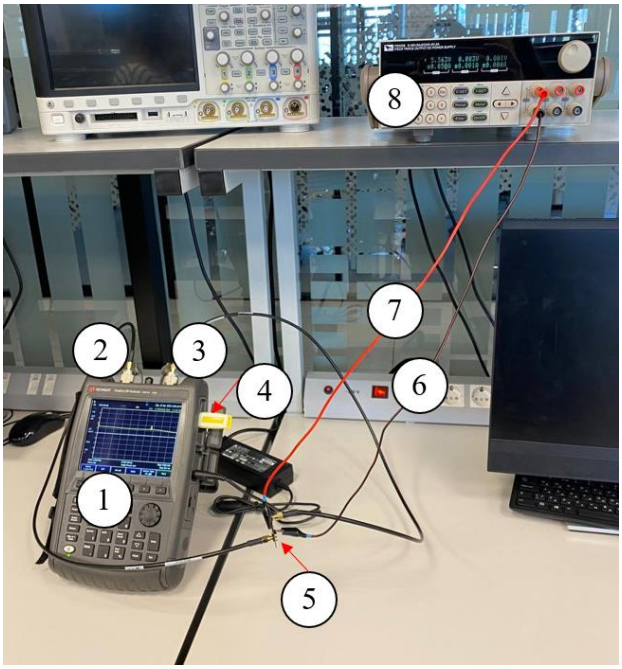


Рис. 5. Лабораторная установка
Fig. 5. Laboratory installation

Описание лабораторной установки: 1 – Спектроанализатор; 2 – Порт 1; 3 – Порт 2; 4 – Флеш-накопитель; 5 – плата УРЧ; 6 – Клемма со знаком «+»; 7 – Клемма со знаком «-»; 8 – Блок питания.

В результате измерений получили следующие значения, которые для наглядности представлены в виде графика зависимости амплитудных характеристик от частоты (рис. 6)

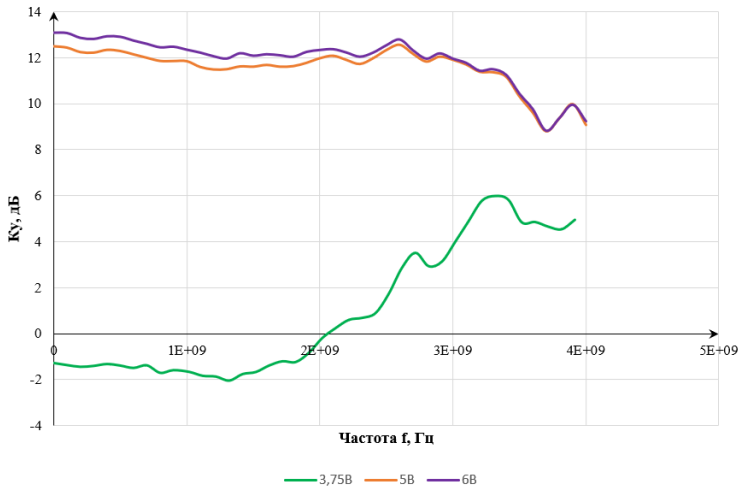


Рис. 6. График зависимости коэффициента усиления от частоты
Fig. 6. Graph of the frequency dependence of the gain

График отражает основные параметры разработанного усилителя на базе BGA616 в широком частотном диапазоне. В пределах 200 МГц – 2,5 ГГц устройство демонстрирует стабильное усиление на уровне $12 \pm 0{,}5$ дБ, что соответствует проектным требованиям и подтверждает корректность схемотехнической реализации.

В диапазоне 2–200 МГц наблюдается незначительное снижение усиления, не критичное для большинства приложений. Однако в области 2,6–2,7 ГГц зафиксирован резкий всплеск до 13,5 дБ, вероятно связанный с паразитной генерацией или недостаточной развязкой питания.

При частотах выше 2,7 ГГц усиление постепенно снижается, что объясняется выходом за рабочий диапазон BGA616 и возрастающими потерями.

По результатам лабораторных измерений можно сделать вывод, что разработанный усилитель соответствует данным из технической документации и подходит для использования в частотном диапазоне до 2,7 ГГц.

Заключение

Разработанный усилитель радиочастоты на базе микросхемы BGA616 показал высокие эксплуатационные характеристики. Проведённое моделирование, точное проектирование печатной платы и использование профессиональных САПР обеспечили высокую точность расчётов и повторяемость характеристик в реальных условиях.

Экспериментальные данные подтвердили надёжность и стабильность работы усилителя в диапазоне до 2,7 ГГц, что делает его пригодным для использования в составе телекоммуникационных, измерительных и беспроводных систем. Устройство обладает высокой чувствительностью, малыми размерами и устойчивостью к помехам.

Список источников

1. Chipdip.ru – BGA616: широкополосный малошумящий усилитель [Электронный ресурс]. – URL: https://www.chipdip.ru/product/bga616-2 (дата обращения: 29.04.2025).
2. Infineon Technologies. BGA616 Wideband Low-Noise Amplifier: datasheet. – Rev. 2.3. – 2021. – 28 p. – URL: https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-BGA616-DS-v02_03-en.pdf (дата обращения: 29.04.2025).
3. Broadcom Inc. AppCAD [Электронный ресурс]. – URL: https://www.broadcom.com/info/wireless/appcad (дата обращения: 01.05.2025).
4. PCBSoftware. AWR Design Environment [Электронный ресурс]. – URL: https://pcbsoftware.com/product/awr/ (дата обращения: 01.05.2025).
5. Altium Designer [Электронный ресурс] // Altium LLC. - URL: https://www.altium.com/altium-designer (дата обращения: 01.05.2025).

RADIO FREQUENCY AMPLIFIER BASED ON THE BGA616 CHIP

V.A. Sogrina [1], **G.A. Miloradov** [2]
[1–2] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] sogrina.v.a@edu.mirea.ru, [2] miloradov@mirea.ru

Abstract

The article discusses the development of a radio frequency amplifier based on the BGA616 chip from Infineon Technologies. The work covers the entire development cycle: from the analysis of existing solutions and circuit modeling to the design of a printed circuit board, its manufacture and experimental study of characteristics. Modeling was carried out using the Autocad and AWR Design Environment programs, and a printed circuit board was implemented in Altium Designer. Laboratory tests have confirmed the correctness of the selected circuit design and design solutions. The results show that the amplifier operates stably in the frequency range up to 2.7 GHz, providing high gain and low noise. The data obtained indicate the possibility of using the developed device in telecommunication and measurement systems.

Keywords

Radio frequency amplifier, BGA616, low noise amplifier, simulation, printed circuit board, laboratory measurements, AWR, AppCAD, Altium Designer, radio communications, radio engineering.

УДК 534.86

РАЗРАБОТКА УСИЛИТЕЛЯ РАДИОЧАСТОТЫ НА БАЗЕ МИКРОСХЕМЫ ADL5535ARKZ-R7

Д.А. Становова[1], **Г.А. Милорадов**[2]
[1–2] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] stanovova.d.a@edu.mirea.ru, [2] miloradov@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Современные телекоммуникационные системы предъявляют жёсткие требования к усилителям радиочастоты, особенно в диапазоне до 1 ГГц, включая устойчивость к помехам, стабильность характеристик и миниатюризацию. В условиях растущего спроса на устройства для телекоммуникационных систем требуется разработка энергоэффективных и компактных решений с высокой линейностью и низким уровнем шума.

Цель. Разработка, моделирование, изготовление и экспериментальная проверка усилителя радиочастоты на базе микросхемы ADL5535ARKZ-R7, обеспечивающего стабильные характеристики в заданном частотном диапазоне.

Результаты. Разработано схемотехническое решение усилителя радиочастоты, выполнено имитационное моделирование, разработана и изготовлена печатная плата, проведены лабораторные испытания. Устройство показало стабильные характеристики усиления и хорошее согласование по входу/выходу в диапазоне до 1 ГГц, подтверждённые S-параметрами.

Практическая значимость. Полученные результаты могут быть использованы при создании приёмопередающих трактов систем связи четвертого поколения, радиолокационных комплексах, а также в составе модулей телекоммуникационного оборудования. Разработка ориентирована на промышленную интеграцию с применением серийных компонентов.

Ключевые слова

Усилитель радиочастоты, сотовая связь четвёртого поколения, схемотехника, моделирование, печатная плата, радиосвязь, S-параметры, телекоммуникационные системы.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Современные инфокоммуникационные системы требуют высокоэффективных и устойчивых к внешним воздействиям радиочастотных компонентов, особенно в диапазоне до 1 ГГц. Одним из важнейших элементов таких систем является усилитель радиочастоты (УРЧ), обеспечивающий усиление слабых сигналов при минимальных искажениях и шумах. Высокая линейность, стабильность характеристик и компактность устройства становятся ключевыми факторами при его проектировании, особенно с учётом требований сетей сотовой связи четвёртого поколения и Интернета вещей.

Микросхема ADL5535ARKZ-R7 представляет собой интегральное решение, оптимизированное для широкополосной работы в радиочастотном диапазоне. Благодаря малым габаритам, стабильному коэффициенту усиления и высокому входному сопротивлению, она хорошо подходит для построения универсальных УРЧ, применимых в приёмопередающих трактах современных телекоммуникационных систем.

Цель работы – Разработка, моделирование, изготовление и экспериментальная проверка усилителя радиочастоты на базе микросхемы ADL5535ARKZ-R7, обеспечивающего стабильные характеристики в заданном частотном диапазоне.

Методика проектирования

Для реализации широкополосного усилителя радиочастоты в диапазоне 20 МГц – 1 ГГц была выбрана микросхема ADL5535ARKZ-R7 от компании Analog Devices. Она обеспечивает фиксированный коэффициент усиления 16 дБ, встроенное согласование, напряжение питания 4,5–5,5 В, потребляемый ток 97 мА и высокую линейность, что делает её оптимальным решением для применения в телекоммуникационных системах [1].

Проектирование велось с использованием следующих этапов:

1. Разработка принципиальной схемы УРЧ с блоком питания и согласующими цепями;

2. Подбор и расчет компланарной линии передачи в AppCAD, обеспечивающей волновое сопротивление 50 Ом и расчет согласующих цепей;

3. Моделирование и анализ компланарной линии усилителя;

4. Трассировка печатной платы в Altium Designer, создание образца усилителя;

5. Проверка характеристик на лабораторном оборудовании.

При разработке схемы использовались элементы стандартной библиотеки программы Altium Designer, включая конденсаторы, дроссели и пассивные компоненты, что позволило ускорить процесс проектирования и обеспечило соответствие общепринятым нормам оформления электрических схем. Микросхема ADL5535ARKZ-R7, отсутствующая в стандартной библиотеке, была создана вручную. На основе технической документации были определены все выводы микросхемы: вход, выход, земля. Было разработано графическое обозначение микросхемы и соответствующее посадочное место с учетом реальных габаритов корпуса. Принципиальная схема устройства представлена на рисунке 1 [2].

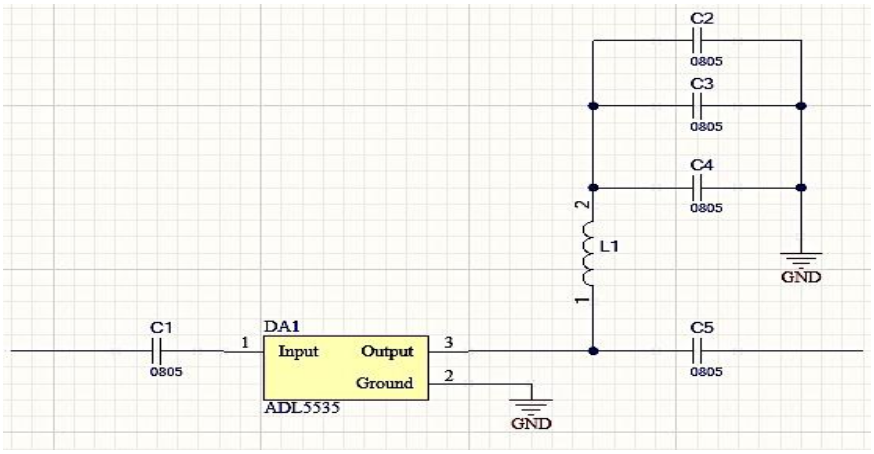


Рис. 1. Принципиальная схема усилителя
Fig. 1. The scheme of the amplifier

Входной и выходной сигналы проходят через конденсаторы C_1 и C_5, пропускающие только переменные составляющие сигнала. Питание подаётся через дроссель L_1, блокирующий ВЧ-помехи, а три параллельно подключенных конденсатора $C_2 - C_4$ обеспечивают фильтрацию помех в широком диапазоне частот. Все элементы заземлены по общей точке для стабильной работы на высоких частотах. Номиналы элементов были выбраны в соответствии с рекомендациями производителя, которые показаны в таблице 1.

Таблица 1. Номиналы компонентов

Компонент	Описание	Значение
C_1, C_5	Конденсаторы связи по переменному току	0,1 мкФ
L_1	Индуктор смещения постоянного тока	470 нГн
C_2	Развязывающий конденсатор источника питания	1 мкФ
C_3	Развязывающий конденсатор источника питания	1,2 нФ
C_4	Развязывающий конденсатор источника питания	68 пФ

При проектировании ПП УРЧ особое внимание уделяется расчету параметров компланарной линии (КПЛ) с заземлением, так как они играют ключевую роль в передаче высокочастотных сигналов с минимальными потерями и искажениями. В данном разделе представлены результаты моделирования характеристик КПЛ, выполненные с использованием программы AppCAD [3].

AppCAD – инструмент для быстрой оценки параметров КПЛ, таких как волновое сопротивление, эффективная диэлектрическая проницаемость и фазовая скорость. Процесс расчета параметров КПЛ с использованием программы AppCAD представлен на рисунке 2.

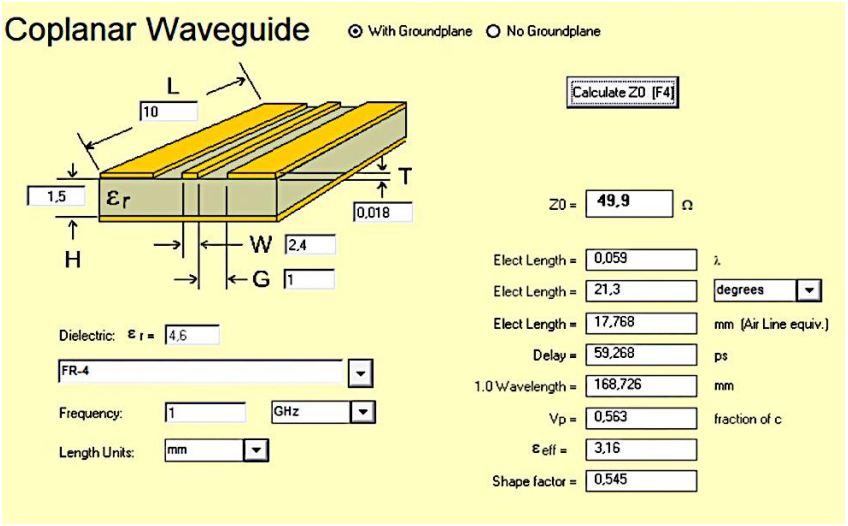


Рис. 2. Расчет параметров компланарной линии с заземлением
Fig. 2. Calculation of parameters of a coplanar line with grounding

Подбирались геометрические параметры чтобы обеспечить согласование на 50 Ом. Наибольшее влияние на волновое сопротивление оказывает ширина сигнального проводника, поэтому путем поэтапного изменения этого параметра удалось добиться согласования линии с волновым сопротивлением 50 Ом.

Эффективность функционирования УРЧ во многом определяется качеством согласующих цепей. Их основная задача – минимизировать отражения сигнала и потери мощности на границах между каскадами схемы и внешними элементами тракта, такими как антенны, фильтры и измерительное оборудование. Нарушение согласования импедансов способно вызвать значительные искажения сигнала, снижение усиления и ухудшение стабильности работы схемы.

Целью расчета является обеспечение минимальных потерь мощности сигнала и стабильностью работы усилителя путем согласования импедансов на всех участках цепи. Нарушения согласования может привести к значительным искажениям сигнала, снижению коэффициента усиления, ухудшению стабильности работы схемы и самовозбуждению усилителя из-за паразитных связей [4].

Основная функция конденсаторов – блокировка постоянной составляющей сигнала при свободном пропускании радиочастотного сигнала без существенных потерь. При неверно выбранной ёмкости возможны искажения спектра, фазовые сдвиги и ухудшение согласования. Реактивное сопротивление конденсатора рассчитывается по формуле [5]:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \quad (1)$$

где f – рабочая частота (Гц);
C – емкость конденсатора (Ф).

На практике выбрана ёмкость 0,1 мкФ (100 нФ), что обеспечивает реактивное сопротивление на верхней частоте порядка:

$$X_c \approx \frac{1}{2\pi \times 10^9 \times 1 \times 100 \times 10^{-9}} \approx 1{,}59 \text{ мОм}.$$

Для нижней границы (20 МГц):

$$X_c \approx \frac{1}{2\pi \times 20 \times 10^6 \times 100 \times 10^{-9}} \approx 80 \text{ мОм}.$$

Цепь питания УРЧ может быть источником высокочастотных помех. Для её развязки используется дроссель (L_1), блокирующий ВЧ-сигналы и развязывающие конденсаторы (C_2, C_3, C_4), фильтрующие помехи на разных частотах. Такой многоступенчатый подход

позволяет добиться широкой полосы подавления помех, которые могут проникать в усилитель через цепь питания. Индуктивное реактивное сопротивление дросселя рассчитывается по формуле [5]:

$$X_L = 2\pi f L. \quad (2)$$

При частоте 1 ГГц оно составляет:

$$X_L = 2\pi \times 1 \times 10^9 \times 470 \times 10^{-9} \approx 2{,}95 \text{ кОм}.$$

При частоте 20 МГц оно составляет:

$$X_L = 2\pi \times 20 \times 10^6 \times 470 \times 10^{-9} \approx 59 \text{ Ом}.$$

Частота среза нужна для того, чтобы понять, начиная с какой частоты цепь фильтрации начнёт эффективно подавлять нежелательные сигналы. Это позволяет грамотно спроектировать защиту усилителя от высокочастотных помех и обеспечить его стабильную работу. Рассчитаем граничные частоты среза для развязывающих конденсаторов по формуле:

$$f_{\text{ср}} = \frac{1}{2\pi RC} \quad (3)$$

где R – эквивалентное сопротивление нагрузки (Ом);
C – ёмкость конденсатора (Ф).

В приведённых расчётах используется сопротивление R = 50 Ом, соответствующее стандартному волновому сопротивлению радиочастотного тракта. Такое приближение принято в ВЧ-технике и позволяет корректно оценить граничные частоты фильтрации, поскольку все элементы тракта (усилитель, кабели, нагрузка) согласованы на 50 Ом.

Для $C_2 = 1$ мкФ:

$$f_{\text{ср2}} = \frac{1}{2\pi \times R \times C_2} = \frac{1}{2\pi \times 50 \times 1 \times 10^{-6}} \approx 3{,}18 \text{ кГц}.$$

Для $C_3 = 1{,}2$ нФ:

$$f_{\text{ср3}} = \frac{1}{2\pi \times R \times C_3} = \frac{1}{2\pi \times 50 \times 1{,}2 \times 10^{-9}} \approx 2{,}65 \text{ МГц}.$$

Для $C_4 = 68$ пФ:

$$f_{\text{ср4}} = \frac{1}{2\pi \times R \times C_4} = \frac{1}{2\pi \times 50 \times 68 \times 10^{-12}} \approx 46{,}8 \text{ МГц}.$$

Эти значения обеспечивают эффективную фильтрацию помех в разных диапазонах: низкие частоты – до 3,18 кГц; средние частоты – от 3,18 кГц до 2,65 МГц; высокие частоты – выше 46,8 МГц.

Такое решение гарантирует минимальные отражения сигнала, стабильную работу устройства при различных режимах нагрузки, повышенную надёжность и качество передачи радиочастотного сигнала. Выбранные элементы обеспечивают надёжное согласование усилителя с внешними нагрузками на 50 Ом и эффективно защищают его от помех.

Проектирование КПЛ УРЧ проводилось в AWR Microwave Office и началось с определения её основных параметров. Ширина компланарной полосы была рассчитана ранее с использованием программы AppCAD для обеспечения волнового сопротивления 50 Ом, необходимого для согласования входа и выхода усилителя [6,7]. На рисунке 3 показана модель КПЛ, созданная с учётом портов и характеристик материалов подложки.

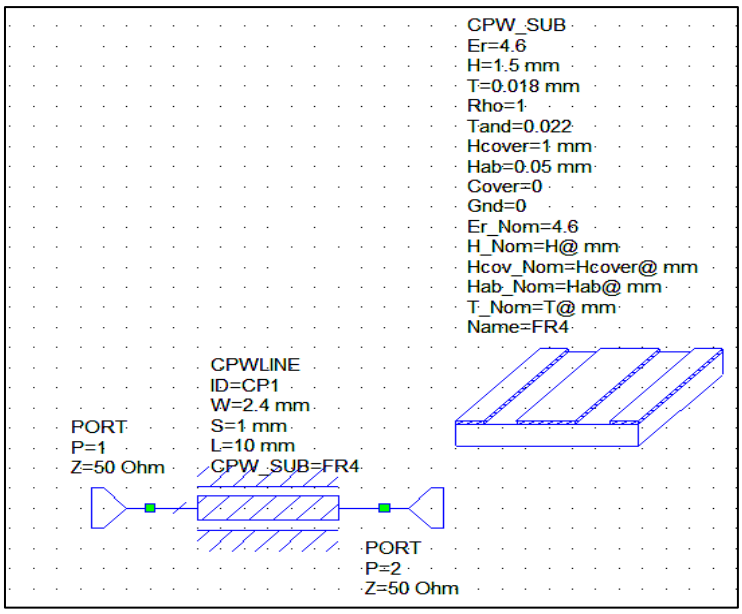


Рис. 3. Компланарная линия на подложке FR4
Fig. 3. Coplanar line on FR4 substrate

После построения геометрической модели КПЛ были проведены расчёты её высокочастотных характеристик. Моделирование проводится с целью исследования параметров S_{11} и S_{22} (коэффициенты отражения), а также S_{21} и S_{12}(коэффициенты передачи) в рабочем диапазоне частот от 20 МГц до 1 ГГц, чтобы оценить степень согласования линии с нагрузкой на 50 Ом. Результаты линейного моделирования показаны на рисунке 4.

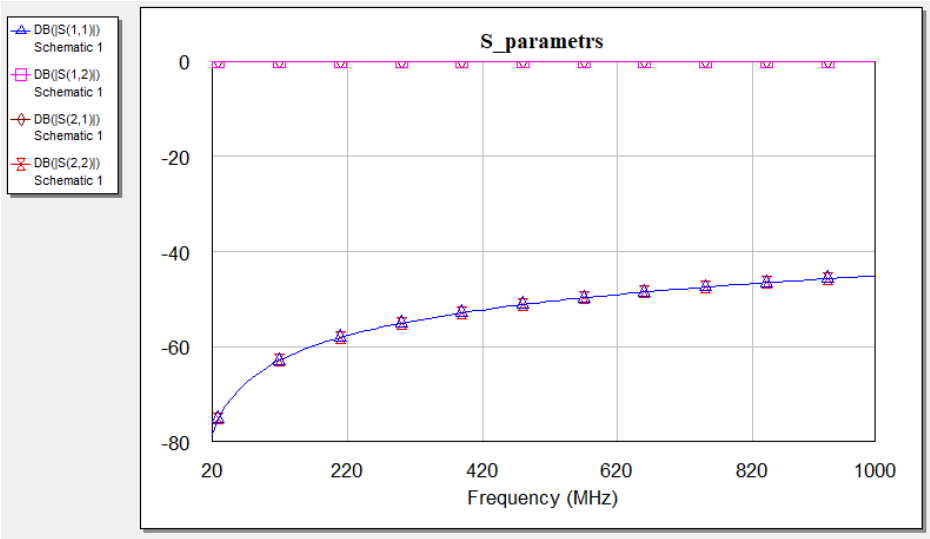


Рис. 4. График S-параметров при линейном моделировании
Fig. 4. S-parameter plot for linear modeling

При анализе графика, выявлено следующее: коэффициент отражения на входе (S_{11}) и выходе (S_{22}) показывает значения в диапазоне от минус 78 дБ до минус 40 дБ, что говорит о крайне малом уровне напряжения – устройство хорошо согласовано с линией; коэффициенты передачи (S_{12}, S_{21}) находится близко к 0 дБ, что свидетельствует о минимальных потерях сигнала.

В результате линейного моделирования было подтверждено, что КПЛ обладает хорошим согласованием.

При разработке печатной платы (ПП) усилителя особое внимание уделяется технологии её изготовления, поскольку она напрямую влияет на стабильность высокочастотных характеристик устройства. Для реализации двусторонней платы были рассмотрены несколько

технологий: химическое травление, фрезерование, лазерное выжигание, а также промышленные методы, такие как плазменное травление и напыление. В таблице 2 представлено сравнение наиболее распространённых технологий [8].

Таблица 2. Сравнительный анализ выбора технологии изготовления ПП

Метод	Описание	Плюсы	Минусы
Металлизация отверстий	Формирование межслойных соединений	Автоматизация, простота и высокая скорость производства	Слабые торцевые соединения
Попарное прессование	Послойное соединение после металлизации	Простота и быстрота производства, низкий процент брака	Ограничение по слоям
Химический субтрактивный	Травление меди с фольгированного основания	Автоматизация, низкая себестоимость	Дорогие материалы, много отходов
Субтрактивный с 3D-фотошаблоном	3D-печать маски и травление	Точность, доступность, низкая стоимость	Ручные операции, долгое травление
Послойное наращивание	Последовательное формирование слоёв	Высокая плотность монтажа	Дороговизна, долгий процесс
Аддитивный	Нанесение меди без травления	Нет подтравливания	Дороговизна

На основании проведённого анализа была выбрана технология химического субтрактивного травления с использованием 3D-принтера [9]. Так же был выбран стандартный стеклотекстолит FR-4 благодаря его оптимальному соотношению электрических характеристик, доступности и стоимости. Данный материал обеспечивает требуемые параметры работы усилителя в диапазоне частот до 1 ГГц при минимальных затратах на производство.

С помощью САПР Altium Designer было создано схемотехническое представление усилителя на базе микросхемы ADL5535ARKZ-R7. На основании схемы, произведена автоматическая трассировка ПП, содержащая все необходимые посадочные места для компонентов, дорожки и клеммы для подключения источников питания и снятия выходных сигналов [2, 10]. Для обеспечения согласования были заданы правила проектирования, такие как ширина дорожки – 2,4 мм и расстояние между дорожками – 1 мм. После автоматической разводки выполнена ручная топология для устранения паразитных связей и обеспечения корректной геометрии линий. Трассировка платы была сохранена в формате Gerber. Для последующего использования на 3D-принтере гербер-файл был преобразован в формат, воспринимаемый принтером, как показано на рисунке 5.

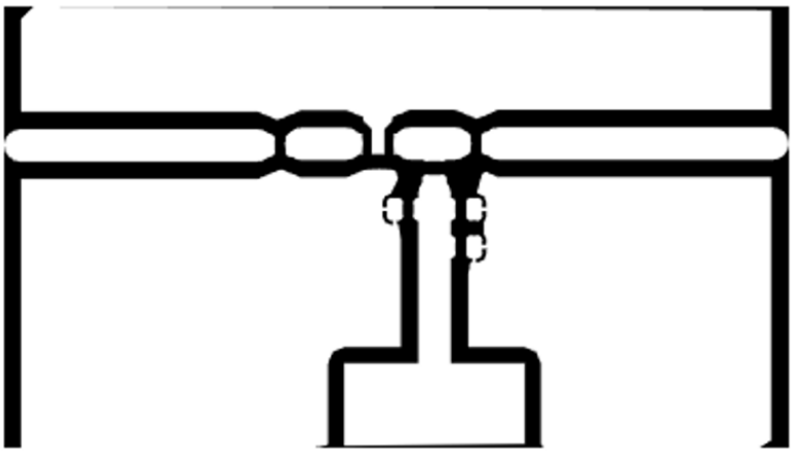


Рис. 5. Модель верхнего слоя печатной платы, подготовленная для засветки на 3D-принтере
Fig. 5. A model of the top layer of a printed circuit board, prepared for exposure on a 3D printer

Поверхность двустороннего стеклотекстолита толщиной подложки 1,5 мм и толщиной медного покрытия 0,018 мм была тщательно очищена и обезжирена. С помощью ламинатора

на обе стороны текстолита был закреплён светочувствительный фоторезист. Заготовка представляла собой плату размером 60 на 30 мм.

Процесс переноса рисунка топологии ПП с цифровой модели на поверхность текстолита с фоторезистом выполнялся с использованием фотополимерного 3D-принтера Anycubic Photon Mono X, который обеспечивает более точную передачу деталей трассировки. На верхнюю сторону текстолита была засвечена трассировка сигнальных линий усилителя, а на нижнюю сторону – сплошной заземляющий слой. На рисунке 6 представлена поверхность текстолита после засветки фоторезиста в соответствии с подготовленной цифровой моделью.

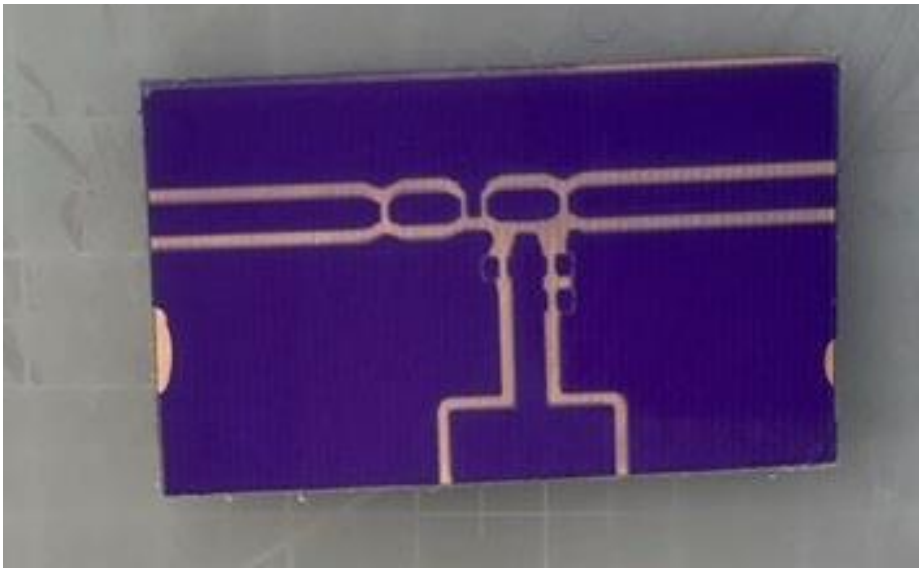


Рис. 6. Текстолит с нанесённым рисунком после засветки на 3D-принтере
Fig. 6. Textolite with a printed pattern after exposure on a 3D printer

После засветки незакреплённый фоторезист смывался с помощью однопроцентного раствора кальцинированной соды (1,5-2 г соды на 100 мл воды). Время проявления составляло 1-2 минуты. Травление производилось в химическом растворе, содержащем 100 мл шестипроцентного перекиси водорода, 50 мл воды, 45 г лимонной кислоты и 7,5 г поваренной соли. Продолжительность травления составила около 20 минут. После травления защитный полимерный слой фоторезиста (который был полимеризирован на 3D принтере) был удалён с помощью десятипроцентного раствора каустической соды (10 г соды на 100 мл воды) в течение 5 минут. После каждой химической обработки плата тщательно промывалась под проточной водой для удаления остатков реагентов. В результате выполнения всех технологических операций была получена двусторонняя ПП усилителя с сигнальными линиями на верхней стороне и сплошным заземляющим слоем на нижней стороне.

На рисунке 7 показан финальный образец собранной платы усилителя. Все компоненты – микросхема, конденсаторы, дроссель, SMA-разъёмы и провод питания – были припаяны вручную с помощью маломощного паяльника. После сборки мультиметром проверялась целостность всех ключевых соединений.

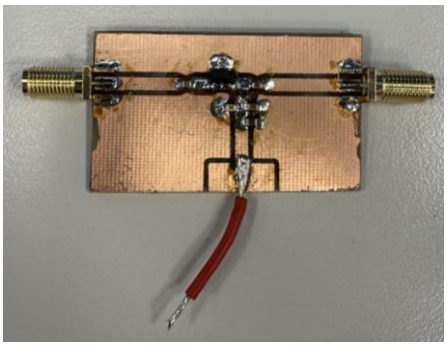


Рис. 7. Собранная печатная плата усилителя радиочастоты
Fig. 7. Assembled RF amplifier printed circuit board

Для испытаний использовалась лабораторная установка с ВЧ-анализатором, источником питания и соединительными кабелями. Цель испытаний – измерение зависимости коэффициента передачи S_{21} от частоты. Анализатор работал в режиме Network Analyzer, при котором сигнал подается на вход, а на выходе фиксируется отклик от исследуемой цепи. В ходе лабораторных испытаний были получены графики зависимости коэффициента передачи S_{21} от частоты в диапазоне 2 МГц-1 ГГц при трёх уровнях питающего напряжения: 2,8 В; 3,5 В; 5,0 В. На основании экспортированных данных также был построен сводный график, демонстрирующий поведение усилителя в различных режимах работы.

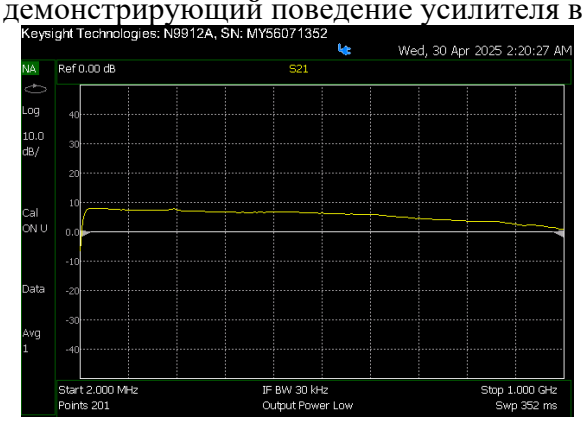


Рис. 8. Частотная характеристика усилителя при $U_{\text{пит}} = 2{,}8$ В

Fig. 8. Frequency response of the amplifier at $U_{pit} = 2{,}8\ V$

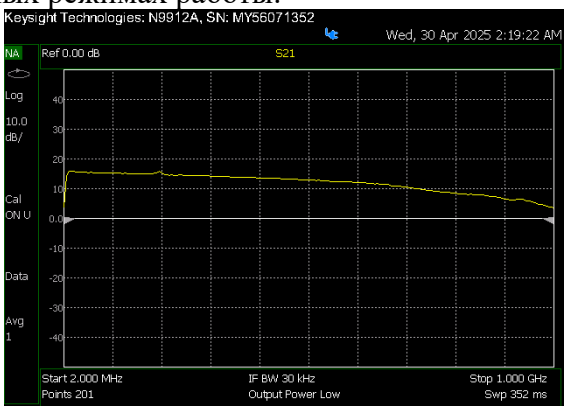


Рис. 9. Частотная характеристика усилителя при $U_{\text{пит}} = 3{,}5$ В

Fig. 9. Frequency response of the amplifier at $U_{pit} = 3{,}5\ V$

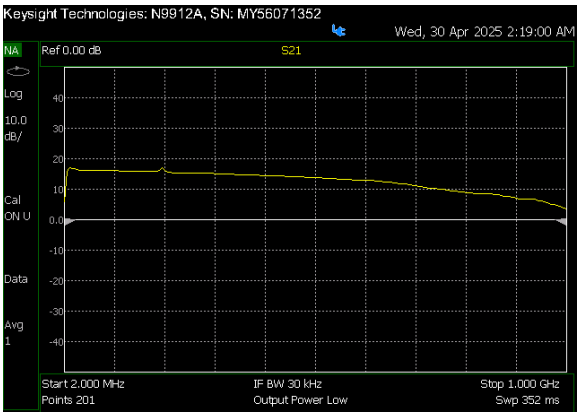


Рис. 10. Частотная характеристика усилителя при $U_{\text{пит}} = 5{,}0$ В

Fig. 10. Frequency response of the amplifier at $U_{pit} = 5{,}0\ V$

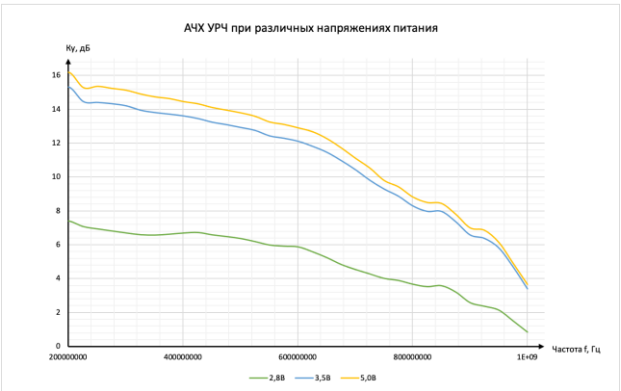


Рис. 11. Сравнительный график S_{21} при разных напряжениях питания

Fig. 11. Comparative graph of S_{21} at different supply voltages

При питании 2,8 В усиления практически нет – коэффициент передачи не превышает 7-8 дБ, ток 5 мА, микросхема не переходит в активный режим. При 3,5 В усилитель переходит в активной режим: коэффициент передачи достигает 12–14 дБ, ток – 28 мА. При 5 В устройство демонстрирует полноценную работу, достигается усиление до 16 дБ в диапазоне 100–800 МГц, ток – 109 мА. Сравнительный график подтверждает: для работы усилителя необходимо питание не ниже номинального.

Заключение

В данной работе представлен полный цикл разработки широкополосного усилителя радиочастоты на базе микросхемы ADL5535ARKZ-R7: от схемотехнического проектирования и расчёта согласующих цепей до изготовления печатной платы и проведения экспериментальных испытаний. Проведённые моделирования и лабораторные измерения подтвердили работоспособность устройства в частотном диапазоне 100–800 МГц, при этом усиление достигало 16 дБ при напряжении питания 5 В. Анализ частотных характеристик

показал хорошее согласование усилителя и высокую стабильность параметров при различных режимах питания.

Полученные результаты демонстрируют перспективность применения данного решения в составе приёмопередающих трактов телекоммуникационного оборудования, включая системы четвёртого поколения, радиолокационные комплексы и устройства Интернета вещей. Использование серийных компонентов и доступных технологий изготовления делает разработку пригодной для интеграции в массовое производство.

Список источников

1. ADL5535ARKZ-R7, ВЧ усилитель 20 МГц ... 1 ГГц [SOT-89.] [Электронный ресурс]. – URL: https://www.chipdip.ru/product/adl5535arkz-r7-2 (дата обращения: 03.05.2025).
2. *Капач Т. С., Хамиченок М. И.* Altium designer–современное средство проектирования программно управляемых электронных средств // Современные компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях: материалы международной научно- практической конференции студентов, магистрантов и аспирантов. 2022.
3. Расчет волнового сопротивления с помощью AppCAD [Электронный ресурс]. – URL: https://dzen.ru/a/ZdSWVUtrLyVv7JqA (дата обращения: 03.05.2025).
4. *Калимулин И. Ф., Заболоцкий А. М., Газизов Т. Р.* Методики и модели для учета паразитных параметров печатных узлов при анализе электромагнитной совместимости бортовой радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов. – Томск: Изд-во ТУСУР, 2015.
5. Основные понятия сопротивления и реактивного сопротивления [Электронный ресурс]. – URL: https://www.gnscomponent.com/info/basic-concepts-of-impedance-and-reactance-41442891.html (дата обращения: 03.05.2025).
6. *Овчинникова Е. В., Шмачилин П. А., Кондратьева С. Г., Гаджиев Э. В. [и др.].* ОБЗОР СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ //Вопросы электромеханики. 2024. Т. 198, №. 1. С. 39-46.
7. *Дударев Н. В.* Разработка метода оптимизации СВЧ узлов на основе щелевых линий передачи: диссертация кандидата технических наук. – Пенза: ПГУТ, 2020.
8. Технология и методы изготовления печатных плат [Электронный ресурс]. – URL: https://fregat.ru/informatsiya/stati/tekhnologiya-i-metody-izgotovleniya-pechatnyh-plat/?ysclid=mab812n3qj57584574 (дата обращения: 03.05.2025).
9. *Боброва Ю., Мануков Д.* 3D-печать в производстве печатных плат // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2019. – №7. – С. 125–128.
10. *Якубенко А.* Интерактивная трассировка в среде Altium Designer. Часть 1. Трассировка отдельной цепи // Современная электроника. 2018. №3. С. 38–42

RADIO FREQUENCY AMPLIFIER BASED ON ADL5535ARKZ-R7

D.A. Stanovova [1], **G.A. Miloradov** [2]
[1–2] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] stanovova.d.a@edu.mirea.ru, [2] miloradov@mirea.ru

Abstract

Modern telecommunication systems impose strict requirements on radio frequency amplifiers, especially in the sub-gigahertz range, including immunity to interference, stability of characteristics, and compact form factor. In the context of increasing demand for telecommunication equipment, it is essential to develop energy-efficient and compact solutions with high linearity and low noise. This work presents the design, simulation, manufacturing, and experimental validation of a radio frequency amplifier based on the ADL5535ARKZ-R7 microchip, ensuring stable performance within the specified frequency range. A circuit solution was developed, followed by simulation and printed circuit board (PCB) design and fabrication. Laboratory tests confirmed stable gain characteristics and proper input/output impedance matching up to 1 GHz, validated by S-parameter measurements. The proposed amplifier design can be used in transceiver paths of fourth-generation communication systems, radar modules, and telecommunication equipment. The solution is oriented toward industrial implementation using readily available commercial components.

Keywords

Radio frequency amplifier, fourth generation cellular communications, circuit engineering, modeling, printed circuit board, radio communications, S-parameters, telecommunication systems.

УДК 520.8:621.396.96

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ПУЛЬСАРОВ В РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКИХ ДАННЫХ

И.Д. Харитонов[1]
[1] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] haritonoviwan@yandex.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Современные радиотелескопы формируют огромные объёмы данных, содержащих как астрофизические сигналы, так и шумы. Поиск новых пульсаров – одна из ключевых задач радиоастрономии, однако традиционные методы анализа становятся всё менее эффективными при увеличении объёма информации. Это требует автоматизации процессов обнаружения сигналов с использованием методов машинного обучения.

Цель. Исследование возможности применения методов машинного обучения и искусственных нейронных сетей для автоматического распознавания пульсаров в данных радионаблюдений. Сравнение алгоритмов по метрикам качества классификации, выбор наиболее эффективных моделей.

Результаты. Проведён анализ набора данных обзора радионаблюдений, включающий предобработку, оценку корреляции признаков и их важности. Сравнены модели логистической регрессии, метода опорных векторов, метода ближайших соседей и многослойного персептрона. Наилучшие результаты достигнуты при использовании многослойного персептрона и метода ближайших соседей, которые показали высокую точность и полноту классификации. Выявлены особенности взаимодействия моделей с несбалансированными классами и проведена оценка ошибок классификации.

Практическая значимость. Полученные результаты демонстрируют, что методы машинного обучения могут быть эффективно использованы в радиоастрономии для автоматической обработки данных и предварительного отбора кандидатов в пульсары. Предложенные подходы могут быть применены при анализе данных радиотелескопов и в составе систем поддержки принятия решений в астрономических исследованиях.

Ключевые слова

Пульсары, машинное обучение, классификация, радиоастрономия, искусственные нейронные сети, метод ближайших соседей, автоматическое распознавание.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Пульсары – это уникальные астрофизические объекты, представляющие собой быстро вращающиеся нейтронные звезды с мощным магнитным полем. Их диаметр составляет всего около 20 километров, но масса сравнима с солнечной, что делает их одними из самых плотных объектов во Вселенной. Во внешнем проявлении пульсары напоминают «космические маяки»: их мощное магнитное поле направляет пучки электромагнитного излучения, которые при вращении звезды периодически проходят через Землю.

Открытие первого пульсара в 1967 году стало революционным событием для астрофизики, дав новое понимание эволюции звезд и механизмов формирования нейтронных объектов. Сегодня пульсары остаются в центре научных исследований: они помогают проверять гравитационные теории, изучать межзвездную среду и служат естественными космическими часами, с точностью, сравнимой с атомными [1].

Эффективно обнаруживать и изучать пульсары позволяют радиотелескопы. Благодаря высокой чувствительности и широкополосным приемникам, они позволяют фиксировать слабые сигналы, поступающие от удаленных объектов. Анализ временных рядов радиосигналов и их спектральных характеристик позволяет не только находить новые пульсары, но и исследовать их свойства: период вращения, замедление, магнитное поле и пространственное распределение в Галактике.

Развитие методов автоматизированного поиска и анализа сигналов пульсаров тесно связано с прогрессом в области цифровой обработки сигналов и машинного обучения, что открывает новые возможности для точной локализации и классификации радиоисточников.

Актуальность

Современные радиотелескопы, такие как Parkes, LOFAR и Square Kilometre Array (SKA), ежедневно генерируют петабайты данных, и, по мере развития инфраструктуры, будут обеспечивать ещё больший поток радионаблюдений, содержащих огромное количество сигналов от астрономических объектов, земных радиопомех и случайного шума. Объемы информации настолько велики, что традиционные методы обработки, основанные на визуальном анализе и ручной фильтрации данных, становятся непрактичными. Методы машинного обучения и искусственных нейронных сетей позволяют автоматически выделять полезные сигналы среди фоновых шумов, минимизируя влияние человеческого фактора и значительно ускоряя процесс их обнаружения. Развитие алгоритмов глубокого обучения и применение мощных графических процессоров (GPU), которые ускоряют расчеты в сотни раз уже привели к значительным успехам в данной области, что подчеркивает важность внедрения этих технологий [2].

Настоящее исследование посвящено применению методов машинного обучения для автоматического обнаружения пульсаров. Рассматривается использование современных алгоритмов классификации для анализа данных радионаблюдений, с целью повышения точности и эффективности поиска новых объектов.

Методы регистрации пульсаров

Диаметр пульсаров составляет около 20 км, а масса ($1-2M_{\odot}$) сопоставима с солнечной, что делает их одними из самых плотных объектов во Вселенной [3]. Мощные магнитные поля (10^8-10^{15} Гс) ускоряют заряженные частицы в магнитосфере, создавая узконаправленные пучки излучения, которые периодически наблюдаются с Земли – эффект, открытый Хьюишем и Белл в 1967 году [1]. Хотя радиопульсары наиболее известны, существуют и другие типы пульсаров. Например, некоторые нейтронные звёзды (плотные остатки взорвавшихся звёзд) входят в двойные системы, где они постепенно притягивают вещество от соседней звезды и излучают рентгеновские лучи. Другие, называемые магнитарами, обладают рекордно сильными магнитными полями – в миллионы раз мощнее, чем у Земли. Кроме того, существуют пульсары, испускающие гамма-излучение, обнаруженные телескопом Fermi [4].

Радиоизлучение пульсаров формируется за счет ускорения заряженных частиц в сильных магнитных полях. Оно проявляется в виде узконаправленных пучков электромагнитного излучения, которые пересекают Землю с периодичностью, соответствующей вращению пульсара [1].

Пульсары – уникальные объекты, которые помогают учёным изучать фундаментальные законы Вселенной. Например, наблюдение двойного пульсара PSR J0737-3039 позволило подтвердить предсказания Общей теории относительности Эйнштейна с точностью до 0,05% [5].

Анализ дисперсии радиосигналов (задержка низкочастотных компонент из-за взаимодействия с космической средой) и их мерцание (сцинтилляция) из-за неоднородностей в космической плазме позволяет строить карты распределения электронов в Галактике [3, 6].

Открытие новых пульсаров важно для решения фундаментальных задач астрофизики и практических приложений. Например, обнаружение двойных систем, где пульсар вращается вокруг чёрной дыры, позволит проверить предположения квантовой гравитации в экстремальных условиях [7].

Для регистрации пульсаров применяются сложные алгоритмы обработки сигналов, позволяющие выделять сигналы пульсаров из фонового шума. Один из подходов основан на анализе временных рядов данных, получаемых радиотелескопами, с целью обнаружения

периодических сигналов. В этом случае используются методы свертки с временными шаблонами, а также быстрые преобразования Фурье (FFT), позволяющие выявлять периодические компоненты в сигнале [3]. Другой важный метод включает анализ в частотной области, где применяется дисперсионная коррекция для учёта задержки, возникающей при прохождении радиосигнала через разреженную и ионизированную межзвёздную среду, содержащую свободные электроны. [6].

В современных исследованиях, включая проекты, основанные на машинном обучении и автоматической обработке радиосигналов, активно используются методы анализа интегрированного профиля пульсара и DM-SNR (Dispersion Measure – Signal-to-Noise Ratio) кривой [8].

Интегрированный профиль пульсара – это усредненный по времени сигнал, полученный за несколько периодов вращения. Такое усреднение способствует увеличению отношения сигнал/шум (SNR) и позволяет выявить устойчивые характеристики излучения. Основные характеристики этого профиля – это форма импульса, которая отражает структуру излучения магнитосферы, фазовое распределение, демонстрирующее зависимость интенсивности сигнала от фазы вращения, а также ширина импульса, изменяющуюся в зависимости от частоты наблюдений и физических условий вблизи пульсара [6].

DM-SNR кривая используется для оценки качества обнаружения пульсаров. Она строится путем варьирования меры дисперсии (DM) и анализа изменения отношения сигнал/шум (SNR). Максимальное значение SNR соответствует истинной мере дисперсии пульсара, а ошибки в выборе DM приводят к размытой структуре импульса и снижению SNR. При поиске пульсаров широко применяются автоматизированные алгоритмы, которые сканируют диапазон значений DM и фиксируют локальные максимумы SNR, подтверждая наличие пульсара [9].

На рисунке 1 представлены примеры диагностических графиков, используемых при обнаружении пульсара PSR J1926+0739.

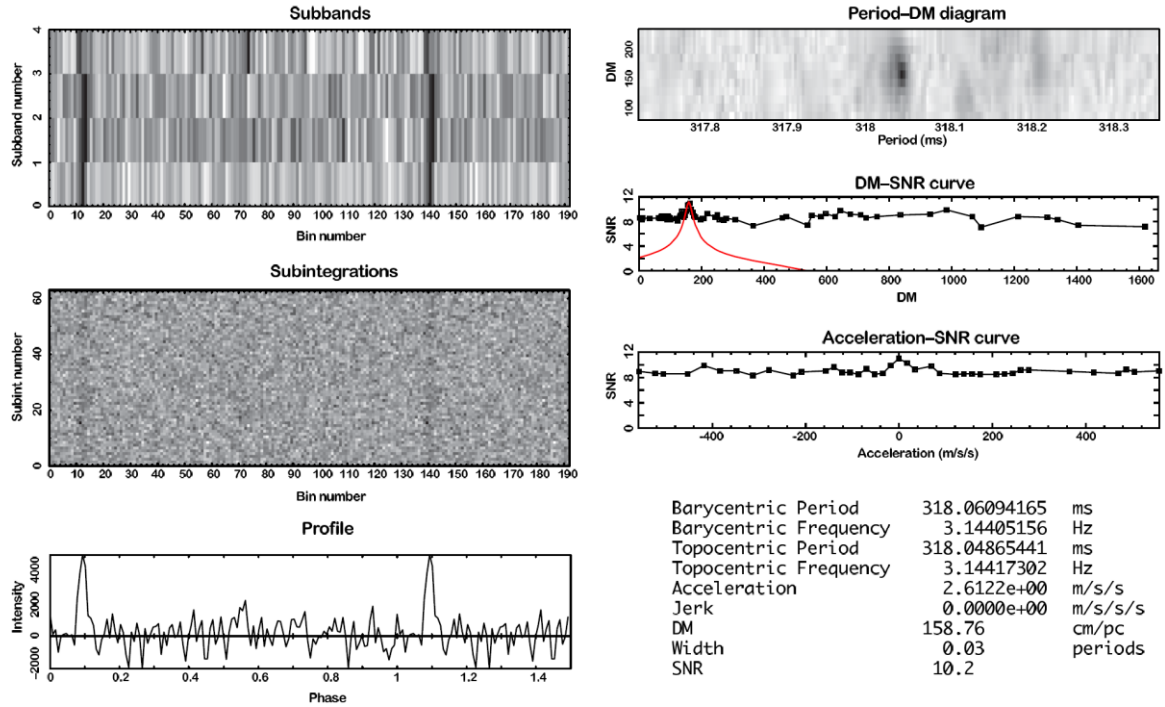


Рис. 1. Интегрированный профиль импульса и DM-SNR кривая для пульсара PSR J1926+0739
Fig. 1. Integrated pulse profile and DM–SNR curve for pulsar PSR J1926+0739

Источник данных

Настоящее исследование основано на архивных данных, полученных в рамках (PMPS) Parkes Multibeam Pulsar Survey – одного из наиболее масштабных радиообзоров южного неба, выполненного на радиотелескопе Murriyang обсерватории Parkes в Австралии в период с 1997 по 2001 год [10]. Основной целью PMPS был поиск радиопульсаров в плоскости Млечного Пути, где плотность нейтронных звёзд максимальна, но высока конкуренция с фоновым радиоизлучением и помехами.

Телескоп Parkes был оснащён 13-лучевым приёмником, работающим в L-диапазоне с центральной длиной волны 21 см (1374-1476 МГц). Приёмник охватывал широкую полосу в 300 МГц и обеспечивал беспрецедентную для своего времени чувствительность [11]. Каждое из 40 000 наблюдений длилось 35 минут, а данные записывались с временным разрешением 250 мкс. Сигнал записывался через 96 частотных каналов шириной по 3 МГц каждый. Для компенсации дисперсионных задержек, вызванных межзвёздной средой, применялся алгоритм с перебором до 390 пробных значений дисперсионной меры (DM) [12].

До 2020-х годов архив подвергался повторной обработке с применением современных алгоритмов, включающего три ключевых усовершенствования:

- ускорение обработки в 100 раз за счёт параллельных вычислений на видеокартах (GPU-оптимизированный поиск) [13],
- повышение чувствительности к узким импульсам (коэффициент заполнения < 5%), чьи сигналы "распределены" по множеству гармоник в спектре за счет расширенного суммирования гармоник (до 32) [14],
- гибкие критерии отбора – снижение порога SNR в спектральной области и анализ дисперсионной меры (DM) [15].

Для подавления радиочастотных помех использовался комплексный подход. На первом этапе автоматически маскировались зашумлённые частотные каналы с помощью алгоритма PRESTO/rfifind, который анализирует статистику по каждому частотному и временно́му интервалу и помечает те, где наблюдаются аномальные выбросы мощности, характерные для радиочастотных помех, что позволяет очистить данные от узкополосных и импульсных помех [16]. Затем применялся многолучевой анализ, основанный на том, что сигналы астрофизического происхождения редко проявляются одновременно в нескольких лучах приёмника [17]. Дополнительная фильтрация включала проверку дисперсионных характеристик: кандидаты с аномально низкой дисперсионной мерой или несоответствием между измеренным и оптимизированным DM исключались из анализа [18].

Эти методы позволили выявить 37 новых пульсаров, ранее скрытых в шуме [13].

Методы машинного обучения для поиска пульсаров

Поиск пульсаров в данных радиообзоров представляет собой задачу бинарной классификации, где каждый кандидат относится к одному из двух классов: пульсар (1) или радиопомеха (0). Для решения этой задачи применяется обучение с учителем, так как исходные данные содержат размеченные примеры – набор признаков и метку класса.

Используемый набор данных HTRU2 (High Time Resolution Universe Survey) - крупный радиоастрономический обзор для поиска пульсаров, содержит 17 898 примеров, каждый из которых описывается восемью признаками:

- среднее значение, стандартное отклонение, эксцесс и асимметрия интегрированного профиля импульса,
- среднее значение, стандартное отклонение, эксцесс и асимметрия кривой DM-SNR.

Обработка и обучение моделей проводились с использованием библиотеки scikit-learn, одного из самых популярных инструментов машинного обучения в Python. Перед обучением данные проходят этап предобработки, включающий нормализацию и разделение на обучающую (80%) и тестовую (20%) выборки. Это позволяет оценить обобщающую способность моделей и избежать переобучения.

Дополнительным этапом предобработки стало изучение корреляции между признаками. Для этого была построена матрица корреляции, показанная на рисунке 2. Анализ показал, что между признаками асимметрией интегрированного профиля (IP_skew) и его эксцессом (IP_kurtosis) существует высокая линейная зависимость (коэффициент корреляции 0.95), аналогичная картина (коэффициент корреляции 0.92) наблюдается между асимметрией и эксцессом DM SNR (DM_SNR _skew и DM_SNR_kurtosis). Такие значения корреляции указывают на избыточность информации: использование одновременно сильно зависимых признаков увеличивает размерность данных, затрудняет обучение и повышает риск переобучения модели, особенно в задачах с ограниченным числом объектов.

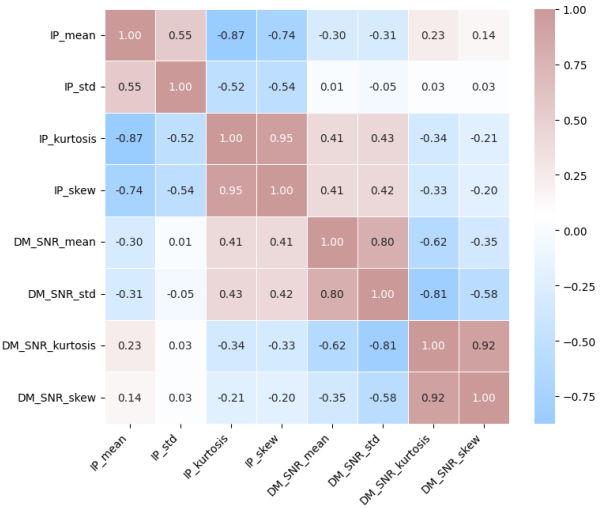


Рис. 2. Корреляционная матрица признаков из набора данных классификации пульсаров
Fig. 2. Correlation matrix of the features from the pulsar classification dataset

Высокая взаимосвязь между признаками способна привести к переусложнению модели и снижению её обобщающей способности. Это может затруднить обучение и интерпретацию результатов, а также привести к нестабильности коэффициентов в случае линейных моделей. Для устранения избыточности и повышения качества модели из рассмотрения были исключены признаки, характеризующие асимметрию. Это решение было принято на основании дополнительного анализа важности признаков: обладают более высокой информативностью и вносят больший вклад в итоговое разделение классов.

В данной работе для классификации пульсаров используются следующие методы машинного обучения: логистическая регрессия, метод k-ближайших соседей (KNN), метод опорных векторов (SVM) и многослойный персептрон (MLP). Ниже кратко описаны методы, их основные идеи и роль в решении задачи.

Логистическая регрессия, несмотря на название, применяется не для прогнозирования чисел, но и для классификации. Этот метод позволяет вычислить вероятность принадлежности объекта к классу «пульсар» на основе линейной комбинации признаков. Благодаря своей простоте и высокой скорости обучения логистическая регрессия часто используется как базовая модель для сравнения с более сложными алгоритмами.

Метод k-ближайших соседей (KNN) работает по принципу «похожести»: новый объект классифицируется на основе того, к какому классу принадлежат его ближайшие «соседи» в данных. Метод не требует сложного обучения, но чувствителен к выбору числа соседей и качеству данных.

Метод опорных векторов (SVM) ищет оптимальную границу между классами, стараясь максимально отдалить её от примеров обоих типов. Если данные сложно разделить прямой линией (например, из-за шума), алгоритм использует математические преобразования

(«ядра»), чтобы перенести их в пространство, где разделение становится возможным. Это позволяет эффективно работать даже с зашумлёнными сигналами.

Многослойный персептрон (MLP) – это нейронная сеть с несколькими скрытыми слоями, относящаяся к глубокому обучению. Каждый слой последовательно извлекает признаки из данных: первый обрабатывает простые закономерности в данных, а последующие формируют более сложные абстракции и выявляют нелинейные зависимости. MLP требует больше данных и вычислительных ресурсов, но способен выявлять неочевидные зависимости, которые упускают другие методы.

При обучении моделей критически важно избегать двух крайностей: недообучения, когда модель слишком проста и не улавливает ключевые закономерности, и переобучения, когда модель подстраивается под случайности в обучающей выборке и плохо работает на новых данных.

Для объективного сравнения эффективности алгоритмов машинного обучения важно использовать набор метрик, отражающих различные характеристики качества классификации. В задачах обнаружения пульсаров, где присутствует дисбаланс классов (пульсары встречаются редко) выбор метрик становится особенно значимым.

Accuracy (точность) отражает долю верно классифицированных объектов от общего числа. Однако в задачах с выраженным дисбалансом классов эта метрика может вводить в заблуждение: высокая точность возможна даже при полном игнорировании редкого класса.

Precision (точность положительного класса) показывает, какая доля объектов, отнесённых моделью к положительному классу (в нашем случае – пульсары), действительно им принадлежит. Recall (полнота) измеряет, какую долю всех реальных объектов положительного класса удалось обнаружить. F1-мера объединяет precision и recall в одно значение, отражающее баланс между ними и особенно полезна при необходимости совместного учёта обоих показателей.

Матрица ошибок позволяет наглядно представить результаты классификации, разбивая их на четыре категории: истинно положительные (TP), ложно положительные (FP), истинно отрицательные (TN) и ложно отрицательные (FN).

В используемом наборе данных объекты класса «пульсар» составляют около 10% от всех наблюдений. Такой дисбаланс является естественным следствием того, что большинство радиосигналов в астрономических данных представляют собой либо шум, либо земные радиопомехи. В условиях несбалансированности классов особенно важны метрики, чувствительные к редкому классу: precision, recall и F1-score. Для некоторых задач с сильным дисбалансом дополнительно используют ROC-кривую и ROC-AUC (площадь под ROC-кривой), с помощью которых оценивают способность модели разделять классы при изменении порога классификации.

В данной работе акцент сделан на precision и recall, поскольку они напрямую влияют на научную ценность результатов. Высокая precision гарантирует, что большинство классифицированных как пульсары объектов действительно являются таковыми, минимизируя количество ложных открытий. Высокий recall позволяет не упустить слабые или нестандартные сигналы пульсаров, что критично для радиоастрономии. Компромисс между этими метриками анализируется через F1-меру (F1-score) – гармоническое среднее между precision и recall, которое позволяет учитывать оба аспекта одновременно. F1-мера вычисляется по формуле:

$$F_1 - score = 2 \cdot \frac{precision \cdot recall}{precision + recall} \quad (1)$$

Эта метрика служит ориентиром при выборе модели, обеспечивая баланс между полнотой обнаружения и точностью классификации.

Сравнительный анализ базовых моделей в задаче классификации пульсаров

Для оценки потенциала различных алгоритмов машинного обучения в задаче обнаружения пульсаров все модели были обучены со стандартными гиперпараметрами. Такой подход обеспечивает объективность сравнения, исключая влияние ручной настройки на начальном этапе. Это позволяет выявить модели, наиболее адаптированные к специфике данных, и сосредоточиться на их дальнейшей оптимизации.

Сводные метрики работы моделей представлены в таблице ниже:

Таблица 1. Метрики работы моделей

Модель	Accuracy	F1-score	ROC-AUC	PR-AUC	Ложные отрицания (FN)
Логистическая регрессия	0.9799	0.8820	0.9692	0.9298	59
KNN	0.9807	0.8896	0.9531	0.8953	50
SVM	0.9804	0.8871	0.9504	0.9109	53
MLP	**0.9813**	**0.8931**	**0.9736**	**0.9301**	**48**

Все модели продемонстрировали исключительно высокую точность (accuracy >97%), что подтверждает хорошую разделимость данных даже при стандартных настройках. Однако метрики, учитывающие дисбаланс классов, такие как F1-score и PR-AUC, выявили нюансы. Многослойный персептрон показал наилучший баланс между точностью (precision=94%) и полнотой (recall=85%), допустив меньше всего ложных отрицаний – критически важный параметр для астрофизических исследований, где пропуск пульсара недопустим. KNN и SVM также проявили себя как надежные алгоритмы, лишь незначительно уступив MLP по ключевым показателям.

Интересно, что логистическая регрессия, несмотря на простоту, достигла ROC-AUC=0.9692, что близко к результатам нейросетевой модели. Это подчеркивает, что линейные зависимости в данных играют существенную роль, но нелинейные методы (MLP, KNN) позволяют выявить дополнительные закономерности.

Полученные результаты формируют основу для следующих этапов работы, включая тонкую настройку гиперпараметров, эксперименты с балансировкой классов и углубленный анализ признаков. Высокая базовая производительность моделей свидетельствует о перспективности применения машинного обучения для автоматизации поиска пульсаров в больших астрономических данных.

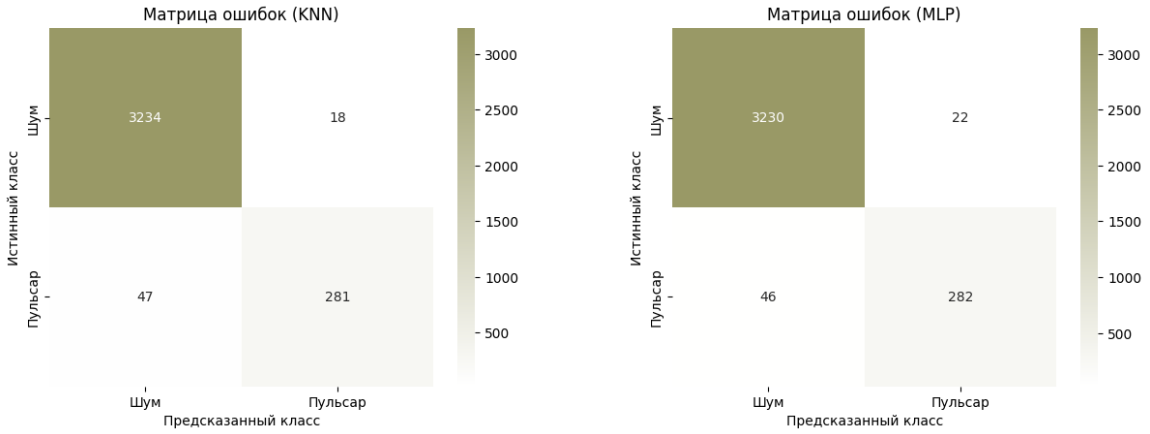
Дальнейшая работа была сосредоточена на настройке параметров моделей. Подбор гиперпараметров позволил улучшить ключевые метрики, в первую очередь F1-меру.

Среди классических алгоритмов машинного обучения метод k-ближайших соседей (KNN) продемонстрировал высокую эффективность, достигнув F1-меры 0.889 и ROC-AUC 0.953. Его ключевое преимущество – способность анализировать локальные закономерности в данных, что особенно важно для обнаружения кластеров пульсаров. Эксперименты с увеличением числа соседей до 10 показали, что метод гибко адаптируется к данным, снижая количество пропущенных сигналов до FN=47.

Попытки улучшить качество моделей за счёт балансировки данных (SMOTE, ADASYN, undersampling) не увенчались успехом. Например, применение ADASYN привело к резкому падению точности и росту ложных срабатываний. Это свидетельствует о том, что исходное распределение данных содержит достаточно информации для надёжной классификации, а искусственное изменение баланса классов нарушает естественные закономерности.

Модель многослойного персептрона (MLP) показала наилучший результат среди протестированных алгоритмов. Она обучена с одним скрытым слоем, содержащим 100 нейронов. Такая конфигурация обеспечила F1-меру 0.893, точность 98.10% и уверенную работу на тестовой выборке. Было допущено всего 46 ложных отрицаний, что подтверждается матрицей ошибок (рис. 3б), а ROC-кривая (рис. 4) демонстрирует близость к идеальному

классификатору. Преимущество MLP заключается в способности выявлять сложные нелинейные зависимости, что делает его особенно эффективным в задачах анализа астрономических сигналов.



(а) (б)

Рис. 3. Матрицы ошибок: (а) KNN, (б) MLP
Fig. 3. Confusion matrices: (a) KNN, (b) MLP

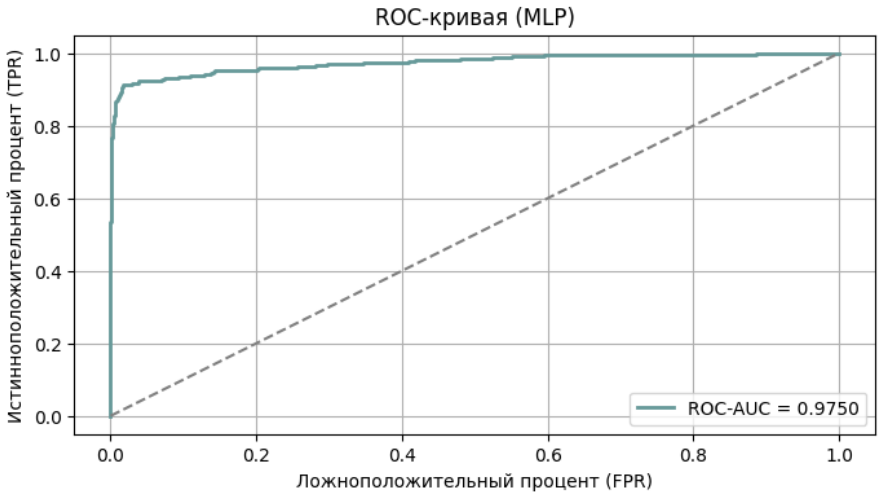


Рис. 4. ROC-кривая (MLP)
Fig. 4. ROC curve (MLP)

Заключение

Таким образом, задача автоматического обнаружения пульсаров успешно решается с применением классических и нейросетевых алгоритмов машинного обучения. Даже сравнительно простые методы, такие как KNN, обеспечивают высокое качество классификации: после настройки гиперпараметров метод достиг F1-меры 0.896 и допустил лишь 47 ложных отрицаний. Это делает его особенно полезным при ограниченных вычислительных ресурсах или когда требуется быстрая интерпретация результатов.

В то же время многослойный персептрон (MLP) показал наилучшие результаты в целом: F1-мера составила 0.893 при высокой общей точности (98.10%) и минимальном числе пропущенных пульсаров (FN=46). Благодаря способности выявлять сложные, нелинейные зависимости в данных, MLP особенно эффективен в задачах, где важна максимальная полнота обнаружения и устойчивость к шуму.

Полученные результаты подтверждают, что различные подходы к классификации имеют свои преимущества: KNN прост в реализации и даёт отличные результаты при грамотной настройке, тогда как MLP требует больше вычислительных ресурсов, но обеспечивает более высокую гибкость и обобщающую способность. При анализе больших массивов данных

радионаблюдений эти различия становятся важными: выбор модели должен соответствовать цели – будь то предварительный отбор кандидатов на пульсары или детальное изучение их характеристик.

Список источников

1. Hewish A. Pulsars // Scientific American. – 1968. – Т. 219. – № 4. – С. 25–35.
2. Lyon R. J., Stappers B. W., Cooper S., Brooke J. M., Knowles J. D. Fifty years of pulsar candidate selection: from simple filters to a new principled real-time classification approach // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2016. – Т. 459. – № 1. – С. 1104–1123.
3. Lorimer D. R., Faulkner A. J., Lyne A. G., Manchester R. N., Kramer M., McLaughlin M. A., Hobbs G., Possenti A., Stairs I. H., Camilo F., Burgay M., D'Amico N., Corongiu A., Crawford F. The Parkes Multibeam Pulsar Survey – VI. Discovery and timing of 142 pulsars and a Galactic population analysis // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2006. – Т. 372. – № 2. – С. 777–800.
4. Abdo A. A., Ackermann M., Ajello M., et al. Detection of 16 Gamma-Ray Pulsars Through Blind Frequency Searches Using the Fermi LAT // Science. – 2009. – Т. 325. – № 5942. – С. 840–844.
5. Kramer M., Stairs I. H., Manchester R. N., et al. Tests of general relativity from timing the double pulsar // Science. – 2006. – Т. 314. – № 5796. – С. 97–102.
6. Cordes J. M., Lazio T. J. W. NE2001.I. A New Model for the Galactic Distribution of Free Electrons and its Fluctuations // The Astrophysical Journal. – 2002. – препринт.
7. Damour T., Esposito-Farèse G. Tensor–scalar gravity and binary-pulsar experiments // Physical Review D. – 1998. – Т. 58. – № 4. – Статья 042001.
8. Ford J. M. Pulsar search using supervised machine learning: диссертация. – Nova Southeastern University, 2017.
9. Eatough R. P., Molkenthin N., Kramer M., Noutsos A., Keith M. J., Stappers B. W., Lyne A. G. Selection of radio pulsar candidates using artificial neural networks // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2010. – Т. 407. – № 4. – С. 2443–2450.
10. Manchester R. N., Lyne A. G., Camilo F., Bell J. F., Kaspi V. M., D'Amico N., McKay N. P. F., Crawford F., Stairs I. H., Possenti A., Kramer M., Sheppard D. C., Morris D. J. The Parkes multi-beam pulsar survey – I. Observing and data analysis systems, discovery and timing of 100 pulsars // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2001. – Т. 328. – № 1. – С. 17–35.
11. Staveley-Smith L., Wilson W. E., Bird T. S., et al. The Parkes 21 cm multibeam receiver // Publications of the Astronomical Society of Australia. – 1996. – Т. 13. – № 3. – С. 243–248.
12. Cameron A. D., Champion D. J., Bailes. M et al. The High Time Resolution Universe Pulsar Survey–XVI. Discovery and timing of 40 pulsars from the southern Galactic plane //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2020. – Т. 493. – №. 1. – С. 1063-1087.
13. Sengar R., Bailes M., Balaktrishnan V., Bernadich M. C., Burgay M., Barr E. D., Flynn C. M. L.,Shannon R., Stevenson S., Wongphechauxsorn J. Discovery of 37 new pulsars through GPU-accelerated reprocessing of archival data of the Parkes multibeam pulsar survey // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2023. – Т. 522. – № 1. – С. 1071–1090.
14. Eatough R. P., Kramer M., Lyne A. G. Improved detection sensitivity for short-period pulsars // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2009. – Т. 395. – № 1. – С. 410–415.
15. Keith M. J., Eatough R. P., Lyne A. G., Kramer M., Possenti A., Camilo F., Manchester R. N. Discovery of 28 pulsars using new techniques for sorting pulsar candidates //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2009. – Т. 395. – №. 2. – С. 837-846.
16. Ransom S. M., Eikenberry S. S., Middleditch J. Fourier techniques for very long astrophysical time-series analysis // The Astronomical Journal. – 2002. – Т. 124. – № 3. – С. 1788–1809.
17. Faulkner A. J., Stairs I. H., Kramer M., et al. The Parkes Multibeam Pulsar Survey: IV. Discovery and timing of 180 pulsars // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2004. – Т. 355. – № 1. – С. 147–158.
18. Eatough R. P., Kramer M., Lyne A. G. Filtering pulsar candidates using dispersion measure variations // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2013. – Т. 431. – № 4. – С. 292–301.

COMPARATIVE ANALYSIS OF MACHINE LEARNING METHODS FOR PULSAR DATECTION IN RADIO ASTRONOMY DATA

I.D. Kharitonov[1]
[1] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] haritonoviwan@yandex.ru

Abstract

Modern radio telescopes generate vast volumes of data containing both astrophysical signals and noise. One of the key challenges in radio astronomy is the detection of new pulsars — highly magnetized rotating neutron stars emitting periodic radio pulses. As the scale of observations increases, traditional manual or semi-automatic analysis methods become insufficient. This creates a growing demand for automated approaches based on machine learning.

This paper explores the applicability of machine learning methods and artificial neural networks for the automatic classification of pulsars using radio observation data. The focus is on evaluating the classification quality of several models, identifying the most effective ones, and analyzing the factors affecting their performance.

A public dataset from the High Time Resolution Universe survey is used for experimentation. The data preprocessing stage includes correlation analysis between features, dimensionality reduction, and normalization. Four classifiers are tested: logistic regression, support vector machines, k-nearest neighbors (KNN), and multilayer perceptron (MLP). After hyperparameter tuning, the best results are achieved using KNN and MLP, with F1-scores of 0.896 and 0.893, respectively. Both models demonstrate high classification accuracy and generalization ability, even under class imbalance. Error analysis reveals that MLP slightly outperforms KNN in reducing false negatives, which is critical in the astrophysical context where missing a real pulsar is highly undesirable.

The findings confirm the efficiency of machine learning algorithms for processing large volumes of radio astronomical data. The proposed approaches are suitable for implementation in automated pulsar search pipelines and can serve as a foundation for more advanced data-driven systems in astronomy.

Keywords

Pulsars, machine learning, classification, radio astronomy, artificial neural networks, k-nearest neighbors, automatic recognition

УДК 551.510.535

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ИОНОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В ПЕРИОД ПОВЫШЕННОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

И.Д. Харитонов[1], **В.О.Скрипачев**[2]
[1–2] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] haritonoviwan@yandex.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Изучение влияния сейсмической активности на ионосферу представляет собой актуальное направление геофизики, связанное с поиском возможных предвестников землетрясений. Несмотря на наличие наблюдательных данных, физические механизмы и характер проявления ионосферных аномалий, предшествующих землетрясениям, до конца не изучены, а надёжные методы их выделения остаются предметом научных дискуссий.

Цель. Выявление ионосферных аномалий, связанных с сильным землетрясением 28 марта 2005 года у побережья Суматры, на основе данных космического аппарата DEMETER, и уточнение методики их статистического анализа.

Результаты. Проведён анализ параметров плазмы, измеренных зондом Ленгмюра (ISL) и анализатором ионов (IAP) космического аппарата DEMETER. Данные были сгруппированы по дням и разделены на дневные и ночные наблюдения. Аномалии определялись по методу межквартильного интервала. Получены отклонения в плотностях электронов, ионов водорода, гелия и кислорода за 6–1 сутки до землетрясения. Уровень геомагнитной активности оставался низким, что подтверждает связь аномалий именно с сейсмическими процессами.

Практическая значимость. Представленные результаты способствуют уточнению критериев ионосферных предвестников землетрясений. Методика может быть использована при анализе спутниковых данных в целях мониторинга сейсмоопасных регионов и развития систем раннего предупреждения.

Ключевые слова

Ионосфера, землетрясение, спутниковые наблюдения, DEMETER, ISL, IAP, ионосферные аномалии, геомагнитный индекс Kp, плазма

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Изучение влияния сейсмической активности на ионосферу является важным направлением современной геофизики и космической погоды. Ионосфера – это область верхней атмосферы Земли, насыщенная свободными электронами и ионами, которая играет ключевую роль в распространении радиоволн. Исследования последних десятилетий показывают, что перед сильными землетрясениями в ней могут наблюдаться аномальные изменения, связанные с литосферно-атмосферно-ионосферным взаимодействием [1]. Анализ этих аномалий может внести вклад в развитие методов предсказания землетрясений.

Связь между землетрясениями и ионосферными возмущениями обсуждается в научной литературе уже более 50 лет [2]. Исследования, выполненные с использованием спутниковых данных, выявили корреляцию между изменением плотности и температуры плазмы в ионосфере и сейсмической активностью [3, 4, 5]. Однако до сих пор не существует универсальной модели, способной точно предсказать такие аномалии, что делает изучение этого вопроса особенно актуальным.

Французский космический аппарат (КА) DEMETER (Detection of Electro-Magnetic Emissions Transmitted from Earthquake Regions), запущенный в 2004 году, был специально предназначен для изучения электромагнитных явлений, связанных с землетрясениями. Он обеспечивал непрерывный мониторинг параметров ионосферы, включая плотность плазмы, электронную температуру и электромагнитные волны.

Цели, задачи и методы

Цель исследования – выявление аномалий в параметрах ионосферы, связанных с сейсмической активностью, на основе совместной обработки данных с двух инструментов КА DEMETER: зонда Ленгмюра (ISL) и анализатора ионов (IAP).

Для достижения этой цели ставятся следующие задачи:

- Изучение механизмов взаимодействия землетрясений с ионосферой;
- Анализ данных КА DEMETER для выявления изменений в электронной плотности и температуре;
- Поиск аномалий, возникающих перед и после землетрясения;

Методология исследования включает статистический анализ параметров ионосферы, определение доверительных границ нормального состояния на основе межквартильного интервала и выявление аномальных значений. Дополнительно проводится анализ геомагнитной активности по индексу *Kp* для учета влияния солнечных возмущений на состояние ионосферы. Таким образом, данная работа направлена на уточнение закономерностей изменений ионосферы в периоды сейсмической активности и их интерпретацию в контексте современных геофизических моделей.

Основные приборы КА

Основная цель миссии DEMETER заключалась в изучении электромагнитных явлений, связанных с сейсмической активностью, и анализе возможных аномалий в ионосфере перед землетрясениями [6].

КА находился на солнечно-синхронной орбите с высотой около 710 км, что обеспечивало регулярные пролёты над одними и теми же регионами в одинаковое время суток. Полный оборот вокруг Земли совершался примерно за 100 минут, что давало возможность многократного мониторинга геофизических параметров в сейсмоактивных зонах.

На борту DEMETER было установлено несколько научных инструментов, предназначенных для изучения характеристик ионосферы:

- ISL (Langmuir Probe) – измерение электронной плотности и температуры;
- IAP (Ion Analyzer) – анализ состава ионной плазмы (O^+, H^+);
- IMSC (Instrument for the Measurement of the Magnetic Field) – измерение магнитных возмущений;
- ICE (Instrument Champ Électrique) – анализ электрического поля;
- IDP (Plasma Density Probe) – дополнительное измерение плотности плазмы.

Среди этих приборов особую значимость для анализа ионосферных аномалий представляет зонд Ленгмюра (ISL).

Описание инструментов ISL и IAP

Зонд Ленгмюра (ISL) является ключевым инструментом DEMETER, предназначенным для измерения параметров плазмы ионосферы. Он работает на основе анализа вольт-амперных характеристик, что позволяет определять электронную плотность (N_e), температуру электронов (T_e) и электрический потенциал плазмы [7].

Зонд Ленгмюра играет важную роль в анализе возможных ионосферных аномалий, предшествующих землетрясениям. Ранее проведённые исследования на основе данных ISL [3, 7] показали, что перед землетрясениями в ионосфере могут наблюдаться локальные изменения плотности электронов, а температура электронов может аномально возрастать или уменьшаться.

Анализатор ионов (IAP) предназначен для измерения состава, плотности, температуры и скорости движения ионов в ионосфере [7]. Он состоит из двух анализаторов:

- APR (Analyseur à Potentiel Retardateur) – анализатор задерживающего потенциала, выполняющий энергетический анализ ионов и позволяющий определять их плотность, температуру и энергию;

- ADV (Analyseur pour Direction de Vitesse) – анализатор направления скорости, измеряющий углы прихода ионов, что позволяет оценить скорость потока.

Датчики IAP и ISL функционировали в двух режимах: обзорном (Survey) и импульсном (Burst). Обзорный режим обеспечивал непрерывный мониторинг ионосферы с базовым временным разрешением. Импульсный режим, активируемый при пролёте над сейсмически активными регионами, позволял регистрировать кратковременные возмущения благодаря повышенному временному разрешению.

Таким образом, совместный анализ данных ISL и IAP позволяет более комплексно исследовать сейсмо-ионосферные связи и выявлять возможные предвестники землетрясений.

Механизмы влияния землетрясений на ионосферу

Наблюдения, проведённые с использованием спутниковых данных, указывают на существование закономерностей в изменении параметров плазмы перед сильными сейсмическими событиями [2, 8, 9]. Выделяют несколько основных механизмов, способных вызвать подобные аномалии.

1. Акусто-гравитационные волны

Движения литосферных плит и выбросы энергии в зоне эпицентра генерируют акустические и гравитационные волны, распространяющиеся вверх по атмосфере. Достигая ионосферы, эти волны вызывают вариации плотности плазмы, что приводит к локальным изменениям электронной концентрации и температуры [1].

2. Электромагнитные эффекты

Перед землетрясениями в литосфере могут возникать электромагнитные возмущения, обусловленные механическим сжатием пород и перераспределением зарядов. Эти эффекты могут приводить к изменению электрического потенциала в приземной атмосфере, что в конечном итоге отражается на параметрах ионосферы. Спутниковые данные фиксируют рост электромагнитной эмиссии в низкочастотном диапазоне перед крупными землетрясениями [10].

3. Изменение химического состава атмосферы

Одним из возможных факторов является выброс радона и других газов, сопровождающий тектоническую активность. Радиоактивный радон вызывает ионизацию воздуха в нижних слоях атмосферы, что изменяет проводимость и влияет на динамику заряженных частиц в ионосфере [1].

Данные и методика анализа

Для анализа ионосферных возмущений выбрано землетрясение, магнитудой 8,6 по шкале Рихтера, произошедшее 28 марта 2005 года в районе острова Суматра, Индонезия. Этот регион входит в зону Тихоокеанского «огненного кольца», где сосредоточено около 90% мировых землетрясений. Всего за год до этого, в декабре 2004 года, здесь же произошло катастрофическое землетрясение магнитудой 9,1, вызвавшее цунами с гибелью свыше 230 000 человек. Повторные мощные толчки 2005 года привели к гибели более 1300 человек, масштабным разрушениям инфраструктуры и новому цунами, затронувшему побережья Индонезии, Таиланда и Шри-Ланки. Высокая сейсмическая активность в сочетании с плотной населённостью региона делает его подходящим объектом для исследования возможных изменений в ионосфере.

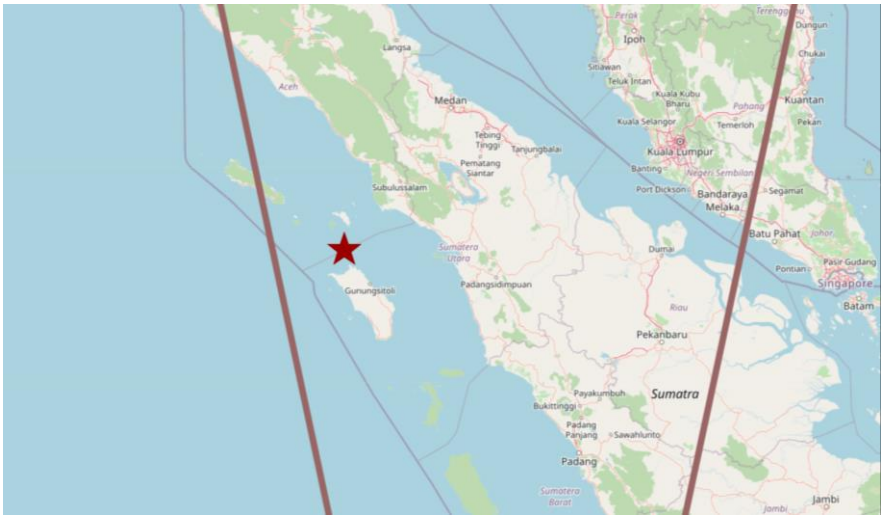


Рис. 1. Географическое расположение эпицентра землетрясения обозначено красной звездой, красные линии показывают траектории пролета КА DEMETER в день землетрясения
Fig. 1. Geographic location of the earthquake epicenter marked with a red star; red lines indicate the trajectories of the DEMETER satellite on the day of the earthquake

Анализ основан на архивных данных КА DEMETER, предоставленных CNES. Для выделения аномалий анализируются данные с 8 марта по 7 апреля 2005 года (20 дней до и 10 дней после землетрясения). Такой временной диапазон позволяет учитывать фоновое состояние ионосферы и выявлять отклонения, которые могут быть связаны с сейсмическим событием. В качестве области анализа рассматривается квадратный регион с границами ±10° по широте и долготе вокруг эпицентра землетрясения (2.07°S, 97.01°E). Такой выбор позволяет охватить потенциальную зону влияния сейсмических процессов на ионосферу. Из всего массива спутниковых измерений отбираются только те данные, которые соответствуют указанному региону, остальные исключаются.

Отобранные данные разделяются на дневные и ночные в зависимости от местного времени. Это важно, поскольку ионосферные параметры значительно различаются в дневное и ночное время, а их совместное рассмотрение могло бы привести к неверной интерпретации результатов. Данные также группируются по пролетам спутника, что позволяет анализировать изменения параметров плазмы во времени относительно положения эпицентра.

Первичный анализ: графики параметров по пролетам

Для каждого пролёта строятся графики временных рядов, включающие график расстояния до эпицентра и графики всех измеряемых параметров ионосферы относительно времени. Эти графики позволяют визуально оценить наличие возможных отклонений в момент пролёта над исследуемым регионом. На рисунке 2 представлен пример такого графика для датчика ISL.

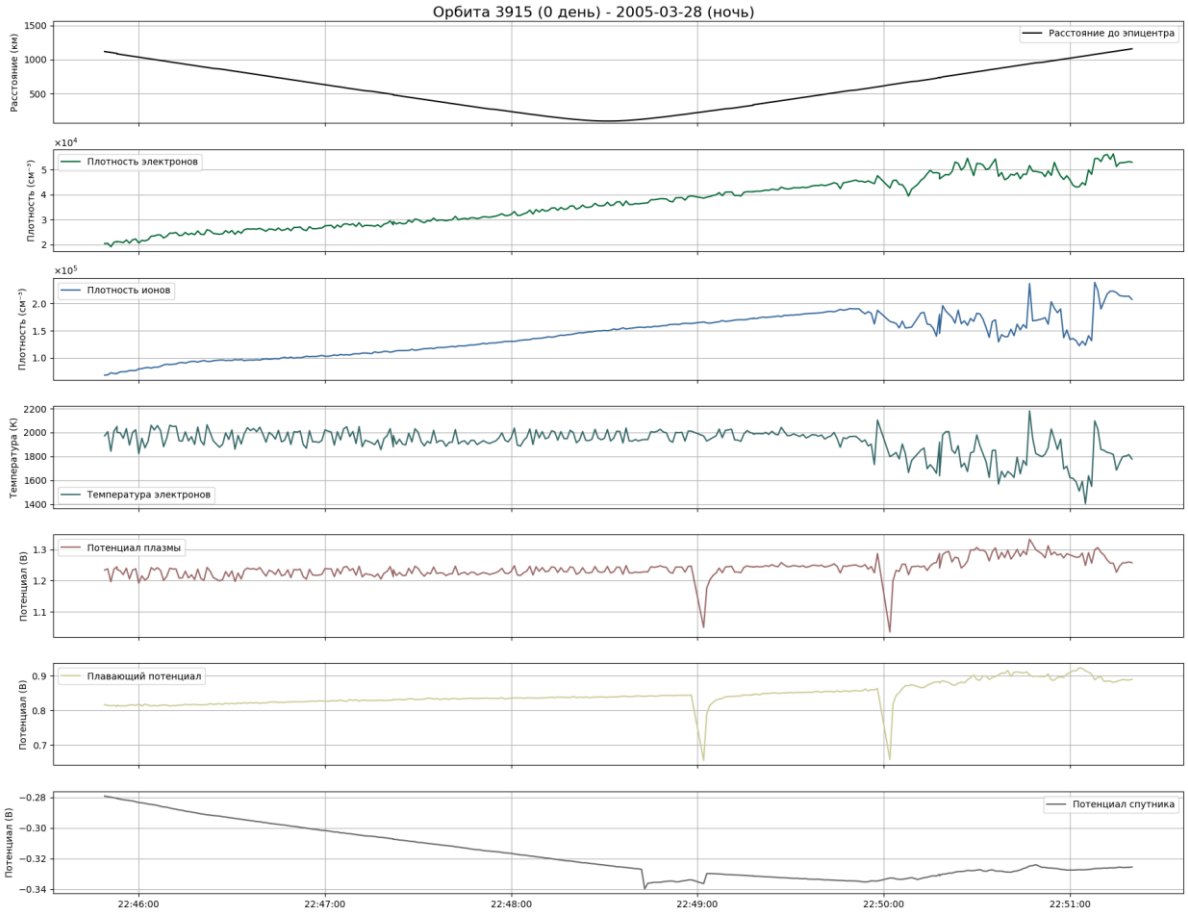


Рис. 2. Временные изменения параметров ионосферы, измеренные ISL, во время ночного пролета спутника в день землетрясения

Fig. 2. Temporal variations of ionospheric parameters measured by the ISL instrument during a nighttime pass of the DEMETER satellite on the day of the earthquake

Аналогично построены графики для датчика IAP (рисунок 3).

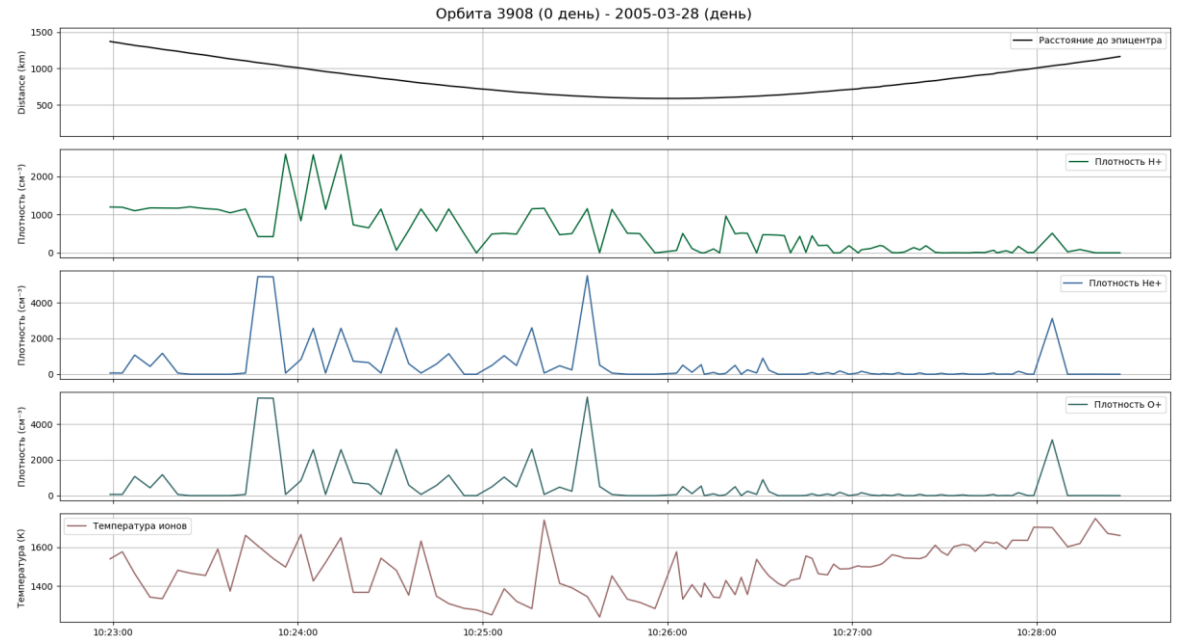


Рис. 3. Временные изменения параметров ионосферы, измеренные IAP, во время дневного пролета спутника в день землетрясения

Fig. 3. Temporal variations of ionospheric parameters measured by the IAP instrument during a daytime pass of the DEMETER satellite on the day of the earthquake

Выявление аномалий

Аномалии в данных выделяются с использованием статистического анализа. В качестве критерия аномальности применяется метод межквартильного интервала, где границы определяются по формуле $M \pm k \cdot IQR$, где M – медианное значение параметра, а IQR – межквартильный интервал. Если измеренные значения выходят за эти границы при $k = 1{,}1...1{,}5$, они рассматриваются как потенциальные аномалии, связанные с землетрясением.

Для выявления долгосрочных трендов построены графики суточных средних значений параметров (рис. 4, 5). Данные представлены раздельно для дневных и ночных измерений. На горизонтальной оси указаны дни относительно землетрясения (0 – день события). Горизонтальные линии обозначают границы диапазона, определенного методом межквартильного интервала, позволяя выделить дни с аномальными значениями.

Анализ данных ISL показывает, что плотность электронов в дневное время демонстрировала небольшие отклонения от верхнего порога за 6 дней до землетрясения, а в ночное время – более выраженные превышения за 8 и 3 дня. Аналогичные тенденции наблюдаются для плотности ионов: незначительные отклонения днем за 6 дней и существенные ночные превышения за 8 и 3 дня. Температура электронов также показывала аномальные значения: в ночное время – заметное превышение за 8 дней.

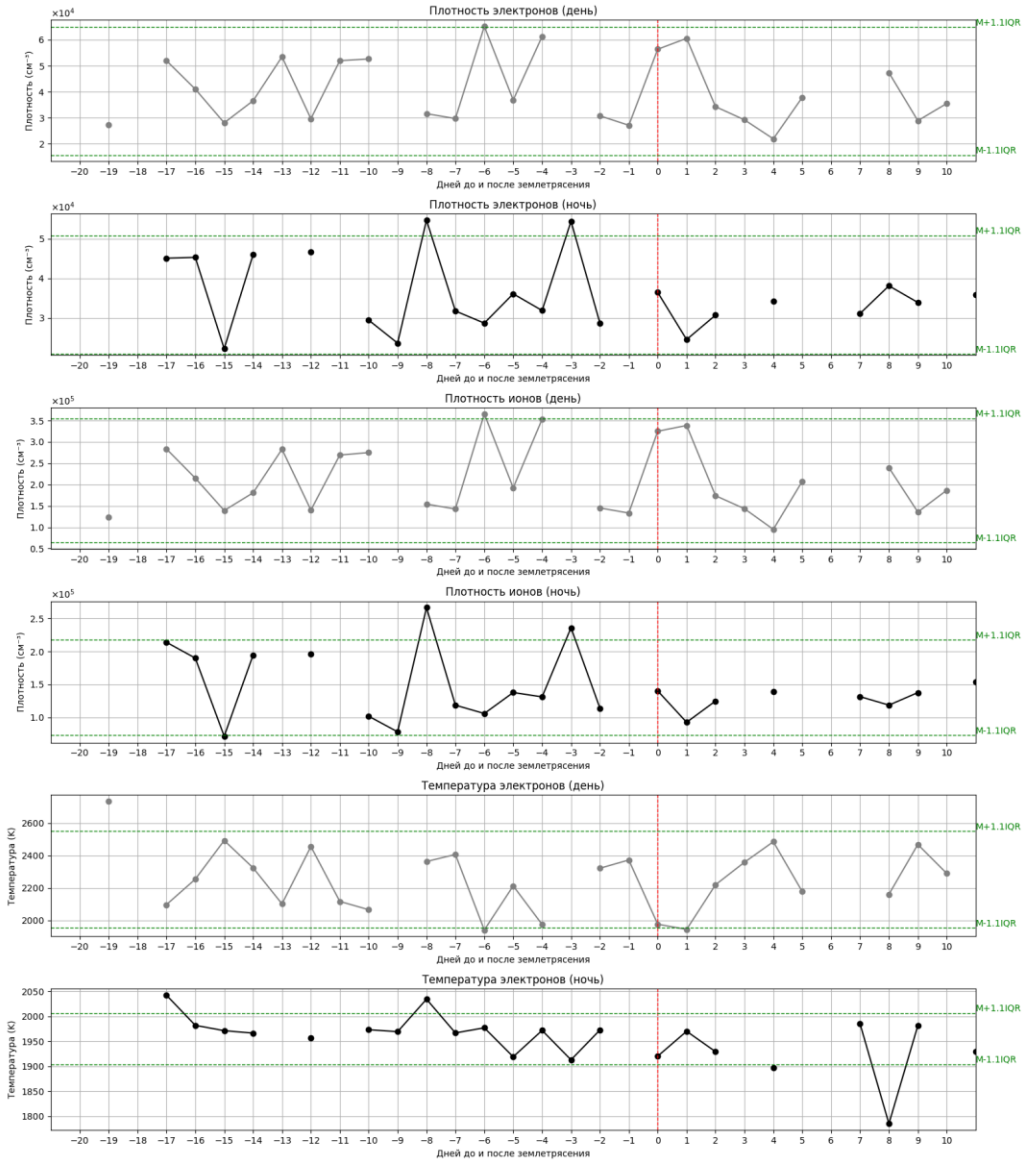


Рис. 4. Изменение плотности электронов и ионов, температуры электронов (данные ISL)
Fig. 4. Daily variations of electron and ion densities and electron temperature (ISL data)

По данным IAP, наибольшие отклонения выявлены в плотностях отдельных ионов. Плотность H^+ превышала порог за 1 день (днем) и за 3 дня до, в день, и 1 день после землетрясения (ночью). Аномалии в плотности He^+ зафиксированы за 6, 4 дня до, и 3 дня после землетрясения (днем) и за 6, 3 и 2 дня (ночью). Существенные изменения плотности O^+ наблюдались за 6, 4 дня до и 3 дня после землетрясения (днем), а также за 6, 3 и 2 дня (ночью).

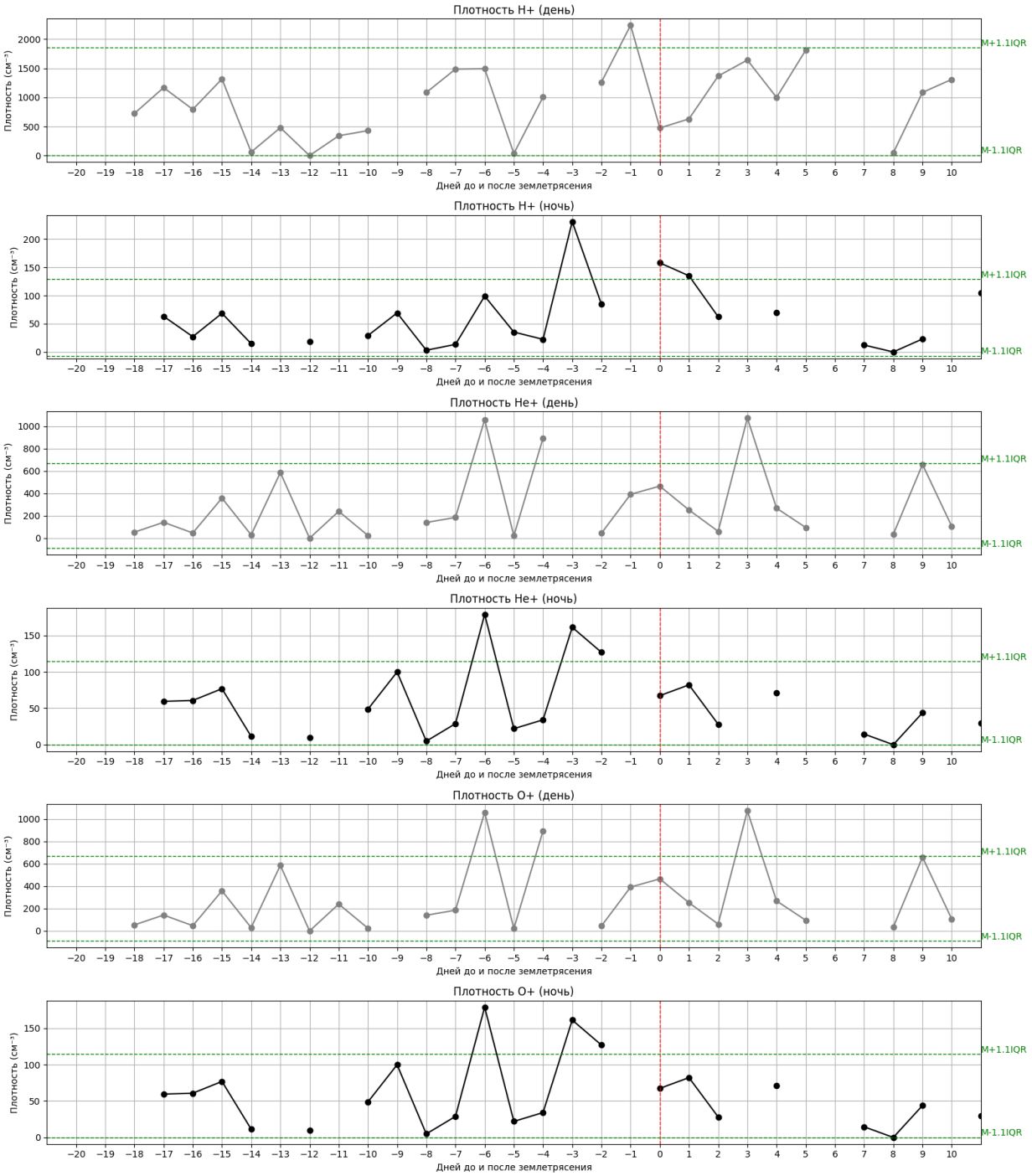


Рис. 5. Изменение плотностей H^+, He^+ и O^+ (данные IAP)
Fig. 5. Daily variations of H^+, He^+, and O^+ ion densities (IAP data)

Для оценки возможного влияния солнечной активности на состояние ионосферы дополнительно проанализированы данные геомагнитного индекса K_p, который характеризует возмущения магнитосферы Земли, вызванные солнечным ветром. Этот индекс, рассчитываемый по данным мировой сети магнитометров, позволяет оценить вклад внешних (космических) факторов в наблюдаемые ионосферные аномалии. На графике (рисунок 6)

показаны его значения за исследуемый период, при этом горизонтальной красной линией обозначен порог, превышение которого свидетельствовало бы о значительных возмущениях в магнитосфере.

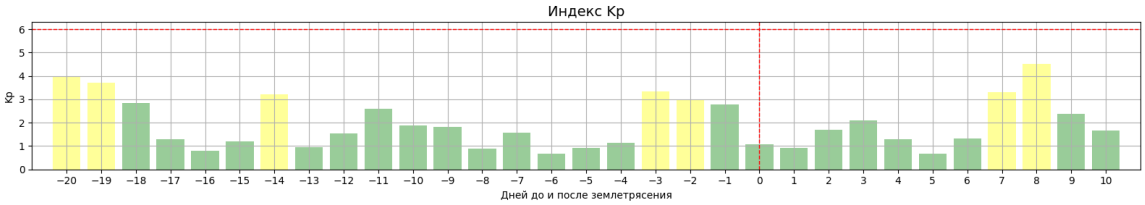


Рис. 6. Изменение индекса геомагнитной активности K_p в исследуемый период

Fig. 6. Variation of the geomagnetic activity index K_p during the study period

Как видно из рисунка, индекс K_p не достигал критических значений, оставаясь на низком уровне. Это позволяет считать, что выявленные аномалии в ионосфере связаны не с внешними космическими факторами, а с процессами, предшествующими землетрясению.

Заключение

Анализ данных ISL и IAP выявил ряд аномалий в поведении параметров ионосферы за несколько дней до землетрясения. В частности, в ночные часы наблюдаются наиболее выраженные отклонения плотностей электронов и ионов от средних значений, превышая верхнюю границу нормального диапазона за 8, 6 и 3 дня до события. Существенные изменения затрагивают и состав ионосферных ионов (H^+, He^+ и O^+), особенно в диапазоне от 6 до 1 дня до землетрясения, что может указывать на возможную связь между тектоническими процессами и ионосферными возмущениями.

Список источников

1. *Pulinets S., Ouzounov D.* Lithosphere–Atmosphere–Ionosphere Coupling (LAIC) model – An unified concept for earthquake precursors validation // Journal of Asian Earth Sciences. – 2011. – Vol. 41, № 4–5. – P. 371–382.
2. *Hayakawa M., Hobara Y.* Current status of seismo-electromagnetics for short-term earthquake prediction // Geomatics, Natural Hazards and Risk. – 2010. – Vol. 1, № 2. – P. 115–155.
3. *Abbasi A.R., Shah M., Ahmed A., Naqvi N.A.* Possible ionospheric anomalies associated with the 2009 Mw 6.4 Taiwan earthquake from DEMETER and GNSS TEC // Acta Geodaetica et Geophysica. – 2021. – Vol. 56. – P. 77–91.
4. *Липеровский В. А., Мейстер К.-В., Липеровская Е. В., Похотелов О. А.* Модели связей в системе литосфера–атмосфера–ионосфера перед землетрясениями // Геомагнетизм и аэрономия. – 2008. – № 4. – С. 54.
5. *Тертышников А. В.* Сейсмоозонные эффекты и проблема прогнозирования землетрясений. – СПб.: ВИКА, 2000. – 112 с.
6. *Berthelier J. J., Godefroy M., Leblanc F., Malingre M., Menvielle M., Lagoutte D., Brochot J. Y., Colin F., Elie F., Legendre C., Zamora P., Benoist D., Chapuis Y., Artru J., Pfaff R.* ICE, the electric field experiment on DEMETER // Planetary and Space Science. – 2006. – Vol. 54, № 5. – P. 456–471.
7. *Lebreton J.-P., Stverak S., Travnicek P., Maksimovic M., Klinge D., Merikallio S., Lagoutte D., Poirier B., Blelly P.-L., Kozacek Z.* The ISL Langmuir probe experiment processing onboard DEMETER: Scientific objectives, description and first results // Planetary and Space Science. – 2006. – Vol. 54, № 5. – P. 472–486.
8. *Parrot M., Berthelier J.-J., Lebreton J.-P., Sauvaud J.-A., Santolík O., Blecki J.* Examples of unusual ionospheric observations made by the DEMETER satellite over seismic regions // Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C. – 2006. – T. 31, № 4–9. – P. 486–495.
9. *Afonin V., Molchanov O.A., Kodama T., Hayakawa M., Akentieva O.A.* Statistical study of ionospheric plasma response to seismic activity: Search for reliable result from satellite observations // Atmospheric and Ionospheric Electromagnetic Phenomena Associated with Earthquakes. 1999. P. 597–618.
10. *Berthelier J. J., Godefroy M., Leblanc F., Seran E., Peschard D., Gilbert P., Artru J.* IAP, the thermal plasma analyzer on DEMETER // Planetary and Space Science. – 2006. – T. 54, № 5. – P. 487–501.

IONOSPHERIC CONDITION ANALYSIS USING SATELLITE DATA DURING ENHANCED SEISMIC ACTIVITY

I.D. Kharitonov[1], **V.O. Skripachev**[2]
[1–2] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] haritonoviwan@yandex.ru

Abstract

This paper investigates the influence of seismic activity on the Earth's ionosphere based on satellite observations. The identification of ionospheric anomalies preceding earthquakes remains an urgent area of geophysical research related to the search for possible precursors of catastrophic events. The aim of this study is to detect statistically significant deviations in ionospheric plasma parameters potentially associated with a strong earthquake that occurred on March 28, 2005, off the coast of Sumatra.

The analysis uses data from two scientific instruments onboard the DEMETER satellite: the Langmuir probe (ISL), which measures electron density and temperature, and the ion analyzer (IAP), which measures the densities of hydrogen, helium, and oxygen ions. The methodology includes spatial filtering of the data within a defined region around the earthquake epicenter, separation into daytime and nighttime observations, daily averaging, and anomaly detection using the interquartile range method. Additionally, geomagnetic activity levels were checked using the Kp index to ensure that observed anomalies were not caused by solar or geomagnetic disturbances.

The results reveal localized anomalies in electron and ion densities several days prior to the seismic event. These findings support the hypothesis that changes in ionospheric parameters may be linked to lithospheric processes during earthquake preparation. The practical significance of the study lies in refining the criteria for identifying ionospheric disturbances, which can potentially be used for early warning of major seismic events.

Keywords

Ionosphere, earthquake, satellite observations, DEMETER, ISL, IAP, ionospheric anomalies, geomagnetic index Kp, plasma

УДК 534.86

ОБНАРУЖЕНИЕ СИГНАЛОВ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МЕТОДОВ

М.В. Цветков[1]
[1] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] maxtsv@rambler.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Применение методов искусственного интеллекта, в частности нейронных сетей, для обнаружения сигналов управления беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) в рамках задач радиоэлектронной разведки и противодействия БПЛА.

Цель. Исследуются (рассматриваются) особенности сигналов БПЛА, такие как использование закрытых протоколов, помехоустойчивого кодирования, адаптивной перестройки параметров в зависимости от качества канала связи.

Определить перспективные направления исследований для оптимизации архитектур нейростетей, расширения обучающих выборок, адаптации к новым протоколам, повышения интерпретируемости, интеграции в комплекс РЭБ и противодействия методам радиоэлектронного подавления.

Результаты. Анализ ограничения радиационных методов обнаружения для обоснования перспективности применения нейросетевого подхода, способного находить скрытые признаки сигналов в условиях помех.

Обобщённая методология применения нейросетей включающая сбор и разметку данных, предобработку, извлечение признаков, обучение классификаторов и постобработку результатов.

Исследуются примеры успешного применения различных архитектурных нейронных сетей (свёрточных, рекуррентных, ансамблевых) для обнаружения сигналов БПЛА при низком отношении сигнал/шум.

Практическая значимость. Полученные результаты позволяют оценить принципы работы сверхточных сетей со спектрограммами сигналов, позволяющие детектировать характерные частотно-временные паттерны сигналов БПЛА и обозначить направление дальнейших исследований, которые позволят создать высокоэффективные адаптивные интеллектуальные системы радиомониторинга и противодействия БПЛА нового поколения, обеспечивающих превосходство над технологиями противника.

Ключевые слова

БПЛА, радиоэлектронная разведка, нейронные сети, глубокое обучение, обнаружение сигналов.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Обнаружение сигналов управления беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) с помощью методов искусственного интеллекта, в частности нейронных сетей, является актуальной и перспективной задачей в области радиоэлектронной разведки и противодействия БПЛА [2]. Рассмотрим эту тему подробнее.

Особенности сигналов управления БПЛА:

- Как правило, используются закрытые протоколы и методы расширения спектра (FHSS, DSSS) для повышения помехоустойчивости и скрытности
- Рабочие частоты лежат в разрешенных для гражданского применения диапазонах (433 МГц, 868 МГц, 2.4 ГГц, 5.8 ГГц)
- Мощность передатчиков относительно невелика (до 1-2 Вт), дальность связи ограничена прямой видимостью
- Ширина полосы сигналов от единиц до десятков МГц
- Часто применяется адаптивная перестройка скорости и вида модуляции (OFDM, QAM) в зависимости от качества канала связи

Традиционные методы обнаружения таких сигналов, как энергетическое или согласованная фильтрация, малоэффективны в условиях низкого отношения сигнал/шум, априорной неопределенности по форме сигнала и его параметрам [3]. Более перспективным представляется использование методов машинного обучения, способных находить скрытые закономерности и характерные признаки сигналов в условиях помех и изменчивости [6].

Ключевые этапы обнаружения с помощью нейросетей:

1. Сбор и разметка обучающей выборки, содержащей примеры реальных сигналов БПЛА и фоновых шумов/помех. Очень важно обеспечить представительность выборки, покрывающей разнообразие сигналов и шумовых условий [1].

2. Предобработка сигнала: цифровое преобразование в низкую частоту, фильтрация, нормировка и т.п. для унификации представления и повышения различимости классов сигнал/шум [9].

3. Извлечение информативных признаков из сигнала - спектральных, временных, частотно-временных и т.п. Оптимальный набор признаков подбирается экспериментально с учетом специфики сигналов [10].

4. Обучение классификатора на выбранном наборе признаков. В качестве моделей применяются свёрточные и рекуррентные нейронные сети, случайные леса, градиентный бустинг и др. Важно контролировать обобщающую способность, избегать переобучения.

5. Собственно обнаружение по текущим отсчетам сигнала [5]. Обученный классификатор анализирует признаки сигнала в скользящем окне и выдает решение о наличии/отсутствии сигнала БПЛА [7]. Пороги чувствительности подбираются по критерию минимума ошибок.

Преимущества нейросетевого подхода [4]:

- Способность обнаруживать сигналы даже при низком отношении сигнал/шум (до -10..-20 дБ)
- Адаптивность к различным видам сигналов и протоколов за счет обучения
- Возможность детектировать сам факт передачи, конкретный протокол, тип БПЛА
- Относительная простота реализации при наличии хорошей обучающей выборки
- Примеры реализации нейросетей для обнаружения БПЛА:
- Работа Военно-воздушной академии им. Жуковского (2019): свёрточные сети для классификации 9 типов сигналов БПЛА, точность 95-98% при SNR от -8 дБ
- Исследование Юго-западного государственного университета (2020): обнаружение сигналов квадрокоптеров на фоне шумов городской застройки, рекуррентная сеть LSTM, вероятность ложных тревог менее 0.2% при вероятности правильного обнаружения 90%
- Эксперимент концерна "Алмаз-Антей" (2021): обнаружение и классификация 5 протоколов связи БПЛА на расстоянии до 500 м с помощью ансамбля нейронных сетей и алгоритма голосования, точность свыше 93%
- Конкурс Минобороны РФ (2022): соревнование алгоритмов по обнаружению управляющих сигналов БПЛА в записях, полученных комплексом радиоэлектронной борьбы "Силок-01". Лучшие решения на основе глубоких свёрточных и остаточных сетей показали F-меру до 0.85 при SNR -15 дБ.

Также ведутся работы по адаптации предобученных нейросетей к новым протоколам БПЛА с использованием техник переноса обучения (transfer learning) и дообучения на небольших выборках (few-shot learning) [8]. Это позволит быстро настраивать системы обнаружения под новые угрозы.

Рассмотрим в качестве примера применение нейросети для обнаружения сигналов БПЛА на основе признаков, извлеченных из частотно-временного представления сигнала - спектрограммы.

Формула для вычисления оконного преобразования Фурье (Short-Time Fourier Transform) для получения спектрограммы:

$$X[m,k] = \sum x[n] \cdot w[n-m] \cdot exp(-\frac{j2\pi k_n}{N}), \quad (1)$$

где x[n] - отсчеты входного сигнала w[n] - оконная функция (например, окно Хэмминга) m - индекс временного окна k - индекс частотной компоненты N - размер окна (количество отсчетов)

Применение нейросети к полученной спектрограмме может выглядеть следующим образом:

1. Входной сигнал разбивается на перекрывающиеся фрагменты длительностью 100 мс с шагом 10 мс.

2. Для каждого фрагмента вычисляется спектрограмма с помощью оконного преобразования Фурье с окном Хэмминга размером 256 отсчетов и перекрытием 50%.

3. Полученные спектрограммы нормализуются по амплитуде и передаются на вход свёрточной нейронной сети следующей архитектуры:

- Вход: изображение спектрограммы размером 64x64
- Слой свёртки 1: 16 фильтров 3x3, функция активации ReLU
- Слой подвыборки 1: MaxPooling 2x2
- Слой свёртки 2: 32 фильтра 3x3, функция активации ReLU
- Слой подвыборки 2: MaxPooling 2x2
- Полносвязный слой 1: 256 нейронов, функция активации ReLU
- Полносвязный слой 2: 2 нейрона, функция активации Softmax

4. Выход сети интерпретируется как вероятности принадлежности текущего фрагмента сигнала к классам "Шум" (выход 1) и "Сигнал БПЛА" (выход 2).

5. К последовательности выходов сети применяется пороговая обработка: если вероятность класса "Сигнал БПЛА" превышает 0.8 на протяжении не менее 5 последовательных окон (50 мс), то фиксируется обнаружение сигнала БПЛА.

Пример работы такого алгоритма:

- На вход поступает сигнал длительностью 10 с, содержащий сигнал управления квадрокоптером DJI Phantom 4 на частоте 2.4 ГГц с отношением сигнал/шум -5 дБ.
- Алгоритм разбивает сигнал на 991 фрагмент по 100 мс и вычисляет для каждого спектрограмму.
- Обученная нейросеть классифицирует каждый фрагмент, выдавая вероятности классов "Шум" и "Сигнал".
- Анализ последовательности ответов сети показывает, что в интервале времени 3.12-3.74 с вероятность класса "Сигнал" устойчиво превышает порог 0.8.
- Принимается решение об обнаружении сигнала управления БПЛА DJI Phantom 4 в интервале 3.12-3.74 с.

Такой подход позволяет детектировать даже короткие посылки сигналов БПЛА в сложной помеховой обстановке, используя характерные частотно-временные признаки, извлекаемые из спектрограммы с помощью свёрточной нейронной сети.

Перспективные направления исследований по применению нейросетей для обнаружения сигналов БПЛА:

1. Оптимизация архитектур нейронных сетей. Несмотря на успешные примеры использования типовых архитектур, таких как свёрточные и рекуррентные сети, остается открытым вопрос о наилучшей структуре сети для данной задачи. Требуется исследовать влияние размера и количества слоев, типов активационных функций, методов регуляризации и других гиперпараметров на обобщающую способность и устойчивость сети к вариациям сигналов. Также перспективным представляется использование автоматического поиска архитектур (Neural Architecture Search), способного найти оптимальную конфигурацию сети для конкретных условий.

2. Формирование обучающих выборок. Качество работы любой нейронной сети напрямую зависит от объема и представительности данных, на которых она обучается. В случае обнаружения сигналов БПЛА основным препятствием является сложность получения реальных записей сигналов, особенно для новейших и перспективных моделей БПЛА. Запись таких сигналов в контролируемых условиях требует наличия соответствующих образцов БПЛА и дорогостоящего измерительного оборудования. В связи с этим актуальной задачей

является разработка методов генерации синтетических обучающих выборок на основе цифровых моделей сигналов и математических моделей распространения радиоволн. Комбинирование реальных и синтетических данных позволит существенно расширить покрытие возможных ситуаций и повысить обобщающую способность сетей.

3. Адаптация к новым протоколам и типам БПЛА. Разнообразие гражданских и военных моделей БПЛА продолжает увеличиваться, при этом производители часто используют собственные закрытые протоколы связи и способы кодирования информации. Даже в рамках одного семейства БПЛА могут применяться различные настройки физического и канального уровня в зависимости от дальности и условий применения. В таких условиях жестко натренированная на фиксированный набор протоколов нейросеть будет неспособна обнаруживать сигналы новых БПЛА. Решением может стать разработка техник переноса обучения (transfer learning) и дообучения (fine-tuning) предобученных сетей на ограниченных наборах данных по новым протоколам. Идея заключается в использовании весов сети, обученной на большом объеме данных по известным протоколам в качестве начальной точки и их дальнейшей адаптации путем дообучения на небольшом наборе примеров целевого протокола. Это позволит быстро адаптировать уже развернутые системы к новым угрозам, экономя время и ресурсы на сбор больших объемов данных и обучение с нуля.

4. Повышение интерпретируемости результатов работы нейросети. Типовые архитектуры нейросетей являются "черными ящиками" - они выдают решение о наличии или отсутствии сигнала, но не объясняют, на основании каких признаков это решение принято. Такое поведение затрудняет анализ ошибок, выявление возможных уязвимостей и атак на алгоритмы. Повышение интерпретируемости нейросетей для обнаружения БПЛА может включать визуализацию признаков, извлекаемых сетью из сигнала (например, с помощью техник Activation Maximization или Layer-wise Relevance Propagation), анализ влияния отдельных компонент сигнала на итоговое решение (метод Sensitivity Analysis). Совместное использование таких методов с экспертными знаниями о структуре сигналов БПЛА позволит лучше понять принципы работы обученных нейросетей и повысить доверие к их решениям.

5. Интеграция нейросетевых алгоритмов в комплексы РЭБ. Обученные нейронные сети представляют собой математические модели, требующие программной реализации на вычислителях общего назначения или специализированных нейропроцессорах. Для эффективного применения нейросетей в обнаружении БПЛА требуется разработка методов их интеграции в существующие и перспективные комплексы радиоэлектронной борьбы. Это предполагает решение задач по согласованию интерфейсов между нейросетевыми модулями и другими функциональными компонентами комплексов РЭБ, таких как широкополосные приемники, системы пеленгации, постановщики помех. Примером такой интеграции может служить комплекс "Силок-01", в котором нейросетевой классификатор сигналов БПЛА работает совместно с модулем радиотехнической разведки, передавая ему информацию об обнаруженных сигналах для определения местоположения БПЛА. Также важной задачей является оптимизация программной и аппаратной реализации нейросетей для работы в реальном времени в условиях ограниченных вычислительных ресурсов переносных и мобильных комплексов РЭБ.

6. Противодействие методам радиоэлектронного подавления. Расширение применения нейросетевых технологий для обнаружения БПЛА неизбежно приведет к развитию методов противодействия им со стороны противника. Такие методы могут включать использование помех, имитирующих сигналы БПЛА для маскировки реальных целей, а также применение алгоритмов генерации адверсариальных примеров - специально сформированных сигналов, вызывающих ошибки классификации у обученных нейросетей. Актуальной задачей является разработка методов повышения устойчивости нейросетевых алгоритмов к подобным воздействиям, таких как обучение на смеси чистых и зашумленных примеров (метод аугментации данных), использование нейросетей специальной архитектуры (автоэнкодеры,

вариационные автоэнкодеры), применение техник адверсариального обучения. Конечной целью должно стать обеспечение надежной работы нейросетевых систем обнаружения в условиях активного радиоэлектронного противодействия.

Таким образом, область применения методов глубокого обучения для обнаружения сигналов БПЛА представляет собой активно развивающееся направление на стыке радиоэлектроники, цифровой обработки сигналов и искусственного интеллекта. Уже достигнутые результаты демонстрируют превосходство нейросетевого подхода над традиционными методами в условиях сложной помеховой обстановки и при наличии большого разнообразия сигналов. Дальнейшие исследования в обозначенных направлениях позволят создать высокоэффективные и адаптивные интеллектуальные системы радиомониторинга и противодействия БПЛА нового поколения, обеспечивающие превосходство над технологиями противника.

Список источников

1. *Ahmed A, Quoitin B, Gros A, Moeyaert V. A* Comprehensive Survey on Deep Learning-Based LoRa Radio Frequency Fingerprinting Identification. Sensors (Basel). 2024 Jul 8;24(13):4411. doi: 10.3390/s24134411. PMID: 39001190; PMCID: PMC11244599.
2. *Jagannath A., Jagannath J., Kumar P.S.P.V.* A comprehensive survey on radio frequency (RF) fingerprinting: Traditional approaches, deep learning, and open challenges. Comput. Netw. 2022; 219:109455. doi: 10.1016/j.comnet.2022.109455
3. *Jouhari M., Saeed N., Alouini M.S., Amhoud E.M. A* Survey on Scalable LoRaWAN for Massive IoT: Recent Advances, Potentials, and Challenges. IEEE Commun. Surv. Tutor. 2023; 25:1841–1876. doi: 10.1109/COMST.2023.3274934
4. *Khalifeh A., Aldahdouh K.A., Darabkh K.A.,* Al-Sit W. A Survey of 5G Emerging Wireless Technologies Featuring LoRaWAN, Sigfox, NB-IoT and LTE-M; Proceedings of the 2019 International Conference on Wireless Communications Signal Processing and Networking (WiSPNET); Chennai, India. 21–23 March 2019; pp. 561–566
5. *Krejčí R., Hujňák O., Švepeš M.* Security survey of the IoT wireless protocols; Proceedings of the 2017 25th Telecommunication Forum (TELFOR); Belgrade, Serbia. 21–22 November 2017; pp. 1–4.
6. *Padiya S.D., Gulhane V.S.* IoT and BLE Beacons: Demand, Challenges, Requirements, and Research Opportunities- Planning-Strategy; Proceedings of the 2020 IEEE 9th International Conference on Communication Systems and Network Technologies (CSNT); Gwalior, India. 10–12 April 2020; pp. 125–129
7. *Sung W.J., Ahn H.G., Kim J.B., Choi S.G.* Protecting end-device from replay attack on LoRaWAN; Proceedings of the 2018 20th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT); Chuncheon, Republic of Korea. 11–14 February 2018; pp. 167–171
8. *Xie L., Peng L., Zhang J., Hu A.* Radio frequency fingerprint identification for Internet of Things: A survey. Secur. Saf. 2024; 3:2023022. doi: 10.1051/sands/2023022
9. *Zhiguo Shi, Xianyu Chang, Chaoquu Yang, Zexian Wu, Junfeng Wu.* An Acoustic-Based Surveillance System for Amateur Drones Detection and Localization // IEEE Transactions on Vehicular Technology. January 2020. 10 p. DOI: 10.1109/TVT.2020.2964110.
10. *Yousaf J., Zia H., Alhalabi M., Yaghi M., Basmaji T., Shehhi E.A., Gad A., Alkhedher M., Ghazal M.* Drone and Controller Detection and Localization: Trends and Challenges // Appl. Sci. 2022,12, 12612

DETECTION OF CONTROL SIGNALS FOR UNMANNED AERIAL VEHICLES BASED ON NEURAL NETWORK METHODS

M.V. Cvetkov[1]
[1] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] maxtsv@rambler.ru

Abstract

Problem statement. The use of artificial intelligence methods, in particular neural networks, to detect control signals from unmanned aerial vehicles (UAVs) in the framework of electronic intelligence and counter-UAV tasks.

Goal. The features of UAV signals, such as the use of closed protocols, noise-resistant coding, and adaptive parameter tuning depending on the quality of the communication channel, are being investigated (considered).

To identify promising research areas for optimizing neural network architectures, expanding training samples, adapting to new protocols, increasing interpretability, integrating into the electronic warfare complex, and countering electronic warfare methods.

Results. The limitations of radiation detection methods are analyzed to substantiate the prospects of using a neural network approach capable of finding hidden signs of signals in interference conditions.

A generalized methodology for using neural networks, including data collection and markup, preprocessing, feature extraction, classifier training, and postprocessing of results.

Examples of successful applications of various architectural neural networks (convolutional, recurrent, and ensemble) for detecting UAV signals with a low signal-to-noise ratio are studied.

Practical significance. The results obtained make it possible to evaluate the principles of operation of ultra-precise networks with signal spectrograms, which make it possible to detect characteristic time-frequency patterns of UAV signals and identify the direction of further research that will create highly effective adaptive intelligent systems for radio monitoring and countering new-generation UAVs that ensure superiority over enemy technologies.

Keywords

UAVS, electronic intelligence, neural networks, deep learning, signal detection.

УДК 621.385.6

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ЯЧЕЙКИ ПИТАНИЯ В САПР SOLIDWORKS

И.В. Чечель[1], **Г.П. Раевский**[2], **А.А. Заволокин**[3]
[1–3] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] chechel.i.v@mail.ru, [2] geraevskiy@yandex.ru, [3] zavolokin_2011@mail.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Изменение принципиальной электрической схемы ячейки питания, связанную с переходом на новую элементную базу, и увеличение её выходной мощности привело к недопустимому росту тепловыделения. Поскольку существующая система охлаждения не обеспечивала нужный температурный режим, возникла необходимость в изменении конструкции системы охлаждения.

Цель. Совершенствование системы охлаждения ячейки питания путем подбора оптимальной конструкции радиатора по результатам проводимых в работе исследований температурного режима в САПР SOLIDWORKS.

Результаты. По результатам исследований подобрана форма конструкции радиатора в системе охлаждения ячейки питания.

Практическая значимость. Полученные результаты позволили обеспечить требуемый температурный режим самой ячейки питания и соседней с ней

Ключевые слова

Тепловой режим, воздушный поток, радиатор, SolidWorks, система охлаждения.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Цель работы заключается в модернизации системы охлаждения ячейки питания (ЯП) блока обработки сигналов (БОС) приемного тракта многофункционального радиолокатора [1]. Переход на новую элементную базу привел к увеличению выходной мощности, что, в свою очередь, вызвало рост тепловыделения ячейки. Поскольку существующая система охлаждения не обеспечивала необходимый температурный режим, возникла необходимость в ее модернизации. В ходе исследований, проведенных с использованием САПР SolidWorks Flow Simulation, были получены данные о распределении температуры на элементах ячейки и воздушных потоках системы охлаждения блока. На основе этих результатов были внесены изменения в конструкцию радиатора, что позволило достичь требуемого температурного режима ЯП.

Описание и принцип работы

ЯП преобразует бортовое напряжение 220 В с частотой 400 Гц и силой тока 2 А в стабилизированное низковольтное постоянное напряжение ±5 В с силой тока 12 А для питания функциональных ячеек блока. Ячейка включает две микросхемы преобразователя напряжения, фильтр и устройства разделения цепей на трех оптоэлектронных реле. Также в схеме предусмотрены элементы для ограничения тока, снижения уровня наводок, индикации и защиты от понижения напряжения. Общая рассеиваемая мощность ЯП составляет 52,8 Вт.

При сохранении принципа работы ячейки переход на новую элементную базу отечественного производства позволил увеличить мощность с 60 Вт до 100 Вт, а выходной ток — с 12 А до 20 А. Отказались от оптопары для синхронизации благодаря введению развязывающего трансформатора в состав преобразователей. Эта микросхема была чувствительна к статическому электричеству, что часто приводило к выходу ЯП из строя.

В результате проведенных изменений удалось упростить схему и одновременно увеличить выходную мощность. Общая рассеиваемая мощность ЯП увеличилась до 78,3 Вт. Однако увеличение выходной мощности также привело к росту общего тепловыделения ячейки.

Конструкция ЯП разрабатывалась с учетом неизменности габаритов блока и ячейки, выполненных в формате «Евромеханика» 19 типоразмера 6U как базовой несущей конструкции

кассетного типа [2, 3]. Радиатор ячейки изготовлен из алюминиевой плиты АМг6 согласно ГОСТ 17232-79.

Исследования температурного режима

Температурный режим ЯП в составе БОС исследовался путем моделирования тепловых процессов с использованием программы SolidWorks Flow Simulation, по методикам, описанным в [4, 5, 6]. Для этого была создана трехмерная модель блока, представленная на рисунке 1, с установленными ячейками: ЯП-1 (вторая слева) и ЯП-2 (первая справа).

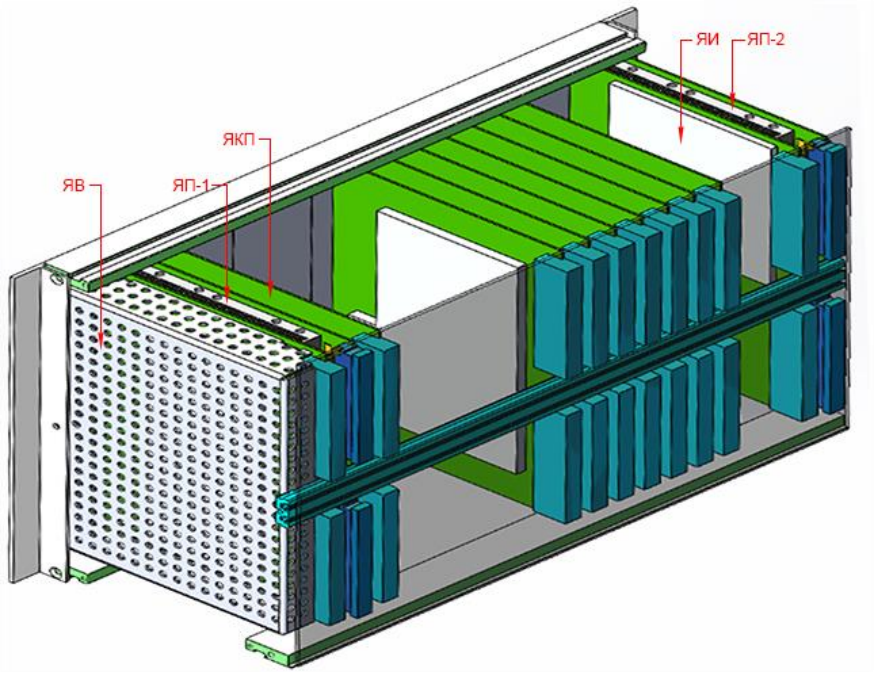


Рис. 1. Трехмерная модель блока обработки сигналов
Fig. 1. 3D model of the signal processing unit

ЯП-2 расположена рядом с ячейкой индикации (ЯИ), которая не выделяет тепло и никак не влияет на нее. ЯП-1 установлена между ячейкой выпрямителя (ЯВ) и контроллером питания (ЯКП), которые сильно нагреваются, поэтому основное внимание уделялось состоянию ЯП-1 из-за более жестких температурных условий. Согласно требованиям ТЗ, блок должен работать в диапазоне температур от -50ºС до +50ºС. Он установлен в шкафу-стойке с общей системой вентиляции, обеспечивающей сквозную продувку со скоростью 3 м/с. При задании условий моделирования в качестве температуры окружающей среды была задана предельно допустимая температура +50°С.

Результаты моделирования температур на поверхности элементов ячейки представлены на рисунке 2. Результаты моделирования температур воздушного потока представлены на рисунке 3.

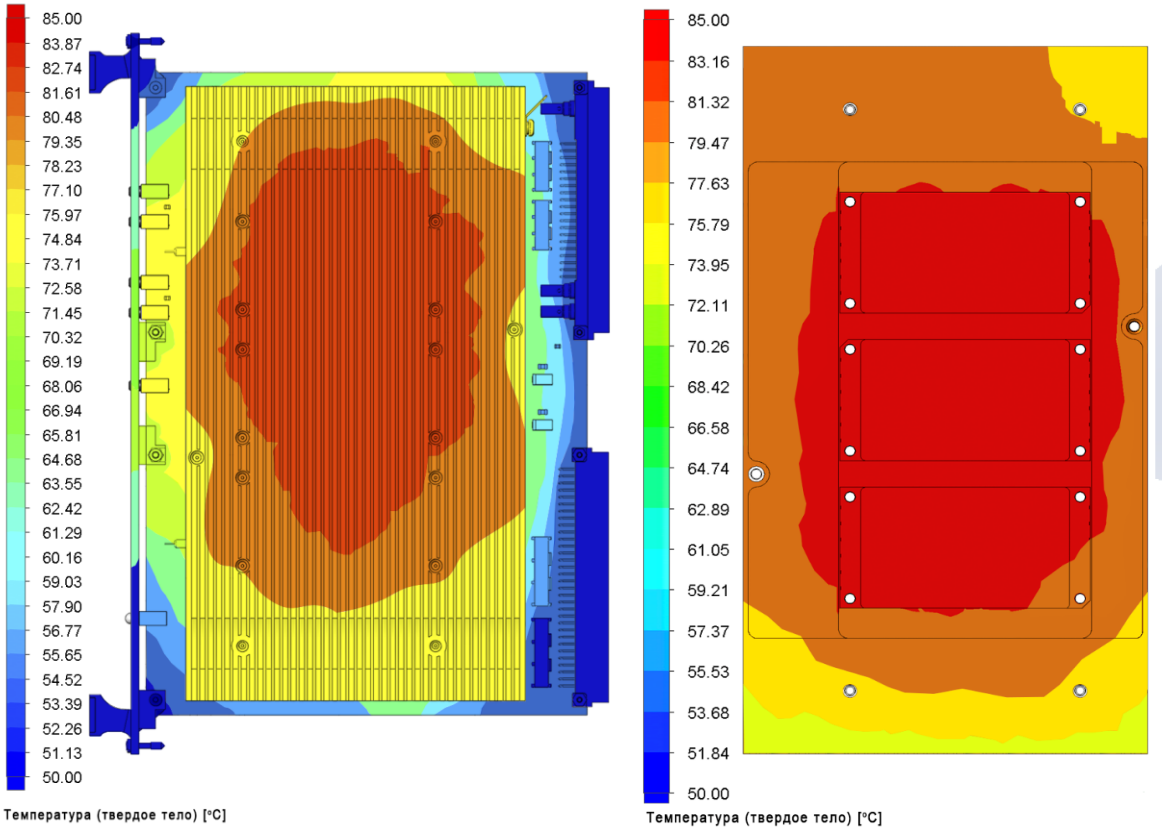


Рис. 2. Диаграмма температур на поверхности ячейки с исходным радиатором
Fig. 2. Temperature diagram on the cell surface with the original radiator

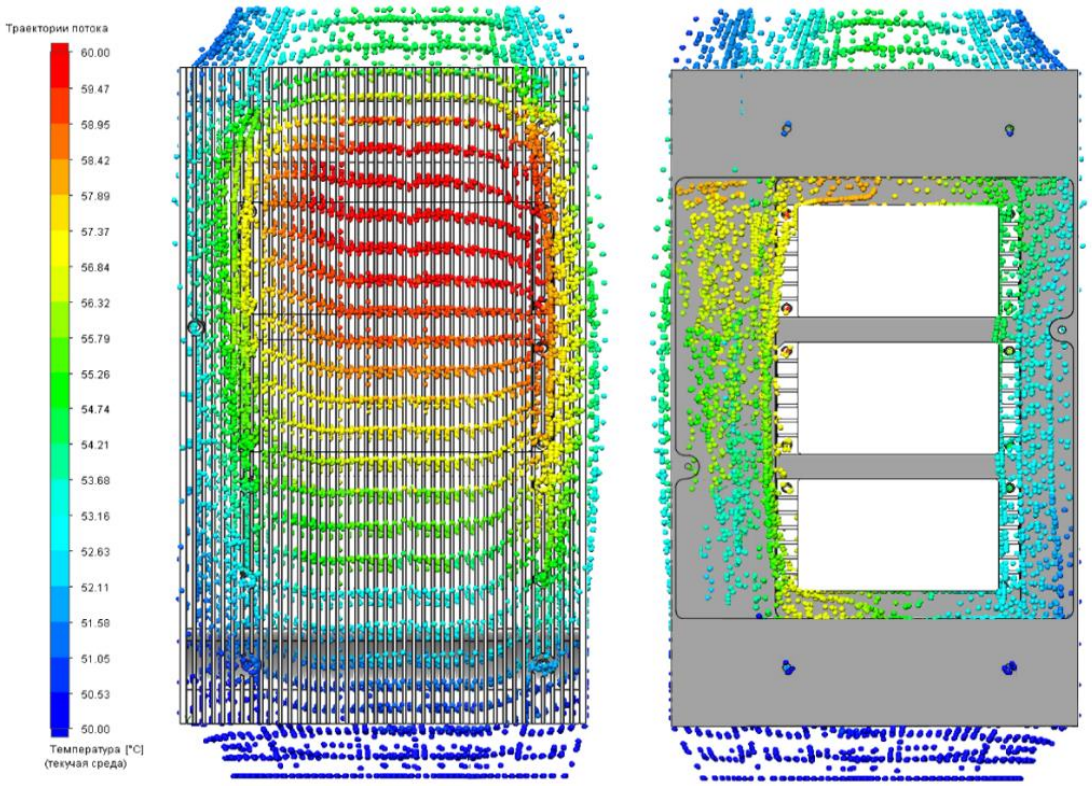


Рис. 3. Диаграмма температур воздушного потока на ячейке с исходным радиатором
Fig. 3. Air flow temperature diagram on the cell with the original radiator

Согласно результатам теплового моделирования, максимальная температура на элементах ЯП-1 составила 83°C, что недопустимо близко к предельно допустимой рабочей температуре

конденсаторов К10-69в и К10-79, равной +85°С [7, 8]. Существующая система охлаждения не обеспечивала необходимый температурный режим.

Для решения проблемы были внесены изменения в конструкцию исходного радиатора, показанного на рисунке 4. Основываясь на [9, 10], цельная часть радиатора с 5 отверстиями воздушных каналов была заменена на ламели толщиной 1 мм и шагом 2 мм (рис. 5), для увеличения обдува внутренней полости. Также изменена топология печатной платы: все элементы кроме преобразователей и фильтра были вынесены из-под радиатора. Радиатор после модернизации изображен на рисунке 5.

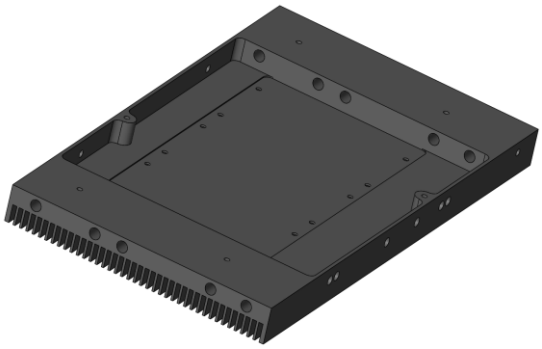


Рис. 4. Исходная конструкция радиатора
Fig. 4. Original design of the radiator

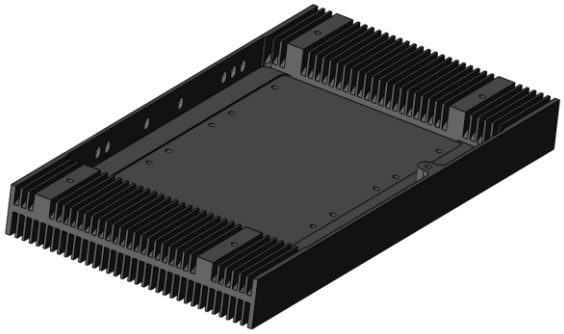


Рис. 5. Модернизированный радиатор
Fig. 5. Upgraded radiator

Результаты моделирования температурного режима на поверхности элементов ЯП с модернизированным радиатором представлены на рисунке 6. На рисунке 7 приведены результаты моделирования температурного распределения воздушного потока.

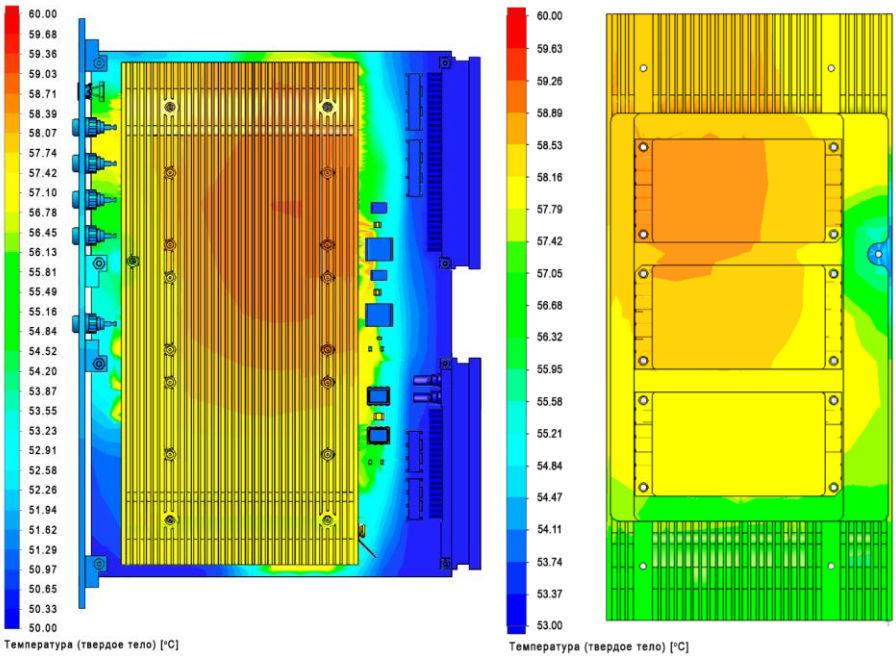


Рис. 6. Диаграмма температур на поверхности ячейки с модернизированным радиатором
Fig. 6. Temperature diagram on the cell surface with the upgraded radiator

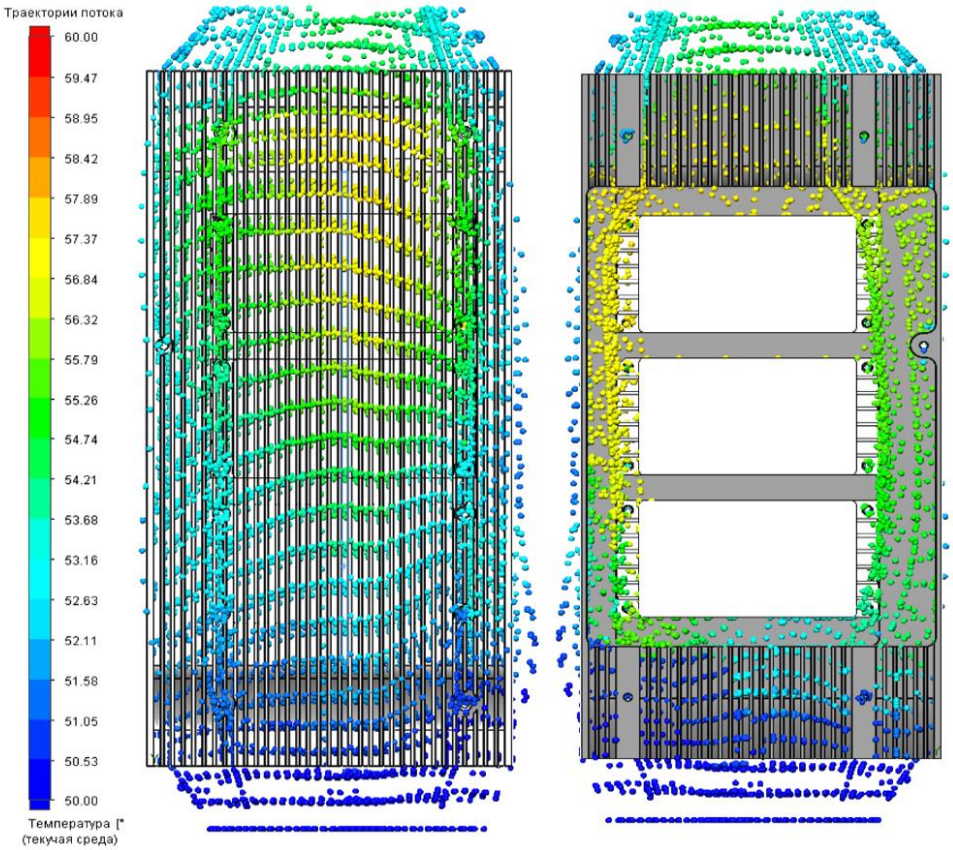


Рис. 7. Диаграмма температур воздушного потока на ячейке с модернизированным радиатором
Fig. 7. Air flow temperature diagram on the cell with the upgraded radiator

Результаты моделирования показали, что максимальная температура на корпусах элементов модернизированной ЯП не превысила 60°С — снижение температуры по сравнению с исходной конструкцией составило 20°С. Улучшился обдув внутренней полости под радиатором.

Полученные данные дают основание полагать, что при предельно допустимой температуре окружающей среды +50°С температура наиболее теплостойких элементов не превысит допустимые значения, равные +85°С, что обеспечит работоспособность блока.

Заключение

Модернизация ЯП БОС приемного тракта многофункционального радиолокатора значительно улучшила его характеристики. Переход на новую элементную базу увеличил мощность ЯП до 100 Вт, что потребовало совершенствования системы охлаждения из-за возросшего тепловыделения.

Результаты теплового моделирования показали, что исходная конструкция радиатора не обеспечивала необходимый температурный режим. Изменение конструкции радиатора и топологии печатной платы позволило снизить максимальную температуру на элементах до безопасных значений, не превышающих +60°С, соответствующих требованиям надежности устройства. Исследования подтвердили эффективность предложенных решений по улучшению системы охлаждения и общей надежности конструкции, что способствует повышению эффективности функционирования комплекса в целом.

Список источников

1. *Чечель И.В., Заволокин А.А.* Изучение блока обработки сигналов приемного тракта // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности – г. Смоленск, 2024 – том 9 – № 2(40)
2. Ефименко А.А., Карлангач А.П. Анализ несущих конструкций 19-дюймовой и метрической систем для электронных средств // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 2015. № 5–6. С. 9–13.
3. Бердичевский М.Е. Конструктивы Евромеханики во встраиваемых системах // Современные технологии автоматизации. 2002. № 4. С. 52–59.

4. *Муромцев Д.Ю., Белоусов О.А.* Компьютерные технологии для расчета тепловых режимов и механических воздействий – М.: Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012.
5. *Алямовский А.А*. Solid Works Simulation. Как решать практические задачи. г. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2012г. – 443с.
6. Киселёв И.А., Страхов С.Ю. Основы моделирования процессов теплообмена в среде Solidworks. Санкт-Петербург: Балтийский государственный технический университет «Военмех» имени Д.Ф. Устинова; 2017. 48 с.
7. АДПК.673511.004 ТУ
8. АЖЯР.673511.004 ТУ
9. *Роткоп Л.Л., Спокойный Ю.Е.* Обеспечение тепловых режимов при конструировании радиоэлектронной аппаратуры. – М.: «Сов. радио», 1976.
10. *Д. С. Воруничев, М. С. Костин.* Основы конструирования и технологии производства радиоэлектронных средств: учебное пособие — М.: МИРЭА, 2018. — 104 с.: ил. — Библиогр.: с. 103

STUDY OF THE TEMPERATURE CONDITION OF A POWER CELL IN SOLIDWORKS CAD

I.V. Chechel [1], **G.P. Raevskiy** [2], **A.A. Zavolokin** [3]
[1–3] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] chechel.i.v@mail.ru, [2] geraevskiy@yandex.ru, [3] zavolokin_2011@mail.ru

Abstract

Problem statement. A change in the basic electrical circuit of the power cell associated with the transition to a new element base and an increase in its output power led to an unacceptable increase in heat generation. Since the existing cooling system did not provide the required temperature regime, it became necessary to change the design of the cooling system.

Goal. Improvement the cooling system of the power cell by selecting the optimal radiator design based on the results of ongoing studies of the temperature regime in SOLIDWORKS CAD.

Results. Based on the research results, the design form of the radiator in the cooling system of the power cell has been selected.

Practical significance. The results obtained made it possible to ensure the required temperature regime of the power cell itself and the adjacent one

Keywords

Thermal regime, air flow, radiator, SolidWorks, cooling system.

УДК 629.78; 519.6

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ НАВИГАЦИЯ СПУТНИКОВ ПРИ КРАТКОМ МАНЕВРЕ

Г.Г. Булычев[1], **В.Б. Федоров**[2]
[1–2] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[2] feodorov@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Провести оценку расходимости относительных траекторий спутников при кратком маневре.

Цель. Показать, что общие трехмерные относительные орбиты и нецентрированные периодические орбиты могут быть локально наблюдаемыми в предположении, что система с модернизированным фильтром Калмана (EKF-extended Kalman filter) продолжит отслеживать соответствующую траекторию после того, как фильтр сработает.

Результаты. Показано также, что центрированная периодическая орбита локально ненаблюдаема, что позволяет предположить, что навигационное решение EKF в конечном итоге отклонится от такой орбиты сколь угодно далеко.

Практическая значимость. Полученные результаты позволяют оценить расходимость относительных траекторий спутников при кратком маневре.

Ключевые слова

Спутники, траектории спутников, краткий маневр, расходимость, постманевры.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

В предыдущих статьях авторов [1,2] были рассмотрены возможности межспутниковой навигации с использованием измерения только межспутниковой дальности. Предложено матричное покадровое описание процесса взаимодействия. Указано на возможности значительного уменьшения передаваемой информации в случае плоских орбит. Рассмотрена возможность описания состояния спутника с помощью скалярных инвариантов, определён их физический смысл и показана сводимость к простейшим известным в ряде частных случаев. Указано также, что вычисление коэффициентов для этих инвариантов может проводиться один раз за всё время движения спутников. Показана причина возникновения зеркальных траекторий, которых в плоском случае 2, а в пространственном 4.

К ограничениям, принятым в этих статьях, относятся: предположение о строго круговой орбите спутников, предположение об отсутствии внешних возмущающих факторов (что, собственно, и позволило от уравнений движения перейти к квадратичным формам), невозможность выбора истинного расположения спутников среди зеркальных траекторий и ограничения в некоторых моментах измерения состояния спутников

Данная статья является продолжением вышеуказанных работ. В ней рассматривается случай, когда в некоторый момент времени (соответствующий m-ному кадру) спутник выполняет короткий, по сравнению со временем между кадрами, маневр, меняющий характер движения спутника, вследствие чего предыдущее рассмотрение должно быть дополнено. Такое дополнение может привести, как к изменению орбит спутников, так и к возможному изменению количества этих орбит, всё определится как начальными условиями, так и видом маневра спутника

Взаимное положение спутников и соответствующие Клохесси–Уилтшира координаты (CW-координаты), приведено на рис.1, повторяющим рис.1 предыдущих работ авторов [1,2].

Как отмечалось авторами ранее, всегда существует более одного относительного начального условия, которое может объяснить любую заданную временную историю измерений относительного диапазона. Количество правдоподобных решений зависит от конкретного класса орбиты и варьируется от двух решений до бесконечного числа решений.

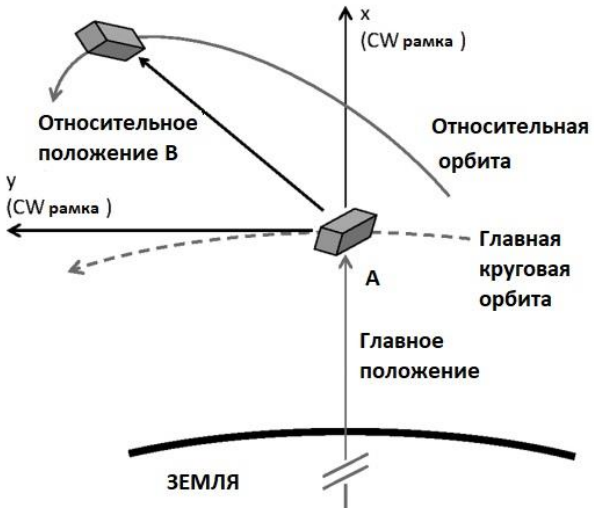


Рис.1. Взаимное положение спутников
Fig.1. Relative positions of the satellites

Краткое описание возможных ситуаций и регулирующих условий представлено в таблице 1, помещенной в следующем разделе.

I. Обеспечение глобальной наблюдаемости для относительной навигации с помощью маневрирования

В предыдущих статьях авторов описывалась наблюдаемость для относительной навигации по траектории наката (то есть за период времени, когда ни один из космических аппаратов не маневрирует, а относительное движение строго регулируется динамикой Клохесси–Уилтшира). Эти обсуждения показывают, что относительная навигация с определением только дальности, глобально не наблюдаема для двух неуправляемых космических аппаратов, причем множество решений зависит от типа относительной орбиты (см. таблицу 1).

Там же было показано, что один короткий маневр может быть использован для обеспечения глобальной наблюдаемости дрейфующей орбиты. Хотя было показано, что известный маневр делает проблему глобально наблюдаемой, позволяя произвести уникальную оценку относительного состояния, анализ, представленный в предыдущих работах (в разделах III и IV) ограничивался дугами траекторий между маневрами, т.е. не выходя из плоскости

Таблица 1. Количество допустимых относительных начальных условий, которые генерируют одну и ту же последовательность измерений относительного диапазона за все время.

Тип относительной орбиты	Ограничения	Число решений
В плоскости	$z_0 = 0, \quad \dot{z}_0 = 0$	2
Общее 3-D	Нет	4
Коэллиптическая	$\dot{x}_0 = 0, \quad \dot{y}_0 = -1.5\omega x_0$	4
Прыжок	$x_0 = 0, \quad \dot{x}_0 = 0$	4
Периодическая (согласованная по энергии)	$\dot{y}_0 = -2\omega x_0$	8
Центрированная периодическая	$2\dot{x}_0 = \omega y_0, \quad \dot{y}_0 = -2\omega x_0$	∞
Колеблющаяся	$x_0 = 0, \quad \dot{x}_0 = 0, \quad \dot{y}_0 = 0$	∞

Предположим, что в момент t_0 выполняется импульсивный маневр. Далее предположим, что измерения дальности собираются как до маневра ($t_i \leq t_0$), так и после маневра ($t_i > t_0$). Маневр, выраженный как$\Delta v_0 = [\Delta\dot{x}_0, \Delta\dot{y}_0, \Delta\dot{z}_0]^T$ в рамках CW, предполагается известным по величине и направлению. Выполнение такого известного маневра потребовало бы от A знания ориентации B.

Напомним из раздела IV.A [2], что трехмерная дрейфующая орбита обычно имеет четыре возможных решения (истинная орбита и ее зеркала). Теперь, если маневр выполняется в момент времени t_0, то временная история дальности определяется выражением:

$$\rho_i^2 = \begin{cases} \xi_0^T M_i \xi_0 + z_0^T N_i z_0 , & t_i \le t_0 \\ (\xi_0 + \Delta\xi_0)^T M_i (\xi_0 + \Delta\xi_0) + (z_0 + \Delta z_0)^T N_i (z_0 + \Delta z_0), t_i > t_0 , \\ , \end{cases} \quad (1)$$

где M_i и N_i определяются инвариантом (23) из [2], а приращения, связанные со скачком:

$$\Delta\xi_0 = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ \Delta\dot{x} \\ \Delta\dot{y} \end{vmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \Delta\dot{z} \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Далее, обобщая уравнение дальности после маневра и разделяя вклады в дальность полета в плоскости и за ее пределами, получим:

$$(x_i^2 + y_i^2) = \xi_0^T M_i \xi_0 + 2\Delta\xi_0^2 M_i \xi_0 + \Delta\xi_0^T M_i \Delta\xi_0 \quad (3)$$

$$z_i^2 = z_0^T N_i z_0 + 2\Delta z_0^2 N_i z_0 + \Delta z_0^2 N_i \Delta z_0. \quad (4)$$

Теперь вспомним из раздела III работы [2], что зеркальные орбиты образуются путем исключения ξ_0, z_0 или обоих. Следовательно, набор из четырех возможных решений может быть получен с использованием измерений дальности до маневра (либо ξ_0, либо $-\xi_0$ вместе с либоz_0, либо $- z_0$). Однако только одно из этих решений также будет удовлетворять временной истории дальности после выполнения маневра. Это связано с тем, что ξ_0 создает другую временную историю дальности полета в плоскости, чем -ξ_0 после известного маневра, что очевидно:

$$\xi_0^T M_i \xi_0 + 2\Delta\xi_0^2 M_i \xi_0 + \Delta\xi_0^T M_i \Delta\xi_0 \neq (-\xi_0^T) M_i (-\xi_0) + 2\Delta\xi_0^2 M_i (-\xi_0) + \Delta\xi_0^T M_i \Delta\xi_0 \quad (5)$$

поскольку

$$\Delta\xi_0^T M_i \xi_0 \neq \Delta\xi_0^T M_i (-\xi_0), \quad (6)$$

и аналогично,

$$z_0^T N_i z_0 + 2\Delta z_0^2 N_i z_0 + \Delta z_0^2 N_i \Delta z_0 \neq (-z_0^T) N_i (-z_0) + 2\Delta z_0^2 N_i (-z_0) + \Delta z_0^2 N_i \Delta z_0 \quad (7)$$

из-за того, что

$$\Delta z_0^T N_i z_0 \neq \Delta z_0^T N_i (-z_0). \quad (8)$$

Основным ограничением для этого результата является то, что Δv_0 имеет компоненты как в плоскостном, так и во внеплоскостном направлениях, и что компоненты v_0, вдоль которых выполняется маневр, отличны от нуля.

Таким образом, поскольку ξ_0 создает другую историю постманевров в области плоскостей, чем $-\xi_0$, и поскольку z_0 создает другую историю постманевров вне области плоскостей, чем $- z_0$, симметрия приводящая к зеркальным решениям, оказывается уничтоженной. В результате для x_0 существует только одно уникальное решение, которое создает правильную историю дальности как до, так и после известного маневра. Таким образом, известный маневр обеспечивает глобальную наблюдаемость для дрейфующей (непериодической) орбиты. Аналогичный анализ может быть выполнен для периодических орбит, но здесь он не проводится.

II. Первоначальное определение относительной орбиты

В разделах III и IV предыдущей работы [1] было показано, что, как правило, существуют четыре возможные трехмерные относительные орбиты (зеркальные решения), которые могут объяснить наблюдаемую историю измерений дальности по относительной траектории движения накатом (без маневрирования).

В частном случае общей периодической орбиты существует восемь возможных относительных орбит. Центрированные периодические орбиты и колеблющиеся орбиты допускают бесконечно много решений. В этом разделе описывается простая численная схема нахождения решения для относительных орбит с дискретным числом допустимых решений

(то есть для всех относительных орбит, за исключением центрированных периодических орбит и осциллирующих орбит).

A. Решение нелинейной задачи совокупной оценки относительных орбит

В работе Кристиана [3] было показано, что точечные пересечения квадратичных форм могут быть найдены с помощью простой итерационной схемы, которая демонстрирует q-квадратичную сходимость. Такой метод может быть адаптирован к нынешней проблеме, поскольку было замечено, что каждое измерение состояния порождает квадратичную форму (см. уравнение для оценки отклонения от плоскости орбиты CW [1]:

$$z_i^2 = z_0^T N_i z_0; \qquad (*)$$

и связанное с ним обсуждение.

Этот метод решения может быть использован для поиска наиболее близкого решения к любому ненулевому исходному предположению о состоянии, $x_0 \neq 0$.

Начиная с создания вектора квадратов дальностей, собранных за m дискретных периодов времени, получим:

$$y^T = [\rho_1^2\ \rho_2^2 \dots \rho_m^2] \qquad (9)$$

Итеративная процедура — это просто последовательное вычисление следующих трех уравнений при $k = 0, \dots, n$:

$$A_{(k)} = \begin{bmatrix} \hat{x}_{0(k)}^T Z_1 \\ \hat{x}_{0(k)}^T Z_2 \\ \dots \\ \hat{x}_{0(k)}^T Z_m \end{bmatrix} \qquad (10)$$

$$z_{(k)} = \left[A_{(k)}^T R_y^{-1}\right]^{-1} A_{(k)}^T R_y^{-1} y, \qquad (11)$$

$$x_{0_{(k+1)}} = \frac{1}{2}\left[\hat{x}_{0_{(k)}} + z_{(0)}\right] \qquad (12)$$

где Z_i взято из уравнения (17, ссылка), а k указывает номер итерации. Обратите внимание, что коэффициент "$1 / 2$" в уравнении (12) используется для учета колебательного поведения, которое может возникнуть при нахождении квадратичных форм с помощью типичного итерационного подхода к решению нелинейной задачи наименьших квадратов. Это подробно обсуждается в [3]. Дополнительно, $R_y = E[\delta y \delta y^T]$ - ковариация вектора измерений y, содержащего квадраты состояний. Это может быть связано с ковариацией самих измерений диапазона, с учётом того, что изменение квадратичного состояния:

$$\delta y_i = 2\rho_i \delta\rho_i \qquad (13)$$

Предположение о том, что ошибки измерения дальности не коррелированы, приводит к следующей диагональной ковариационной матрице: состояний:

$$R_y = \begin{bmatrix} 4\rho_1\sigma_\rho^2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 4\rho_2\sigma_\rho^2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 4\rho_m\sigma_\rho^2 \end{bmatrix}. \qquad (14)$$

которая также может быть переписана в виде:

$R_\rho = \sigma_\rho^2 I_{max}$ ковариация измерений диапазона, G - диагональная матрица измерений диапазона:

$$R_y = \begin{bmatrix} \rho_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \rho_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \rho_m \end{bmatrix} \qquad (16)$$

Все, что требуется для реализации этой итеративной схемы, — это первоначальное предположение об относительном состоянии, $\hat{x}_{0_{(0)}}$ К счастью, как было показано в [3], сходимость к допустимому решению гарантирована для любого ненулевого начального предположения – хотя можно было бы так же легко сходиться к одному из зеркальных решений, как и к “истинному” решению. Поскольку проблема не поддается глобальному наблюдению, нет никакого способа узнать, является ли полученное решение истинным или зеркальным.

Как только какое-либо одно решение найдено, легко сгенерировать соответствующие ему зеркальные решения. Кроме того, путем анализа относительных состояний из этого решения, существование не зеркальных решений может быть определено простой проверкой ограничения $\dot{y}_0 = -2\omega x_0$. Если определено, что орбита является периодической, дополнительные решения могут быть найдены путем выполнения предыдущей процедуры с другим первоначальным предположением (данными кадра). В качестве альтернативы квадратичный многочлен может быть построен для получения двух семейств зеркальных решений.

Наконец, важно отметить, что многозначности, описанные в этой статье, подразумевают, что невозможно определить, какое из возможных решений для вышеуказанной проблемы является истинным. Хотя можно просто выбрать относительную траекторию, которая является результатом представленной здесь схемы решения, нет абсолютно никаких оснований предполагать, что это решение лучше, чем любое из его зеркал (или, для периодической орбиты, ее соответствующая деформированная орбита и связанные с ней зеркала). Единственный способ определить, какое из решений является истинным, - это иметь дополнительный источник информации (например, другой датчик, выполнить маневр, как будет описано в разделе III данной статьи или рассмотреть относительную динамику более высокого порядка, учитывающую действие каких-либо сил.

B. Аналитическая ковариация для решения рассматриваемой задачи

В дополнение к простой оценке относительного состояния часто важно также понимать неопределенность в этой оценке. Это может быть сделано для метода решения задачи, представленной в предыдущем разделе, с помощью стандартных методов ковариации.

Как только итеративная схема модели, описанной уравнениями (10–12), будет завершена, обозначим окончательную оценку как $\hat{x}_0$. Аналогично, заметив, что матрица $A_{(k)}$ зависит от$\hat{x}_0$, обозначим конечное значение этой матрицы (которая строится из$\hat{x}_0$) как $\hat{A}$.

Зависимость $\hat{A}$ от $\hat{x}_0$ создает неопределенность в$\hat{A}$, которую необходимо учитывать. Итеративная процедура из раздела VI.A позволяет получить оценку максимального правдоподобия для набора измерений дальности, определяемых соотношением в уравнении $\rho_i^2 = \hat{x}_0^T Z_i x_0$;. Таким образом, проведя вариацию этого уравнения, можно найти, что

$$\delta y_i = 2\rho_i \delta\rho_i = 2\hat{x}_0^T Z_i \delta x_0, \tag{17}$$

который может быть переписан для всех измерений в векторной форме:

$$\delta y = 2G\delta\rho = 2A\delta x_0. \tag{18}$$

Отсюда можно легко найти ковариацию начальной оценки относительного состояния,$P = E[\delta x_0 \; \delta x_0^T]$, поскольку либо

$$P = \frac{1}{4}\left(A^T R_y^{-1} A\right), \tag{19}$$

либо, после подстановки в уравнение (15):

$$P = \left[A_T\left(G R_\rho G^T\right)^{-1} A\right]^{-1} \tag{20}$$

III. Относительная навигация только для диапазона с последовательным фильтром

Информация, полученная с помощью решения задачи определения орбит при относительной навигации, легко адаптируется к задаче обработки измерений дальности, поскольку она становится доступной в последовательном навигационном фильтре. Некоторая

первоначальная работа над относительной навигацией с последовательным фильтром была выполнена под руководством Ванг [4]. Авторы [4] также наблюдали существование зеркальных решений для общих трехмерных орбит и существование не зеркальных решений для периодических орбит. Авторы [4], однако, не рассматривают бесконечную множественность, связанную с центрированными периодическими орбитами (которая была впервые обнаружена в [5]). Случай центрированных периодических орбит особенно важен для последовательных фильтров, поскольку они приводят к локальной не наблюдаемости.

Заключение

Построена аналитическая покадровая модель относительной навигации спутников при краткосрочном маневре одного из них. При построении использовались допущения модели динамики Клохесси–Уилтшира. Сформулирована задача фильтрации полученных результатов с использованием модернизированного фильтра Калмана для наблюдаемости или не наблюдаемости полученных классов орбит.

Список источников

1. *Булычев Г.Г., Фёдоров В.Б.* Относительная навигация с использованием измерения межспутниковой дальности. Часть I. Международная межведомственная научно-техническая конференция «Космические технологии – 2023». Сборник научных статей. М.: МИРЭА-Российский технологический университет. 2024.-с.63-68.
2. *Булычев Г.Г., Фёдоров В.Б.* Относительная навигация с использованием измерения межспутниковой дальности. Часть II. Международная межведомственная научно-техническая конференция «Космические технологии – 2023». Сборник научных статей. М.: МИРЭА-Российский технологический университет. 2024.-с.69-74.
3. *Christian, J. A.,* “Optical Navigation Using Iterative Horizon Reprojection,” Journal of Guidance, Control, and Dynamics, Vol. 39, No. 5, 2016, pp. 1092–1103. doi:10.2514/1.G001569
4. *Wang, J., Butcher, E. A., and Lovell, T. A.*, “Use of Nonlinearities for Increased Observability in Relative Orbit Estimation,” AAS Astrodynamics Specialist Conference, AAS Paper 2015-623, Aug. 2015. [24] Wang, J., Butcher, E. A., and Lovell, T. A., “Analysis of Ambiguous Orbits in Sequential Relative Orbit Estimation with Range-Only Measurements,” AAS/AIAA Space Flight Mechanics Meeting, AAS Paper 2016-375, Feb. 2016.
5. *Christian, J.,* “Observability and Solution Technique for Range-Only Relative Navigation,” 39th AAS Guidance, Navigation, and Control Conference, AAS Paper 2016-132, Feb. 2016.
6. *Легкий Н.М., Баранников А.И.* Повышение надежности определения навигационных координат транспортных средств / Наука и техника транспорта. 2015. № 2. С. 46-50.
7. *Легкий Н.М.* Управление перевозочным процессом на основе информации о местоположении транспортного средства / Наука и техника транспорта. 2009. № 3. С. 38-40.
8. *Петрова И.И., Лобов А.А., Малахов М.Ю., Лёгкий Н.М.* Спутниковые радионавигационные технологии в системах мониторинга состояния автомобильных дорог общего пользования / Наука и техника транспорта. 2013. № 3. С. 021-025.

RELATIVE NAVIGATION OF SATELLITES DURING A SHORT MANEUVER

G.G. Bulychev[1], **V.B. Fedorov**[2]
[1–2] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[2] feodorov@mirea.ru

Abstract

Problem statement. To evaluate the divergence of the relative trajectories of the satellites during a short maneuver.

Purpose. To show that common three-dimensional relative orbits and non-centered periodic orbits can be locally observable, assuming that the system with an upgraded Kalman filter (EKF-extended Kalman filter) will continue to track the corresponding trajectory after the filter is activated.

Results. It is also shown that the centered periodic orbit is locally unobservable, which suggests that the EKF navigation solution will eventually deviate arbitrarily far from such an orbit.

Practical significance. The results obtained make it possible to estimate the divergence of the relative trajectories of the satellites during a short maneuver.

Keywords

Satellites, satellite trajectories, short maneuvers, divergence, post maneuvers.

УДК 629.78; 519.6

ОЦЕНКА РАСХОДИМОСТИ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ТРАЕКТОРИЙ СПУТНИКОВ ПРИ КРАТКОМ МАНЕВРЕ

Г.Г. Булычев[1], **В.Б. Федоров**[2]
[1–2] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[2] feodorov@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Провести оценку расходимости относительных траекторий спутников при кратком маневре.

Цель. Показать, что общие трехмерные относительные орбиты и нецентрированные периодические орбиты могут быть локально наблюдаемыми в предположении, что система с модернизированным фильтром Калмана (EKF-extended Kalman filter) продолжит отслеживать соответствующую траекторию после того, как фильтр сработает.

Результаты. Показано также, что центрированная периодическая орбита локально ненаблюдаема, что позволяет предположить, что навигационное решение EKF в конечном итоге отклонится от такой орбиты сколь угодно далеко.

Практическая значимость. Полученные результаты позволяют оценить расходимость относительных траекторий спутников при кратком маневре.

Ключевые слова

Спутники, траектории спутников, краткий маневр, расходимость.

A brief version in English is given at the end of the article

А. Ограничения использования модернизированного фильтра Калмана

Фильтр Калмана, первоначально разработанный в начале 1960-х годов [1,2], представляет собой методику последовательной оценки для систем как с линейной динамикой, так и с моделями линейных измерений. Фундаментальные идеи, лежащие в основе статистически оптимального фильтра Калмана, положены в основу большинства современных навигационных систем в реальном времени. Позже эта идея была адаптирована для систем с нелинейной динамикой и нелинейными моделями измерений в модернизированном фильтре Калмана [3,4].

Хотя непрерывная динамика является линейно-инвариантной во времени (LTI), модель измерения дальности является нелинейной. В результате требуется EKF, а взаимосвязь между возмущениями в состоянии и возмущениями в измерении требует линеаризации относительно опорной траектории.

Таким образом, как обсуждалось в разделе. II работы [5], непрерывная динамика является линейной:

$$\dot{x} = f(x,t) = Fx, \tag{1}$$

которая допускают решение вида

$$x_i = \Phi_i x_0, \tag{2}$$

где Φ_i задаётся матрицей $\Phi_{jr}, j,k = r_i, v_i$ уравнения (2) из [5]. Однако измерения скалярного диапазона являются нелинейными:

$$y_i = h(x_i) = \rho_i^2 = r_i^T r_i. \tag{3}$$

Еще раз обратим внимание, что квадрат состояния используется в том числе и для того, чтобы избежать ненужных квадратных корней. При малом возмущении эта нелинейная модель измерения может быть линеаризована относительно текущей оценки:

$$\delta y_i = 2r_i \delta r_i = 2r_i^T [I_{3\times3}, 0_{3\times3}]\delta x_i. \quad (4)$$

Следовательно, определив матрицу чувствительности измерений H_i H_i как

$$H_i = 2r_i^T [I_{3\times3} 0_{3\times3}] \quad (5)$$

которая, как наблюдается, в данном случае представляет собой однострочную матрицу из шести элементов. В результате получается линеаризованная модель измерения:

$$\delta y_i = H_i \delta x_i \quad (6)$$

Поскольку динамика является линейной по времени, состояние и ковариация могут распространяться как в классическом линейном фильтре Калмана (и с использованием аналитического решения для CW):

$$\hat{x}_{i+1}^- = \Phi(t_{i+1}, t_i)\hat{x}_i^+, \quad (7)$$

$$P_{i+1}^- = \Phi\,(t_{i+1}, t_i)P_i^+\Phi^T(t_{i+1}, t_i) + Q, \quad (8)$$

где P - ковариация оценки состояния, а Q - ковариация шума процесса. Здесь верхний индекс "–" обозначает априорную оценку, а верхний индекс " + "обозначает апостериорную оценку.

Затем нелинейные измерения используются для улучшения состояния, как в EKF:

$$\hat{x}_i^+ = \hat{x}_i^- + K_i[\hat{y}_i - h(\hat{x}_i^-)], \quad (9)$$

где $\hat{y}_i$ - измерение шума в момент времени t_i , а K_i - коэффициент усиления Калмана

$$K_i = P_i^- H_i^T (H_i P_i^- H_i^T + R)^{-1}, \quad (10)$$

где R_i - ковариация i-го измерения. Аналогично, ковариация может быть обновлена с использованием либо стандартного обновления ковариации:

$$P_i^+ = (I - K_i H_i)P_i^-, \quad (11)$$

либо с использованием формы Джозефа

$$P_i^+ = (I - K_i H_i)P_i^-(I - K_i H_i)^T + K_i R_i K_i^T \quad (12)$$

которая оказывается предпочтительней, поскольку гарантирует, что обновленная ковариация останется симметричной и будет обладать лучшей числовой стабильностью.

B. Оценка локальной наблюдаемости

Существование зеркального и не зеркального решений ясно указывает на то, что проблема относительной навигации с учетом только начального состояния спутника не является глобально наблюдаемой. То есть относительное состояние не может быть однозначно определено на основе последовательности измерений дальности. Однако в некоторых ситуациях может быть продемонстрирована более слабая форма локальной наблюдаемости. Это важно, потому что EKF требует локальной наблюдаемости только после того, как фильтр сходится. Следующее обсуждение показывает, что только конвергентный EKF, обрабатывающий только межспутниковые измерения дальности, как правило, обеспечивает стабильные результаты оценки – за исключением центрированной периодической орбиты. Этого исключения следовало ожидать, поскольку в [6, раздел IV.C] было показано, что центрированные периодические орбиты допускают семейство из бесконечно большого числа решений.

Методы анализа наблюдаемости для линейных систем могут быть применены к нелинейным системам путем линеаризации относительно опорной траектории. Таким образом, результатом является локальный критерий наблюдаемости. В частности, подход описанный здесь позволит оценить, является ли система локально слабо наблюдаемой [7,8]. В данном случае динамика линейна, и только модель измерения нелинейна — следовательно, такая линеаризация требуется только для модели измерения.

Для линейной системы с измерениями, собранными в m различных дискретных моментов времени, можно сформировать матрицу наблюдаемости в виде [9,10]:

$$O = \begin{bmatrix} H_0 \\ H_1\Phi_1 \\ \dots \\ H_m\Phi_m \end{bmatrix} \tag{13}$$

Если вектор состояния $x \in R^n$, то система наблюдаема, если ранг O равен n. Обратите внимание, что O в данном конкретном случае представляет собой матрицу $\mathrm{m} \times 6$, потому что H_i - это матрица размером 1×6. Таким образом, для того, чтобы существующая нелинейная система была локально наблюдаемой, необходимо, чтобы ранг O равнялся 6.

Рассмотрим строку O, соответствующую измерению в момент времени t_j. Подставим в (33) значение H_j из уравнения (25):

$$H_j\Phi_j = 2r_j^T[I_{3\times3}0_{3\times3}]\Phi_j, \tag{14}$$

которое, после подстановки уравнений (2) и (13) для $\widehat{\Phi}_i$ и $\bar{r}_i$ из [5], оказывается эквивалентным:

$$H_j\Phi_j = 2\hat{x}_0^T\begin{bmatrix}\Phi_{rr}^T \\ \Phi_{rv}^T\end{bmatrix}[\Phi_{rr} \quad \Phi_{rv}], \tag{15}$$

$$H_j\Phi_j = 2\hat{x}_0^T Z_j. \tag{16}$$

Неудивительно, что замена уравнения (16) обратно на уравнение (13) показывает соотношение между O и матрицей, используемой для численного решения рассматриваемой задачи

$$O = 2\hat{A} \tag{17}$$

где $\hat{A}$ определяется уравнением (10) из [5]

Теперь вернемся к рассмотрению конкретной строки в O. Определим каждый из шести элементов в j-й строке как

$$H_j\Phi_j = \begin{bmatrix} g_{j1} & g_{j2} & g_{j3} & g_{j4} & g_{j5} & g_{j6}\end{bmatrix}, \tag{18}$$

где элементы g наблюдаются линейными в исходном состоянии. Таким образом, применяя определение векторной линейной зависимости, система будет локально ненаблюдаемой, если существуют $a_1 \div a_6$, такие что

$$a_1g_{j1} + a_2g_{j2} + a_3g_{j3} + a_4g_{j4} + a_5g_{j5} + a_6g_{j6} = 0, \forall j \tag{19}$$

В противном случае система является локально наблюдаемой.

Тщательный обзор уравнений для $g_1 \div g_6$, показывает, что набор измерений, собранных в произвольные моменты времени создаст линейно независимые столбцы в O для общего вида 3-D относительной орбиты. Столбцы в O остаются линейно независимыми для периодической относительной орбиты ($\dot{y}_0 = -2\omega x_0$). Матрица O, однако, становится неполноценной по рангу (снижается с ранга 6 до ранга 5), когда рассматривается центрированная периодическая орбита (как $\dot{y}_0 = -2\omega x_0$ так и $\dot{x}_0 = -2\omega y_0$). Выполнение этих двух замен для центрированной периодической орбиты и перестановка дают в результате:

$$g_{j1} - 2\omega g_{j3} = \left(-\frac{3}{2}y_0\right)\sin(2\omega t_j) + (-3x_0)\cos(2\omega t_j) + 5x_0; \tag{20}$$

$$g_{j4} + \frac{2g_{j3}}{\omega} = \left(-\frac{3x_0}{\omega}\right)\sin(2\omega t_j) + \left(-\frac{3y_0}{2\omega}\right)\cos(2\omega t_j) + \frac{5y_0}{2\omega} \tag{21}$$

$$g_{j3} = \left(-\frac{z_0}{\omega}\right)\sin(2\omega t_j) + z_0\cos(2\omega t_j) + z_0 \tag{22}$$

$$g_{j6} = \left(\frac{z_0}{\omega}\right)\sin(2\omega t_j) + \left(-\frac{z_0}{\omega^2}\right)\cos(2\omega t_j) + \frac{z_0}{\omega^2}. \tag{23}$$

Отсюда становится очевидным, что существует линейная комбинация этих выражений, которая всегда равна нулю, эта комбинация имеет вид:

$$\alpha\left(g_{j1}-2\omega g_{j5}\right)+\alpha_2\left(g_{j4}+\frac{2g_{j2}}{\omega}\right)+\alpha_3 g_{j3}+\alpha_4 g_{j6}=0,\forall j \tag{24}$$

где

$$\alpha_1=\frac{8}{3}\frac{y_0\,\dot{z}_0^2}{\omega}+4x_0\dot{z}_0z_0+\frac{2}{3}\omega y_0 z_0^2; \tag{25}$$

$$\alpha_2=-\frac{4}{3}\dot{z}_0^2x_0\ -\frac{16}{3}\omega^2x_0z_0^2-2\omega\dot{z}_0y_0z_0; \tag{26}$$

$$\alpha_3=-4\dot{z}_0x_0^2\ +10\omega z_0x_0y_0+4\dot{z}_0y_0^2; \tag{27}$$

$$\alpha_4=-16\omega^2z_0x_0^2\ -10\omega\dot{z}_0x_0y_0+4\omega^2z_0y_0^2. \tag{29}$$

Коэффициенты $\alpha_1 \div \alpha_4$ могут быть преобразованы обратно в $a_1 \div a_6$, чтобы описать направление не наблюдаемости в пространстве состояний (которое является просто нулевым пространством O):

$$N(O)=\begin{bmatrix}a_1\\a_2\\a_3\\a_4\\a_5\\a_6\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\alpha_1\\\frac{2\alpha_2}{\omega}\\\alpha_3\\\alpha_2\\-2\alpha_1\omega\\\alpha_4\end{bmatrix}. \tag{29}$$

Несмотря на алгебраическую сложность вывода и результата, практические выводы поразительно просты. Оказывается, матрица наблюдаемости O имеет полный ранг для набора произвольно размещенных измерений, собранных вдоль общей трехмерной относительной орбиты или трехмерной периодической орбиты, подразумевая, что конвергентный EKF будет продолжать отслеживать такую орбиту. Однако для центрированной периодической орбиты существование нулевого пространства в матрице O , которое аналитически описывается уравнением (49), делает систему ненаблюдаемой. Таким образом, состояние навигации в конечном итоге изменится, если EKF используется только для состояний относительной навигации с космическим аппаратом на центрированной периодической орбите. Известный маневр может быть выполнен, чтобы помочь обеспечить наблюдаемость, но оцененное состояние все равно будет иметь тенденцию к отклонению по дугам траектории движения накатом между маневрами.

Эти выводы о наблюдаемости, конечно, являются только локальными и применимы только к конвергентному EKF. Если начать с неконвергентного состояния EKF, вполне возможно, что EKF вообще не сойдется или просто сойдется к ближайшей допустимой относительной траектории, которая может не быть “истинной” траекторией, но вместо этого может быть одной из зеркальных траекторий, или, в случае периодической орбиты, одной из незеркальных орбит.

C. Численные результаты. Примеры относительных орбит, которые дают одни и те же измерения дальности за все время

1. Дрейфующая орбита и ее зеркальные решения

Типичный трехмерный дрейф (непериодическая орбита) имеет только четыре решения: истинная траектория и ее зеркальные решения. В качестве примера рассмотрим дрейфующую орбиту, показанную на рис. 2. Истинная орбита в данном случае имеет $r_0^T=\left[0.1,0.6,0,3\right]$ и $v_0^T=\left[0.0012,-0.0005,0.001\right]$ Истинные начальные условия показаны черным кругом и тремя

зеркальными решениями (отраженными вокруг главного космического аппарата, расположенного в начале координат) и обозначены черными маркерами. Как истинная траектория (сплошная черная линия), так и зеркальные траектории (пунктирные черные линии) обеспечивают идентичные измерения дальности за все время.

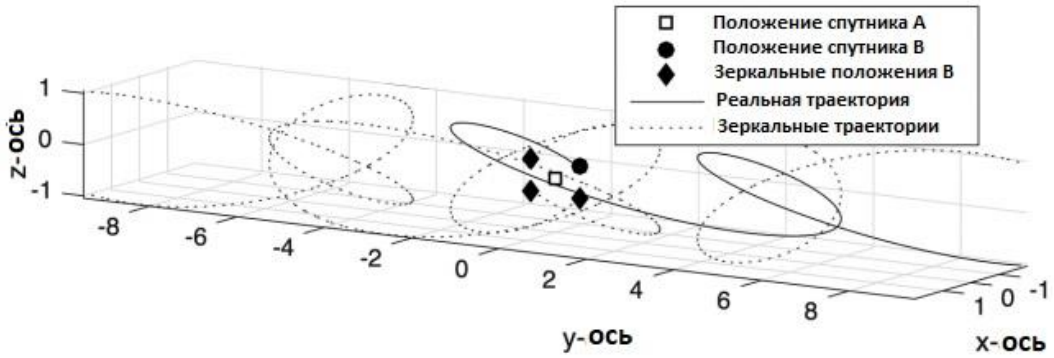


Рис. 2. Графическое изображение дрейфующей относительной орбиты и ее зеркальных решений; все четыре из этих траекторий дают идентичные измерения дальности за все время наблюдения (начальное условие вида IC).
Fig. 2. Graphical representation of the drifting relative orbit and its mirror solutions; all four of these trajectories give identical range measurements for the entire observation time (initial condition of the IC type).

Таблица 2. Пример начальных условий для двух периодических (и незеркальных) относительных орбит, которые дают одинаковую историю дальности за все время ($\omega = 0.001$)

Тип орбиты	x_0	y_0	z_0	$\dot{x}_0$	$\dot{y}_0$	$\dot{z}_0$
Реальная орбита	**0.1**	**0.6**	**0.3**	**0.0012**	**-0.0002**	**0.001**
Деформированная орбита	0.084028	-0.125465	-0.661209	0.001008	-0.000168	-0.000294
каждая из них имеет три зеркальных решения. Таким образом, включая зеркальные решения, начальные условия в этом в таблице описаны восемь возможных относительных траекторий.						

2. Периодические орбиты

Типичный трехмерный периодический анализ будет содержать восемь решений. В качестве примера обратите внимание, что две относительные орбиты, показанные в таблице 2, дают точно такую же историю дальности за все время. Каждая из этих орбит имеет три зеркальных решения, в результате чего общее число допустимых относительных траекторий достигает восьми. Эти восемь траекторий графически показаны на рис. 3.

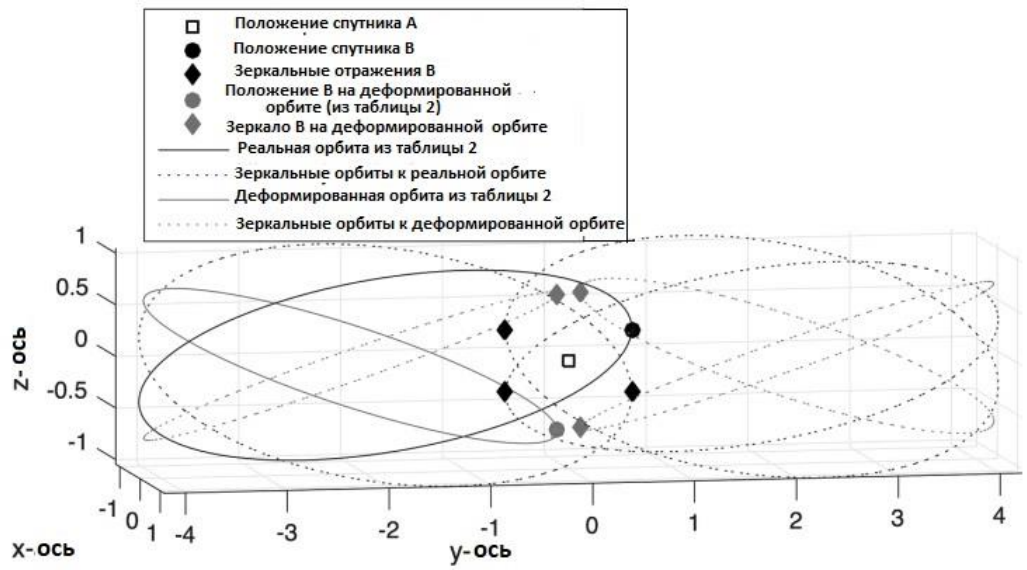


Рис. 3 Графическое изображение периодических относительных орбит из таблицы 2 и их зеркальных решений (IC, начальное условие).
Fig. 3 Graphical representation of periodic relative orbits from Table 2 and their mirror solutions (IC, initial condition).

3. Случай бесконечных решений

Существует бесконечно много допустимых начальных условий для центрированных периодических орбит (где $2x_0$, ωy_0 и y_0, $-2\omega x_0$). Поскольку в уравнениях (62-64) есть только три ограничения и четыре неизвестных, одно относительное состояние является независимой переменной (и может быть выбрано произвольно), а остальные относительные состояния являются зависимыми переменными (и вычисляются). Здесь в качестве независимой переменной выбрано значение x_0. Хотя существует бесконечно много незеркальных решений, некоторые примеры результатов приведены в таблице 3. Напомним также, что может быть спроектирована колеблющаяся орбита, которая выдает ту же историю дальности, что и семейство орбит с неоднозначным диапазоном. Этот результат также показан в таблице 3.

Таблица 3 Примеры центрированных периодических орбит и колеблющихся орбит, которые обеспечивают точно такие же измерения дальности за все время (ω= 0,001)

Тип орбиты	x_0	y_0	z_0	$\dot{x}_0$	$\dot{y}_0$	$\dot{z}_0$
Центрированная орбита	**0.5**	**0.3**	**0.4**	**0.00015**	**-0.001**	**0.01**
Периодическая орбита	0.4 0.3 0.2 0.1 0	0.422222 0.500920 0.553084 0.584909 0.599008	0.402154 0.398847 0.392553 0.384553 0.375752	0.000211 0.000250 0.000277 0.000292 0.000300	-0.0008 -0.0006 -0.0004 -0,0002 0	0.010017 0.010030 0.010039 0.010045 0.010047
Осциллирующая орбита	0.0	0.598695	0.376253	0.0	0.0	0.01033
Заметим, что каждая из перечисленных орбит также имеет три соответствующих зеркальных решения, которые здесь не перечислены.						

Для того, чтобы получить лучшее интуитивное представление о семействе бесконечных центрированных периодических орбит, описанных в таблице 3, следует визуализировать множество всех возможных траекторий, которые дают одинаковую историю состояния для $-0.5 \le x_0 \le 0.5$ Такая визуализация показана на рис. 4.

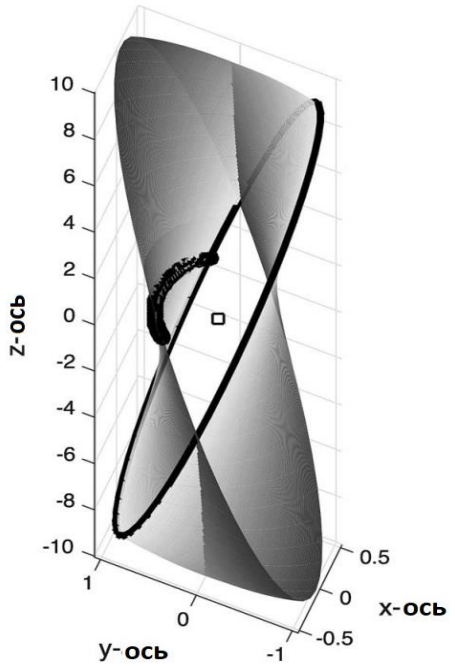


Рис.4. Многообразие допустимых центрированных периодических траекторий для $-0.5 \le x_0 \le 0.5$, которые генерируют идентичные истории орбит за все время; также смотрите таблицу 3.

Fig.4. The variety of acceptable centered periodic trajectories for, which generate identical orbit histories for all time; also see Table 3.

Все центрированные периодические относительные орбиты явно периодичны с одинаковым минимальным и максимальным размахом. Что отличает орбиты, так это то, как ориентированы и фазированы относительные эллиптические орбиты. Также ясно, что такая ситуация может происходить только в трех измерениях.

Заключение

В работе продолжено аналитическое рассмотрение проблем межспутниковой навигации, начатое работами [1,2]. Описаны скачки орбиты при её возмущении, что позволило разбивать орбиты на стационарные (инерционные) участки и возмущения. Изучены шумы и погрешности, возникающие при анализе, дана методика их оптимизации. Определены классы возможных орбит в случае краткого маневра спутников, показана возможность дрейфа таких орбит. Проведен численный анализ ряда орбит, для них приведены рисунки орбит и соответствующие таблицы.

Список источников

1. *Kalman, R.,* “A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems,” Journal of Basic Engineering, Vol. 82, No. 1, 1960, pp. 35–45. doi:10.1115/1.3662552
2. *Kalman, R., and Bucy, R.,* “New Results in Linear Filtering and Prediction,” Journal of Basic Engineering, Vol. 83, No. 1, 1961, pp. 95–108. doi:10.1115/1.3658902
3. *Gelb, A.*, Applied Optimal Estimation, MIT Press, Cambridge, MA, 1974, pp. 182–190.
4. *Maybeck, P. S.*, Stochastic Models, Estimation and Control: Volume 2, Academic Press, New York, 1982, pp. 39–59.
5. *Булычев Г.Г., Фёдоров В.Б.* Относительная навигация с использованием измерения межспутниковой дальности. Часть I. Международная межведомственная научно-техническая конференция «Космические технологии – 2023». Сборник научных статей. М.: МИРЭА-Российский технологический университет. 2024.-с.63-68.
6. *Булычев Г.Г., Фёдоров В.Б.* Относительная навигация с использованием измерения межспутниковой дальности. Часть II. Международная межведомственная научно-техническая конференция «Космические технологии – 2023». Сборник научных статей. М.: МИРЭА-Российский технологический университет. 2024.-с.69-74.
7. *Hermann, R., and Krener, A. J.,* “Nonlinear Controllability and Observability,” IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. 22, No. 5, 1977, pp. 728–740. doi:10.1109/TAC.1977.1101601
8. *Kassas, Z. M., and Humphreys, T. E.,* “Observability and Estimability of Collaborative Opportunistic Navigation with Pseudorange Measurements,” Institute of Navigation GNSS Conference, Sept. 2012
9. *Maybeck, P. S.*, Stochastic Models, Estimation and Control: Volume 1, Academic Press, New York, 1979, pp. 43–48.
10. *Crassidis, J. L., and Junkins, J. L.*, Optimal Estimation of Dynamics Systems, CRC Press, Boca Raton, FL, 2004, pp. 140–143. E. Glenn Associate Edito.
11. *Легкий Н.М., Баранников А.И.* Повышение надежности определения навигационных координат транспортных средств / Наука и техника транспорта. 2015. № 2. С. 46-50.
12. *Легкий Н.М.* Управление перевозочным процессом на основе информации о местоположении транспортного средства / Наука и техника транспорта. 2009. № 3. С. 38-40.
13. *Петрова И.И., Лобов А.А., Малахов М.Ю., Лёгкий Н.М.* Спутниковые радионавигационные технологии в системах мониторинга состояния автомобильных дорог общего пользования / Наука и техника транспорта. 2013. № 3. С. 021-025.

ESTIMATION OF THE DIVERGENCE OF RELATIVE SATELLITE TRAJECTORIES DURING A SHORT MANEUVER

G.G. Bulychev[1], **V.B. Fedorov**[2]
[1–2] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[2] feodorov@mirea.ru

Abstract

Problem statement. To evaluate the divergence of the relative trajectories of the satellites during a short maneuver.

Purpose. To show that common three-dimensional relative orbits and non-centered periodic orbits can be locally observable, assuming that the system with an upgraded Kalman filter (EKF-extended Kalman filter) will continue to track the corresponding trajectory after the filter is activated.

Results. It is also shown that the centered periodic orbit is locally unobservable, which suggests that the EKF navigation solution will eventually deviate arbitrarily far from such an orbit.

Practical significance. The results obtained make it possible to estimate the divergence of the relative trajectories of the satellites during a short maneuver.

Keywords

Satellites, satellite trajectories, short maneuvers, divergence.

УДК 621.396.69

РАЗРАБОТКА КОМБИНИРОВАННОГО МЕТОДА ДИАГНОСТИКИ БЛОКОВ БОРТОВЫХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ НА ОСНОВЕ ВИБРОУДАРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ И ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ

Во Тхе Хай [1], **А.В. Долматов** [2], **Фам Суан Хань** [3], **Нгуен Дык Хай** [4]
[1-4] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] thehai.ttrd@gmail.com, [2] dolmatov@mirea.ru, [3] phamxuanhanhld161@gmail.com, [4]duchai09011997@gmail.com

Аннотация

Постановка проблемы. В данной работе представлен комбинированный метод диагностики блоков бортовых радиоэлектронных средств космических аппаратов, основанный на применении виброударных воздействий и модели глубокого обучения. Модели конструктивного дизайна были построены в SolidWorks, после чего анализировалась их динамическая реакция при наличии различных дефектов. Разработан алгоритм глубокого обучения для автоматической диагностики дефектов, основанный на сравнении амплитудно-частотных характеристик отклика и сверточной нейронной сети. Метод был апробирован как на данных моделирования, так и на экспериментальных данных.

Цель. Целью данной работы является разработка и экспериментальная верификация комбинированного метода диагностики конструктивных дефектов блоков бортовых радиоэлектронных средств, основанного на применении виброударных воздействий и алгоритмов глубокого обучения, с целью повышения достоверности и автоматизации процессов технического контроля.

Результаты. Разработан программно-аппаратный подход, реализующий диагностику на основе анализа амплитудно-частотных характеристик, полученных при вибрационных и ударных воздействиях. Создана модель глубокого обучения на базе сверточной нейронной сети, способная классифицировать шесть типов конструктивных дефектов и нормальное состояние с точностью более 95%. Проведены испытания как на синтетических, так и на экспериментальных данных, подтвердившие эффективность предложенного метода.

Практическая значимость. Предложенный метод обеспечивает высокую чувствительность к трудновыявляемым дефектам, позволяет автоматизировать диагностику и может быть адаптирован к различным типам радиоэлектронных блоков. Он обладает потенциалом для внедрения в контрольно-измерительные системы при производстве и техническом обслуживании космических аппаратов, а также для реализации онлайн-диагностики в реальном времени на борту.

Ключевые слова

Диагностика дефектов; виброударные воздействия; амплитудно-частотные характеристики; сверточная нейронная сеть; глубокое обучение; бортовая электроника; структурное моделирование; SolidWorks.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Современные бортовые устройства на космических аппаратах требуют высокой надежности и устойчивости к отказам. Однако в процессе производства и эксплуатации могут возникать структурные дефекты в блоках радиоэлектронных средств, что может повлиять на их стабильность и работоспособность. Наиболее распространенные дефекты включают: отсутствие компонентов, деформацию, неправильную установку, ослабление креплений, неоднородность материала печатной платы и наличие посторонних элементов.

Диагностика этих дефектов осложняется экстремальными условиями эксплуатации и ограничениями традиционных методов контроля. Существующие методы обычно используют либо вибрационные, либо ударные воздействия, что не всегда гарантирует необходимую чувствительность для выявления всех типов дефектов. В данной статье предлагается комбинированный подход, который включает вибрационные и ударные воздействия (виброударные воздействия), а также анализ амплитудно-частотных характеристик с применением глубокого обучения, что позволяет значительно повысить точность обнаружения трудных для выявления дефектов.

Структура исследования и методология

Математическое моделирование блоков

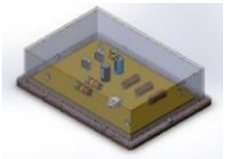
Конструкции блоков радиоэлектронных средств были смоделированы в SolidWorks с учетом типичных особенностей монтажа, материалов и геометрии. В модуле SolidWorks Simulation проводились динамические нагрузки с учетом вибрационных и ударных воздействий, а также регистрировались соответствующие отклики системы для каждого состояния при наличии дефектов.

Для каждого типа дефекта был создан отдельный модельный конфигуратор для анализа изменений в отклике системы. Моделирование позволило получить амплитудно-частотные характеристики отклика (АЧХ) при различных условиях воздействия.

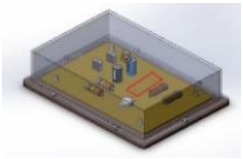
Типы дефектов в процессе производства и эксплуатации

Исследование охватывает шесть основных типов дефектов:

- Отсутствие электрорадиоизделия
- Деформация к электрорадиоизделия
- Неправильная установка компонентов
- Ослабление крепежных соединений
- Неоднородность материала печатной платы
- Наличие посторонних элементов



Исправное состояние

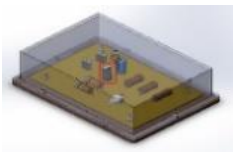


Дефект А – Отсутствие электрорадиоизделия

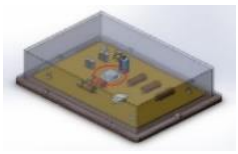
Дефект Б –



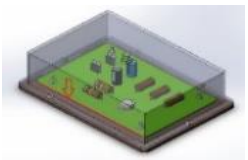
Ослабление крепежа



Дефект В - Деформация электрорадиоизделия



Дефект Г - Наличие посторонних элементов



Дефект Д - Неоднородность структуры материала печатных платов

Каждый из дефектов оказывает различное влияние на амплитудно-частотные характеристики отклика, особенно в области резонансных частот.

Комбинированный метод испытаний

Результаты показали, что при использовании только вибрационных воздействий дефекты, такие как деформация или ослабление крепежа, выражаются слабо в спектре. Введение ударных воздействий высокой интенсивности позволяет усилить различия в спектре, что облегчает диагностику дефектов. Таким образом, комбинированный подход обеспечивает более полное покрытие дефектов и повышает достоверность диагностики.

Разработка модели диагностики с использованием глубокого обучения для классификации и определения дефектов структуры блоков радиоэлектронных средств

Формирование обучающих данных

Спектры амплитудно-частотных характеристик отклика представлены в виде двумерных массивов: ось частоты и ось амплитуды. Эти матрицы использовались как обучающие данные для нейросети. База данных включала как синтетические данные, полученные из моделирования, так и экспериментальные данные с физического образца устройства.

Таблица 1. Набор значений амплитудной частоты, соответствующих различным техническим состояниям

Исправное состояние		Дефект А		Дефект Б		Дефект В		Дефект Г		Дефект Д		Дефект Е	
Частота (Гц)	Амп-да (м/с2)	Частота (Гц)	Амп-да (м/с2)	Частота (Гц)	Амп-да (м/с2)	Частота (Гц)	Амп-да (м/с2)	Частота (Гц)	Амп-да (м/с2)	Частота (Гц)	Амп-да (м/с2)	Частота (Гц)	Амп-да (м/с2)
1.59E-06	3.68E-19	1.59E-06	1.02E-20	1.59E-06	4.42E-19	1.59E-06	3.76E-19	1.59E-06	4.31E-19	1.59E-06	7.53E-20	1.59E-06	6.72E-20
9.5299	1.32E-05	8.0719	2.62E-07	7.7794	1.06E-05	7.8737	9.19E-06	7.9802	1.08E-05	8.0338	1.92E-06	4.8555	6.26E-07
19.06	5.27E-05	16.53	1.10E-06	15.931	4.43E-05	16.124	3.85E-05	16.342	4.54E-05	16.452	8.05E-06	9.9432	2.62E-06
28.59	0.000119	25.436	2.60E-06	24.514	0.000105	24.811	9.13E-05	25.147	0.000108	25.315	1.91E-05	15.3	6.21E-06
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
1952.5	0.67119	1962	0.042603	1959	0.69475	1959	0.63026	1959.1	0.56997	1964.1	0.11486	1929.4	0.035886
1968.3	0.65905	1975.3	0.041382	1973.3	0.68391	1973.4	0.62018	1973.4	0.56184	1976.7	0.11269	1954.1	0.035644
1984.2	0.64761	1987.9	0.0403	1987	0.67413	1987	0.61109	1987	0.55449	1988.6	0.11074	1977.6	0.035425
2000	0.6368	2000	0.039332	2000	0.66523	2000	0.60282	2000	0.5478	2000	0.10898	2000	0.035226

Архитектура нейронной сети

Для распознавания дефектов использовалась сверточная нейронная сеть (CNN), способная автоматически извлекать релевантные признаки из спектральных данных. Архитектура сети включает:

- 3 сверточных слоя с функцией активации ReLU и пулингом
- 1 слой нормализации
- 2 полносвязных слоя для классификации
- Выходной слой с softmax для классификации 6 типов дефектов и одного состояния без дефекта

Сеть обучалась с использованием алгоритма Adam, а функция потерь использовала кросс-энтропию. В процессе обучения применялись регуляризация и ранняя остановка.

Разработка программы для синтеза диагностики

Для повышения точности при проведении экспериментов была разработана программа для синтеза диагностики с использованием виброударных воздействий. Программа была построена на основе следующей блок-схемы:

1. Сбор данных отклика

Сигналы отклика от вибрационных и ударных воздействий собираются через установленные на тестовом образце датчики. Эти сигналы затем обрабатываются и преобразуются в данные амплитуды-частоты.

2. Предобработка данных

Полученные данные фильтруются и нормализуются для удаления шумов и ненужных факторов. Нормализация помогает улучшить точность процесса обучения и классификации

3. Анализ амплитудно-частотных характеристик

Данные анализируются для определения выдающихся характеристик частоты и амплитуды, особенно тех, которые резко изменяются из-за дефектов.

4. Программирование распознавания дефектов

Создание модели глубокого обучения с использованием Keras:

- Слои Dense с функцией активации ReLU для скрытых слоев.
- Последний слой с Softmax для многоклассовой классификации.

5. Оценка модели

Модель оценивается с использованием confusion matrix для анализа результатов классификации.



Рис. 1. Алгоритм глубокого обучения для решения задач идентификации и классификации неисправностей конструкции

Fig. 1. Deep learning algorithm for solving problems of identification and classification of structural faults

Результаты обучения

После обучения на расширенной выборке, включая данные с различным уровнем шума, модель показала точность классификации более 95%. Особенно значительное улучшение точности наблюдается по сравнению с методами, использующими только вибрационные данные. Комбинированный метод виброударных воздействий улучшает точность на 10% в случаях деформации и ослабления крепежа.

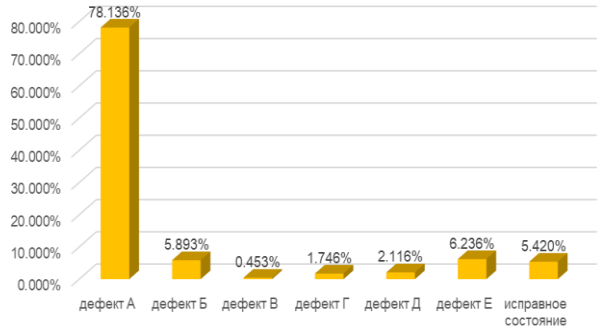


Рис. 2. Вероятности возникновения дефектов, соответственные разным техническим состоянием (Дефект А)

Fig. 2. Probabilities of occurrence of defects corresponding to different technical conditions (Defect A)

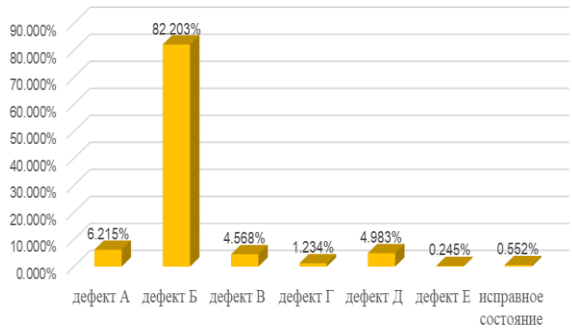


Рис. 3. Вероятности возникновения дефектов, соответственные разным техническим состоянием (Дефект Б)

Fig. 3. Probabilities of occurrence of defects corresponding to different technical conditions (Defect B)

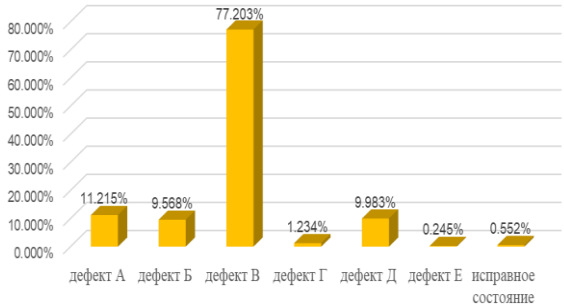


Рис. 4. Вероятности возникновения дефектов, соответственные разным техническим состоянием (Дефект В)

Fig. 4. Probabilities of occurrence of defects corresponding to different technical conditions (Defect V)

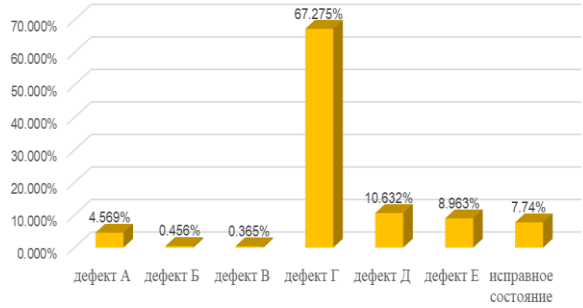


Рис. 5. Вероятности возникновения дефектов, соответственные разным техническим состоянием (Дефект Г)

Fig. 5. Probabilities of occurrence of defects corresponding to different technical conditions(Defect G)

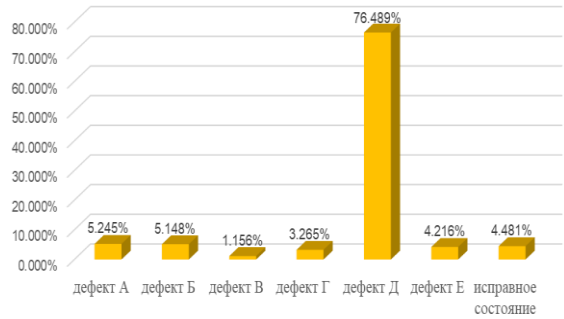


Рис. 6. Вероятности возникновения дефектов, соответственные разным техническим состоянием (Дефект Д)

Fig. 6. Probabilities of occurrence of defects corresponding to different technical conditions (Defect D)

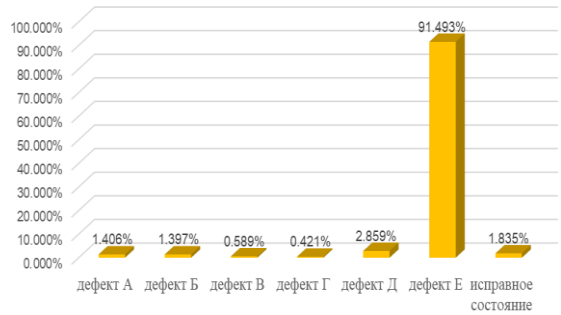


Рис. 7. Вероятности возникновения дефектов, соответственные разным техническим состоянием (Дефект Е)

Fig. 7. Probabilities of occurrence of defects corresponding to different technical conditions (Defect E)

Заключение

Предложенный комбинированный метод диагностики, основанный на виброударных воздействиях и анализе амплитудно-частотных характеристик с использованием нейросетевых алгоритмов, позволяет эффективно выявлять широкий спектр структурных

дефектов радиоэлектронных блоков. Метод продемонстрировал высокую точность как на моделированных данных, так и на реальных данных.

Список источников

1. *Увайсов С.У., Долматов А.В., Во Т.Х., Лу Н.Т., Нгуен К.Д.* Диагностика нарушений целостности конструкций бортовой радиоэлектронной аппаратуры при проведении ударных испытаний. Technol. J. 2024. No 2. С. 28-38
2. *Увайсов Р.И.* Метод диагностики дефектов бортовых радиотехнических устройств // Дисс. канд. Sci. (Eng.). М.: МИЭМ, 2008. 157 с
3. *Т.Х. Во, А.В. Долматов, Н.Т. Лу, К.Д. Нгуен, С.У. Увайсов.* Алгоритм учета вариаций технологических параметров конструкции для диагностирования бортовой космической аппаратуры // Научные исследования: результаты и перспективы. 2023. No 4. С. 32-37.
4. *Долматов А.В., Фам С.Х., Во Т.Х., Увайсов Р.М.* Анализ влияния температуры и фактора старения на сопротивление резистора при проведении ускоренных испытаний. Инновационные, информационные и коммуникационные технологии сборник трудов XXI Международной научно-практической конференции. Москва, 2024. 2024. – 159 – 163 с.
5. *С. У. Увайсов, А. В. Долматов, Хай Тхе Во, Нгок Тьен Лу, Конг Дык Нгуен.* Диагностика нарушений целостности конструкций бортовых радиоэлектронных средств при проведении ударных испытаний // Российский технологический журнал: 2024; 12(2):28-38. https://doi.org/10.32362/2500-316X-2024-12-2-28-38
6. *Во Тхе Хай, Долматов А. В., Нгуен Минь Туонг*. Исследование амплитудно-частотных характеристик опытного образца блока бортовой космической аппаратуры // Мехатроника, автоматика и робототехника. - 2024. - No 13: 170-181. https://doi.org/10.26160/2541-8637-2024-13-179-181

METHODS OF ADAPTIVE REJECTION OF SIGNAL AUDIO INTERFERENCE

Vo The Hai[1], Dolmatov A.V.[2], Pham Xuan Hanh[3], Nguyen Duc Hai[4]
[1–4] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1]thehai.ttrd@gmail.com, [2]dolmatov@mirea.ru, [3]phamxuanhanhld161@gmail.com, [4]duchai09011997@gmail.com

Abstract

This paper presents a combined method for diagnosing spacecraft onboard electronic units based on the use of vibration and impact effects and a deep learning model. Structural design models were built in SolidWorks, after which their dynamic response was analyzed in the presence of various defects. A deep learning algorithm for automatic defect diagnostics was developed based on a comparison of the amplitude-frequency characteristics of the response and a convolutional neural network. The method was tested on both modeling and experimental data.

Keywords

Fault diagnostics; vibration impact; amplitude-frequency characteristics; convolutional neural network; deep learning; on-board electronics; structural modeling; SolidWorks.

УДК 621.317.08

ИДЕНТИФИКИЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В СВЧ ДИАПАЗОНЕ

А.П. Костик [1]
[1] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] a.p.kostik@yandex.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Каждый материал обладает уникальным наборов электрических параметров, которые зависят от его диэлектрических свойств. Точное измерение этих параметров дает учёным и инженерам ценную информацию, позволяющую оптимальным образом использовать эти материалы в разрабатываемых устройствах или контролировать процессы изготовления, обеспечивая более высокое качество.

Цель. Проанализировать возможность создания алгоритма идентификации параметров материалов для прогнозирования диэлектрической и магнитной проницаемостей.

Результаты. В рамках исследования сформировалось предположение, что измеряя диэлектрическую проницаемость и магнитную проницаемость возможно узнать зависимость параметров материала, и с помощью обратной задачи прогнозировать необходимые характеристики при моделировании.

Практическая значимость. Основываясь на полученных результатах, были выявлены возникшие проблемы в реализации предполагаемого алгоритма.

Ключевые слова

Диэлектрический материал, идентификация параметров материалов, диэлектрическая проницаемость, магнитная проницаемость.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Специалисты из различных отраслей промышленности стремятся глубже разобраться в свойствах материалов, с которыми работают, поскольку это помогает сократить сроки проектирования, улучшить контроль на этапе входных материалов, а также мониторинг технологических процессов и контроля качества.

Измерение свойств диэлектрических материалов может предоставить крайне полезную информацию для множества электронных приложений. Например, потери в изоляции кабелей, сопротивление подложек или частота диэлектрического резонатора напрямую связаны с их диэлектрическими характеристиками. Эта информация также актуальна для улучшения свойств ферритов, керамики, поглотителей излучения и конструкций корпусов. В современных приложениях, таких как аэрокосмическая, автомобильная, пищевая и медицинская промышленность, знание диэлектрических свойств также открывает множество преимуществ [1].

Основные параметры диэлектрический материалов

Ключевыми электродинамическими параметрами являются диэлектрическая проницаемость (ε) и магнитная проницаемость (μ) [1].

Диэлектрическая проницаемость оказывает прямое влияние на скорость распространения электромагнитных волн через материал, что, в свою очередь, определяет его частотные характеристики. Материалы с низкой диэлектрической проницаемостью предпочитаются, где требуется высокая скорость передачи сигнала.

Материалы с высокой магнитной проницаемостью используются для экранирования чувствительных к магнитным полям устройств, так как они способны перенаправлять магнитные поля, снижая их воздействие на защищаемую область.

Важно отметить, что диэлектрическая и магнитная проницаемость не являются константами. Они могут изменяться в зависимости от частоты, температуры, ориентации, давления, состава и молекулярной структуры материала.

Методы измерения электромагнитных параметров

Для измерения электромагнитных характеристик материала необходимо измерить S-параметры, для дальнейшего преобразования. Для проведения данных измерений необходим векторный анализатор цепей, техническая оснастка и программное обеспечения для вывода результатов. Вычисления как диэлектрической, так и магнитной проницаемости с помощью измеренных S-параметров, предлагается использовать метод Николсона-Росса-Вейра (NRW) [2, 3].

Однако для твердых материалов существуют 4 наиболее частно использующихся метода: метод коаксиального пробника, метод линии передач, метод свободного пространства, резонаторных метод.

Метод коаксиального пробника — это ненагруженный коаксиальный пробник, который представляет собой линию передачи со срезом на одном конце. Параметры материала измеряются путём прикосновения им к плоской поверхности материала. Главными недостатками метода является возможность определения только диэлектрической проницаемости и ограниченная точность [4].

Метод линии передач заключается в измерении всех четырех S-параметров отрезка линии передачи, заполненного воздухом и содержащего исследуемый образец. Также выполняется измерение группового времени задержки сигнала для устранения неоднозначности в определении фазы. В данном методе возможно использовать как волноводную, так и коаксиальную линию передач [4].

Метод свободного пространства заключается в измерении комплексных коэффициентов передачи (S21) и отражения (S11) при прохождении тестового сигнала, излучаемого антеннами через исследуемый листовой материал. Метод оптимален для неразрушающего контроля листовых материалов большой площади или первичной оценки пригодности материалов [5].

В резонаторном методе центральным узлом измерительной установки является резонатор прямоугольного сечения, связанный с питающей линией посредством элемента связи. Данный метод наиболее точный, однако измерения возможно проводить только в узкой полосе частот [5].

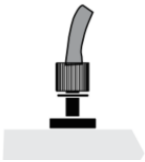


Рис. 1. Схема метода коаксиального пробника
Fig. 1. The scheme of the coaxial probe method

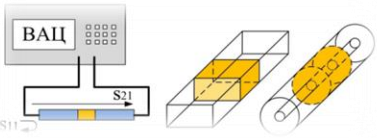


Рис. 2. Схема метода линии передач
Fig. 2. The scheme of the transmission line method

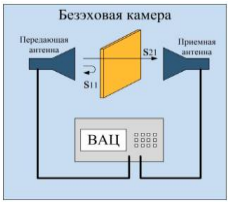


Рис. 3. Схема метода свободного пространства
Fig. 3. The scheme of the free space method

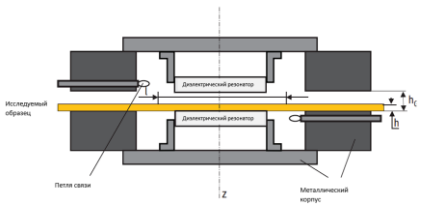


Рис. 4. Схема резонаторного метода
Fig. 4. The scheme of the resonator method

Перспективы исследования

Для ускорения, упрощения моделирования устройств, а также для прогнозирования изменения свойств материала предлагается создать алгоритм, который будет основываться на обратной задаче преобразования характеристик. Предполагается что, если провести измерения

образцов одного материала с различным составом и набором характеристик, возможно будет найти зависимость изменения электродинамических характеристик.

Для СВЧ устройств наиболее востребованы ферриты и керамика, так как они используются в ВЧ фильтрах, монолитных интегральных схемах и тд. Поэтому в рамках исследования планируется измерять параметры, одного из предложенных материалов.

Для увеличения точности выходных значений будут использованы методы параметрической оптимизации и эвристические методы. В дальнейшем будут рассматриваться возможности прогнозирования параметров, с помощью алгоритмов машинного обучения путем решения задач классификации, регрессии, оценки вероятности, сортировки и отбора данных.

В качестве технической оснастки наиболее подходящий для исследования метод волноводной линии передачи или метод свободного пространства, так как данные методы позволяют проводить измерения в широкой полосе частот. Однако для метода линии передачи для увеличения точности измерений, необходимо учитывать зазор между образцом и волноводом [6].

Заключение

В данной работе сформировалась предположение, что с помощью измерения S-параметров диэлектрических материалов, возможно создать алгоритм, который поможет создавать модели материалов для разработки новых устройств с необходимыми характеристиками диэлектрической и магнитной проницаемостей.

Для создания данного алгоритма потребуется провести ряд измерений с материалом одного вида с разными характеристиками с помощью метода линии передач или свободного пространства для нахождения зависимостей.

Список источников

1. *Брант А.А.* Исследование диэлектриков на сверхвысоких частотах. – М.: Физматгиз.
2. *Nicolson A.M., Ross G.F.* Measurement of intrinsic properties of materials by time domain techniques / A.M. Nicolson, G.F. Ross // Trans. On Instrumentation and Measurements — 1970 — Vol. 19 (4). — P. 377-382
3. *Chen L.F.* Microwave electronics. Measurements and materials characterization / L.F. Chen, C.K. Ong, C.P. Neo, V.V. Varadan, V.K. Varadan — John Wiley & Sons, 2004. — 552 p.
4. *Keysight,* Решения для измерения диэлектрической и магнитной проницаемости с помощью измерителей иммитанса и анализаторов импеданса – 5980-2862EN, 28 октября 2008 г
5. *Фомин Д.Г., Дударев Н.В., Даровских С.Н.* Анализ методов измерения диэлектрических свойств материалов в СВЧ диапазоне длин волн. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2021. №6. https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.6.6
6. *Алексеенков В.И., Богомолова Е.А., Васильев В.И., Галецкий А.В.* Определение параметров диэлектриков в диапазоне свч на основе экспериментальных данных и параметрической оптимизации. Сборник докладов VIII Всероссийской научно-техническая конференции «Электроника и микроэлектроника СВЧ». 2019 г. 164-168 р.

IDENTIFICATION OF PARAMETERS OF DIELECTRIC MATERIALS IN THE MICROWAVE RANGE

A.P. Kostik
MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
a.p.kostik@yandex.ru

Abstract

The article discusses the possibility of creating an algorithm where, by measuring the S-parameters of dielectric materials, it will be possible to develop models of materials for designing new devices with the required dielectric and magnetic permeability characteristics. Additionally, it will allow for the prediction of these characteristics based on known parameters.

Keywords

Dielectric material, identification of material parameters, dielectric permittivity, magnetic permeability.

УДК 621.398; 629.05

ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ПО ВЫСОКОСКОРОСТНЫМ РАДИОКАНАЛАМ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЭКОНОМИЧНОГО ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО КОДИРОВАНИЯ

Г.В.Светлов [1], С.С. Кукушкин [2], Л.С.Кукушкин [3], Ф.С.Махов [4]
[1-3] АО «РПТП «Гранит», (Рязань, Россия)
[4] БГТУ (Белгород, Россия)
E-mail: [1-3] office@rptp.org; [4] 1fmakhov@gmail.com

Аннотация

Постановка проблемы. Объёмы данных, передаваемых по высокоскоростным каналам связи, быстро растут, что создаёт противоречие с ограничениями полосы пропускания и энергетическим бюджетом. Увеличивается также уровень помех различного происхождения. В таких условиях существующие методы помехоустойчивого кодирования теряют свою эффективность, что требует их модернизации и разработки экономичных кодов с высоким коэффициентом сжатия на символьном уровне. В качестве решения предлагается использовать более экономичную систему счисления и представления передаваемых данных.

Цель. Разработать систему экономичного помехоустойчивого кодирования, которая не потребовала бы значительных затрат на разработку и была бы совместимой с существующими информационными технологиями. Оценить её эффективность и возможность применения.

Результаты. Разработан научно-методический подход для синтеза сжатых многокаскадных помехоустойчивых кодов, который значительно повышает помехозащищённость высокоскоростной информации, передаваемой по радиоканалам. Используются новые структурно-алгоритмические представления, учитывающие особенности передаваемых данных. Дополнительное кодирование сообщений образами-остатками (система остаточных классов, СОК) решает проблемы передачи и восстановления информации. Новый подход обеспечивает комплексный эффект: на первом этапе происходит обнаружение и исправление ошибок в искажённой информации, на втором – значительное уменьшение шумовой составляющей помехи по сравнению с существующими методами фильтрации. Оценена эффективность предложенных решений и определены востребованные области их применения.

Практическая значимость. Заключается в значительном расширении возможностей помехоустойчивого кодирования, охватывающем не только защиту информации в каналах связи, но и её хранение, переработку и подготовку к передаче, включая воздействие космического излучения и другие факторы длительного функционирования. Разработанные методы и технологии помехоустойчивого кодирования в СОК формируют новый подход к обработке информации, ранее считавшейся негодной из-за высокого уровня помех.

Ключевые слова

Передача высокоскоростной информации, достоверность получаемых данных, обеспечение комплексной их защиты.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Эффективность использования космической аппаратуры (КА), в основном, определяется существующими у неё возможностями передачи и обмена информацией по радиолиниям. Чем больше объём передаваемой информации и меньше затрачиваемое на это время, тем выше рентабельность использования космических средств (КС). Но в то же время существуют ограничения в виде пропускной способности радиолиний связи (Δf) и энергетического бюджета (Э), который можно было бы истратить на передачу информации [1-5]. Также быстро увеличивается помеховый фон, влияние которого приводит к случайному неконтролируемому уменьшению полосы пропускания - Δf. Борьбу с помехами осуществляют путём помехоустойчивого кодирования, однако возможности его эффективного применения ограничены вероятностью искажения бит ($P_б$), имеющей границу: $P_б \leq 10^{-2}$ [2-5,7-10]. Чем меньше по сравнению с ней текущее значение $P_{бр}$, тем выше эффективность применения существующих помехоустойчивых кодов. Но объективная реальность такова, что этот

показатель стремительно приближается к граничному значению для космических радиолиний и превышает его у аппаратуры, использующей другие радиоканалы связи. В последнем случае появляется острая потребность в получении информации с требуемыми показателями её помехозащищённости при значениях $P_б \leq 10^{-1}$. Как показывает практика при радиоэлектронном противоборстве (РЭП), пороговое значение $P_б = 10^{-1}$ следует рассматривать, как новую данность, в условиях которой необходимо научиться работать. В статье предлагается решение этой проблемы, которое связано с таким новым научным направлением, как синтез экономных помехоустойчивых кодов, отличающихся при помехоустойчивой передаче информации минимумом ($n_и$) вводимых избыточных символов. Проведенные исследования показывают, при каких условиях $n_и$ может быть равно 0: $n_и = 0$. Это случай безызбыточных помехоустойчивых кодов. Оказывается, что такой уникальной возможности можно достичь на основе перехода от существующего представления информации натуральным двоичным кодом к более экономичным система счисления.

На рис. 1 в иллюстративной форме представлена проблема передачи информации, на решение которой направлены выполненные исследования. Существующую научно-методическую основу решения проблем передачи информации составляет классическая теория помехоустойчивого кодирования [3,4]. То, что она не вполне отвечает потребностям практики, известно давно. Эти мысли высказывались выдающимся отечественным учёным Л.М. Финком [1], которому принадлежит идея непрерывных свёрточных кодов, и его ученику С.А. Осмоловскому [7]. Классическое помехоустойчивое кодирование [2-4] не обладает возможностью приспособления к специфическим особенностям передаваемой информации и изменяющимся условиям передачи. В этом сразу же чувствуется стремление к чрезмерной универсальности существующих подходов к кодированию и шифрованию. А за «универсальность» в соответствии с законами Природы, придётся расплатиться потерей эффективности.

Предлагаемые методы решения задачи и принятые допущения

В настоящее время по каналам связи передаются цифровые данные с требованиями, предъявляемыми к повышению, полноты, целостности и достоверности передаваемой информации, которые чрезвычайно быстро растут. Возможность их удовлетворения на основе известных методов и технологий практически исчерпана. При этом, как и ранее, основным средством борьбы с помехами остаётся применение помехоустойчивого кодирования [2-4]. Но существующая теория помехоустойчивого кодирования и практика его применения требует развития. Её прикладное использование уже не отвечает возросшим потребностям пользователей.



Рис. 1. Постановка научной проблемы с определением основных ожесточающихся её противоречий
Fig. 1. The formulation of a scientific problem with the definition of its main growing contradictions

В настоящее время разработано множество различных проблемно-ориентированных направлений совершенствования помехоустойчивого кодирования. Одно из них связано с нетрадиционным представлением данных и сообщений образами-остатками [5]. Особенности такого дополнительного кодирования и появляющиеся при этом новые свойства представлены в иллюстрационном виде на рис. 2. На нём представлены в виде графиков значения X_i передаваемых данных телеизмерений (ТИ), представленных (N = 2n) – разрядными двоичными словами, где N = 10, а n = 5, и результаты дополнительного их кодирования $C_i = <b_{1i} (mod\ m_1), b_{3i} (mod\ m_3)>_2$ (здесь обозначение $<.>_2$ является свидетельством использования двоичного кодирования), которые получены путём формального объединения образов-остатков: $b_{1i}\ (mod\ m_1)$ и $b_{3i}\ (mod\ m_3)$ в новое кодовое слово с той же разрядностью представления N = 2n. Здесь также необходимо отметить о присутствии в неявном виде результатов сравнения по модулю m_2. Им в соответствии со свойствами двоичного кода является значение младшего n – разрядного полуслова ($a_{млi}$) исходного сообщения $X_i = <a_{cmi}, a_{млi}>_2$: $a_{млi} = b_{2i}\ (mod\ m_2)$, где $m_2 = 2^n = 32$. При этом модули m_1 и m_3 определены равными: $m_1 = 2^n - 1 = 31$ и $m_3 = 2^n + 1 = 33$. Оптимальными они являются потому, что произведение модулей сравнения: $m_1 \times m_3 = (2^n - 1)(2^n + 1) = 2^{2n} - 1$ перекрывает диапазон $(0 - (2^N - 1))$ однозначного представления данных (N = 2n) – разрядными двоичными словами X_i. Это означает, что при определённых условиях обеспечивается на приёмной стороне однозначное обратное восстановление значений X_i, что и требуется для реализации безызбыточного помехоустойчивого кодирования. В случае применения предлагаемого метода дополнительного кодирования на основе системы остаточных классов (СОК), вместо традиционной формулы представления значения числа X_i, представляющего собой результат кодирования сообщений:

$$X_i = m_j \cdot l_i + b_{ji}, \qquad (1)$$

используется её сжатая запись в виде сравнения [5]:

$$X_i \equiv b_{ji} \ (mod \ m_j), \qquad (2)$$

где b_{ji} – образ-остаток, полученный в результате операции сравнения X_i по модулю m_j (он представляет собой значение остатка, полученного при делении числа X_i на число m_j, при этом символ « ≡ » означает «тождественное равенство») [5].

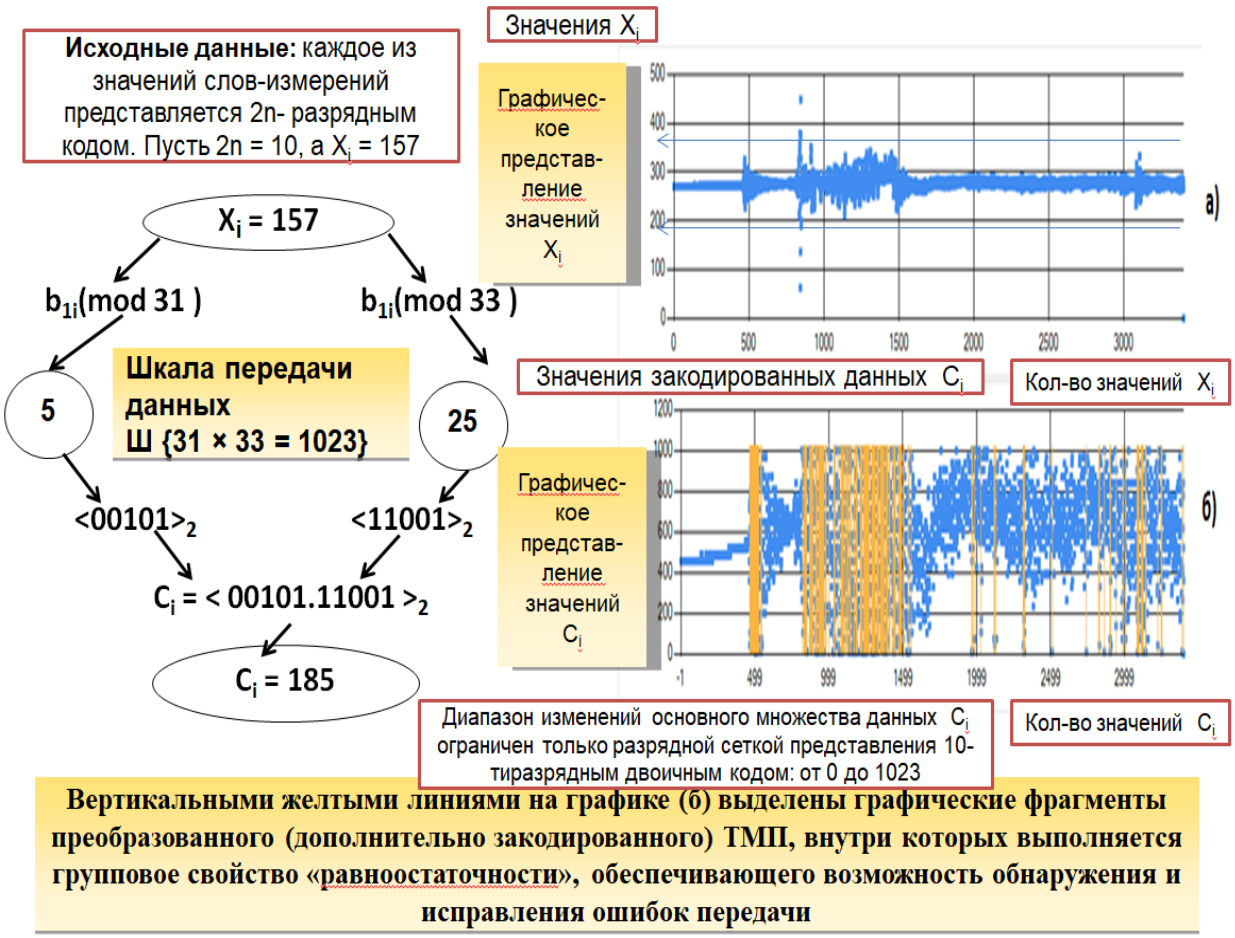


Рис. 2. Иллюстрация основополагающих принципов безызбыточного помехоустойчивого кодирования с использованием образов-остатков и отличительных особенностей его проявления в результате предлагаемых структурно-алгоритмических преобразований телеметрируемого параметра

Fig. 2. Illustration of the fundamental principles of noise-free noise-resistant coding using residual images and the distinctive features of its manifestation as a result of the proposed structural and algorithmic transformations of the telemetered parameter.

В сжатой математической записи (2) нет неполного частного l_i, присутствующего в формуле (1). Эта особенность может быть использована и при кодировании информации: присутствующая в неявном виде при использовании существующих методов передачи информация о неполном частном l_i (1) исключается при использовании для этой цели результата дополнительного кодирования на основе системы образов-остатков b_{ji}. Далее в соответствии с математической теорией конечных полей [5] можно перейти, руководствуясь простейшей логикой синтеза новых инновационных информационных технологий и технических решений, к системе сравнений по нескольким модулям сравнения, например, $m_1 = 2^n - 1$, $m_2 = 2^n$, $m_3 = 2^n + 1$. Тогда вместо системы уравнений, использующей формализованное описание (1), получаем более экономичную систему счисления [6] в виде сравнений (2):

$$\begin{aligned} X_i \ & b_{1i} \ (mod \ m_1), \\ Xi \ & b_{2i} \ (mod \ m_2), \\ X_i \ & b_{3i} \ (mod \ m_3). \end{aligned} \qquad (3)$$

Если использовать для передачи только два образа-остатка b_{1i} и b_{3i}, то результат дополнительного кодирования $C_i = <b_{1i}, b_{3i}>_2$ имеет ту же разрядность двоичного представления N = 2n, что и исходное сообщение X_i (рис. 3). При этом результат кодирования $C_i(k\Delta T)$ составлен из их двух образов-остатков $b_{1i}(k\Delta T)$ и $b_{2i}(k\Delta T)$, где ΔT – интервал дискретизации аналогового процесса, а k = 0,1,2,… - счётное множество, формально объединенных в новое двоичное кодовое слово $C_i(k\Delta T) = b_{1i}(k\Delta T) \vee b_{2i}(k\Delta T)$ той же разрядности: (N = 2n = 10). При этом в результате дополнительного безызбыточного кодирования результатов телеизмерений (ТИ) появляются новые свойства: 1) метрологическая шкала ТИ (представления данных $C_i(k\Delta T)$ (Ш = 0 - 1023)) совпадает со шкалой, которая определяется разрядностью (N) кодовых слов, в то время, как ее исходное значение, определяемое множеством данных $X_i(k\Delta T)$ находится в пределах |200-380| = 180, в результате этого разрешающая способность графического отображения ТМП повышена в k = 1023/180 = 5,6 раз; 2) увеличено в $m_3 = 2^n + 1$ раз минимальное кодовое расстояние (d_{min}) в метрике Евклида между соседними значениями закодированных значений ТМП, заключенными между разрывами, выделенными вертикальными «желтыми» линиями (рис. 3).

Увеличение минимального кодового расстояния (d_{min}) в соответствии с теорией свидетельствует о появившейся способности обнаруживать и исправлять ошибки передачи информации. Но в рассмотренном случае увеличение d_{min}, представленное в метрике Еаклида, произойдёт не везде, а только только внутри выделенных временных интервалов, заключенных между соседними «желтыми» линиями (рис. 2).

Факт появления разрыва, обозначенного на рис. 2 вертикальной желтой линией, определяют на приёмной стороне на основе выполнения условий следующего неравенства:

$$\Delta C_i = |C_i - C_i + 1| \geq 0{,}8 \times 2^N . \quad (4)$$

Внутри временных интервалов, заключенных между соседними разрывами (4), выполняется уникальное *свойство групповой равноостаточности.* Оно заключается в том, что любое правильно принятое дополнительно закодированное значение сообщения C_i, принадлежащее выделенному временному интервалу, будучи поделенным на минимальное кодовое расстояние d_{min}, даст один остаток ξ_i (ξ_i = Const), если оно не было искажено при передаче. В общем случае при наличии помех и искажений, которые ими вызваны, остатки от деления значений $C_i^* = C_i + \varepsilon_i$, где ε_i – ошибка, на d_{min} становятся случайными величинами. Тогда *свойство равноостаточности*, соответствующее ξ_i = Const для детерминированного случая (случая отсутствия помех (рис. 3(А)), определяется, как мода распределения ξ_i^*: $Mo[\xi_i^*]$ (рис. 3(Б)).

В результате этого из потока принимаемых дополнительно закодированных значений C_i^* выделяют своеобразный эталон (инвариант) в виде $Mo[\xi_i^*]$(рис. 4(Б)), имеющий такую же синхронную форму представления, как и значения параметров $X_i(k\Delta T)$ и $C_i(k\Delta T)$. Благодаря чему местоположение ошибки точно устанавливается (рис. 3(Б)), а, она сама, в последующем, исправляется. Выделенный таким образом, инвариант, становится основным элементом внедрения в систему передачи данных (СПД) искусственного интеллекта. Его появление и возможность выделения из переданных потоков данных является следствием наличия естественной избыточности в передаваемой информации. При этом избыточность связана не только с традиционным повторением результата измерений. Она приобретает расширенную форму проявления, в том числе и отражает факт наличия корреляционной взаимосвязи между соседними передаваемыми значениями.

А такая зависимость появляется, в том числе, и в виде локальных проявлений, которые встречаются при любой модели передаваемой информации [5-15].

Результаты реализации

Разработанные методы дополнительного безызбыточного помехоустойчивого кодирования данных в СОК в настоящее время активно используются при передаче и обработке телеметрической информации (ТМИ).

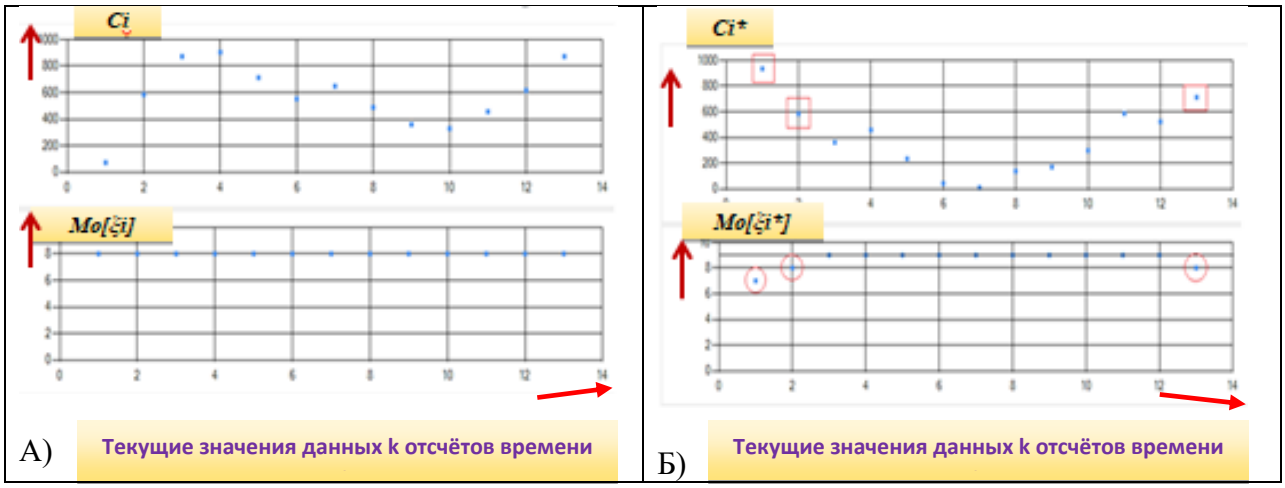


Рис. 3. Новые возможности определения наличия ошибок передачи на основе выделяемых из принимаемого потока дополнительно закодированных данных значений равноостаточности

Fig. 3. New possibilities for determining the presence of transmission errors based on the equidistance values extracted from the received stream of additionally encoded data

Эффект от их использования показан на рис. 4. Верхний график, показывает, результат приёма контролируемого ТМП на фоне помех. Нижний график демонстрирует результат обнаружения и исправления ошибок передачи на основе нового инварианта в виде «*группового свойства равноостаточности*», который получают при дополнительном кодировании данных ТИ в СОК. Исправлено 83% ошибок. Оставшиеся 17% представляют собой ошибки второго рода: они появляются из-за того, что искажённые значения данных ТИ, представленные натуральным (N= 2n = 10) – разрядным двоичным кодом, оказались на разрешённых позициях кода, разнесенных друг относительно друга на расстояние kd_{min}, где $d_{min} = m_3 = 2^5 + 1 = 33$. Исходный ТМП был бы признан непригодным для последующих расчётов и анализа ТМИ [5,11-15]. А восстановленный график значений ТМП, меняющихся во времени, уже удовлетворяет предъявляемым требованиям. Но и он сам в последующем также может быть очищен от ошибок второго рода [5,11-15]. Для этого значения восстановленного ТМП также подвергают кодированию в СОК с минимальным кодовым расстоянием, отличающимся от ранее использовавшегося при передаче: $d_{min}^{(o)} \neq m_3$.

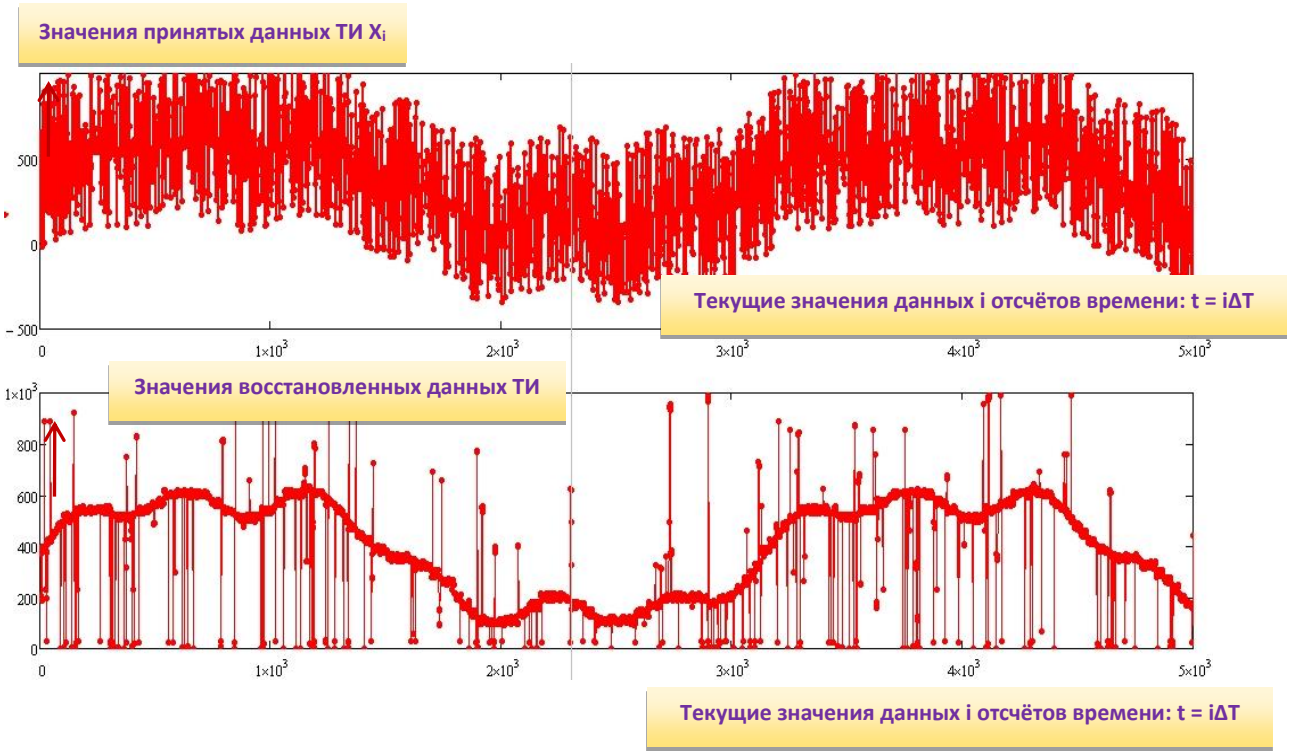


Рис. 4. Графическое представление искаженного и восстановленного телеметрируемого параметра (ТМП) (коэффициент обнаружения и исправления ошибок $k_{ош}$ = 0,83 (83%))

Fig. 4. Graphical representation of the distorted and reconstructed telemetered parameter (TMP) (error detection and correction coefficient k_{er} = 0.83 (83%))

Такой результат может быть получен при перестановке местами в $X_i = <a_{cmi}, a_{mлi}>_2$ старшего (a_{cmi}) и младшего ($a_{mлi}$) полуслов: $C_i = <a_{mлi}, a_{cmi}>_2$.

На рис. 5 и рис. 6 пример использования предлагаемого дополнительного кодирования пикселей изображений. Вверху на рис. 5 и рис. 6 показаны сами изображения до и после кодирования в СОК, а под ними значения пикселей, каждый из которых представлен (N = 8) – разрядным двоичным кодом. При этом исходное изображение (рис. 5) оказывается искусственно обезображенным (рис. 6), что может быть использования в существующих и разрабатываемых алгоритмах защиты информации от НСД, но появляются новые возможности для обнаружения и исправления ошибок передачи.

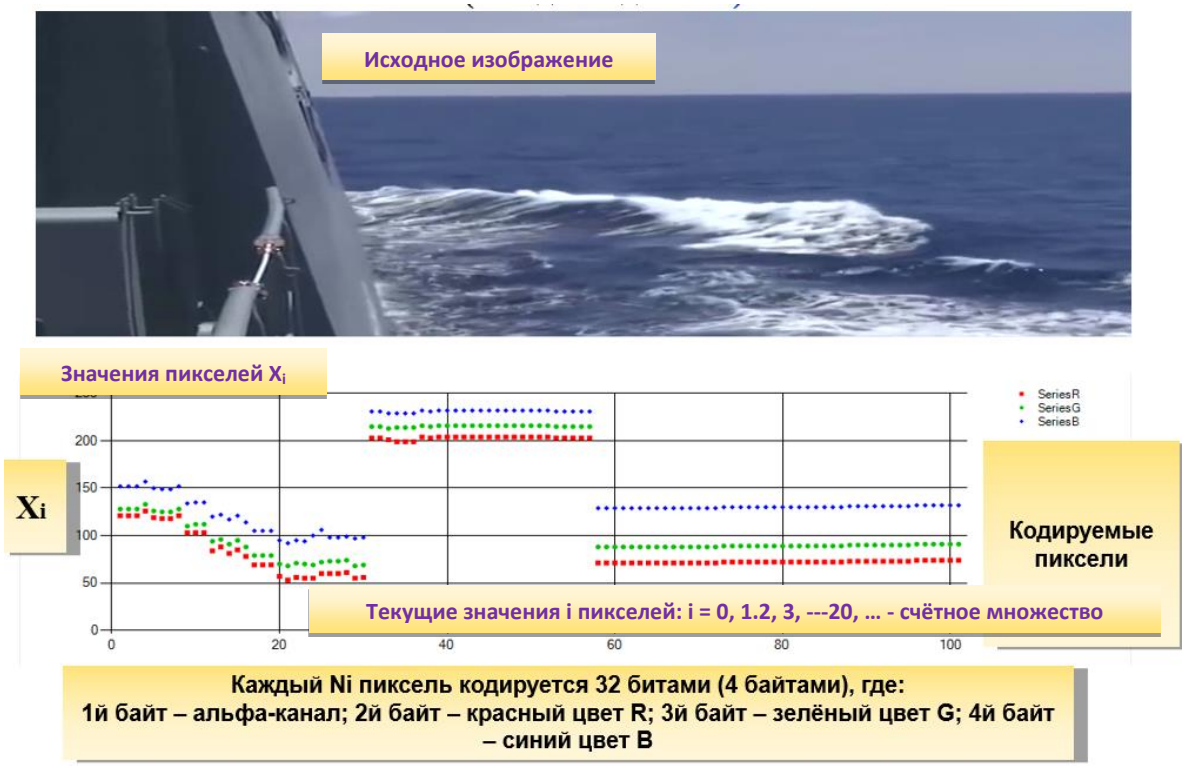


Рис. 5. Исходное представление изображения и результаты его представления пикселями
Fig. 5. The initial representation of the image and the results of its representation by pixels

Обсуждение полученных результатов и сопоставление их с ранее известными

Классическая теория помехоустойчивого кодирования [2-4,7–10] предлагает введение в передаваемый поток бит дополнительных контрольных символов. В этом заключаются её недостатки и появившиеся сложности использования в высокоскоростных каналах передачи данных. Проблемы усугубляет сложность алгоритмов декодирования и отсутствие возможности приспособления к различным источниками информации, обладающих специфическими особенностями [11-16]. Разработанные методы отличаются возможностью сжатого представления данных на символьном уровне. При этом для обнаружения и исправления ошибок передачи используют не внешнюю, специально вводимую, а существующую внутреннюю избыточность передаваемой информации. Наиболее значительной внутренней избыточностью обладают потоковое видео, телеметрия, навигационная, управляющая и другие виды информации.

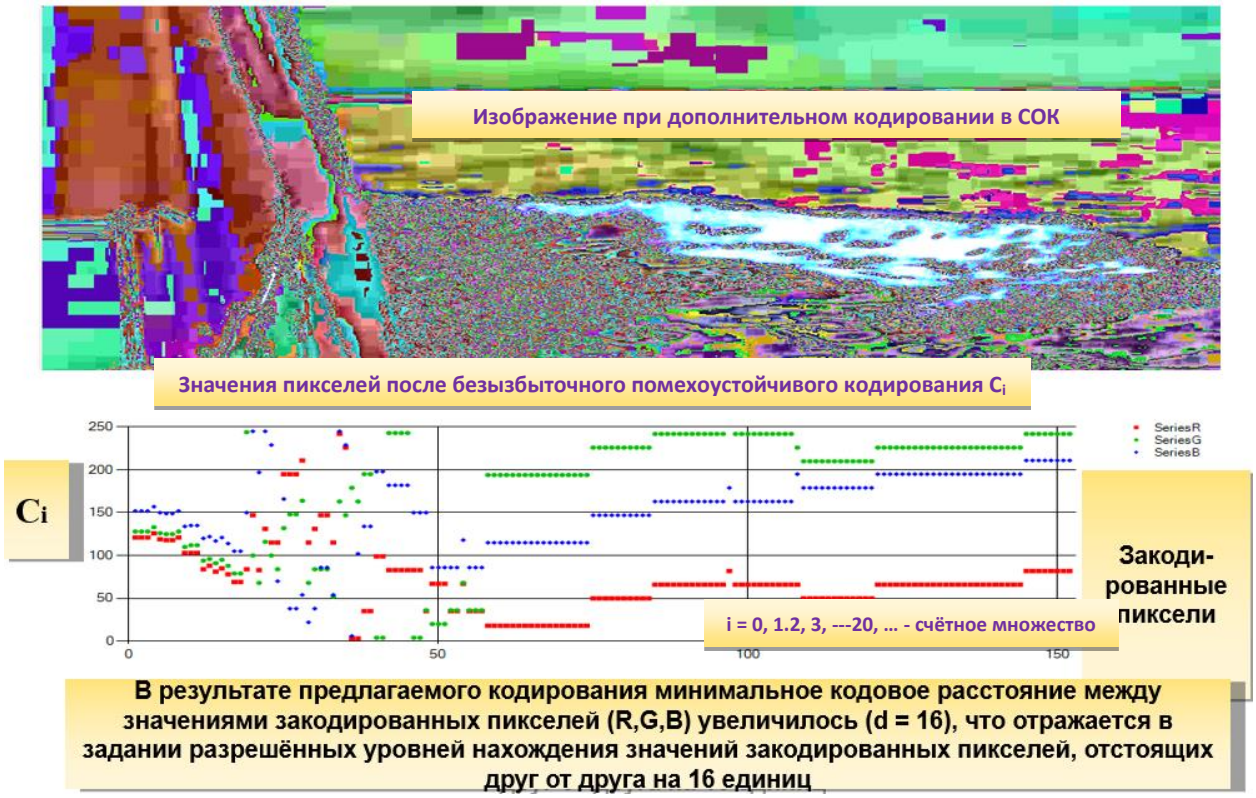


Рис. 6. Результаты дополнительного помехоустойчивого кодирования пикселей, сопровождающееся внесением искажений в передаваемые изображения

Fig. 6. The results of additional noise-resistant pixel encoding, accompanied by distortion in the transmitted images

Кроме того, представление и кодирование данных в СОК обеспечивает дополнительные преимущества по сравнению с существующими методами при синтезе высокоэффективных сигнально-кодовых конструкций и при обработке информации с высоким уровнем искажений помехами [16].

Заключение

Рассмотренные примеры показывают, насколько может быть эффективным применение нетрадиционных, с точки зрения существующей практики, информационных методов и технологий. Их использование позволяет не только существенно улучшить показатели эффективности применения каждой из существующих операций информационного процесса передачи информации. Главное их достоинство заключается в том, что существенно увеличивается количество операций структурно-алгоритмических преобразований (САП-i), в результате чего тракт формирования и передачи информации становится более приспособленным по сравнению с тем, что было ранее, к построению на его основе адаптивных и интеллектуальных систем передачи информации, учитывающих специфические её особенности. Можно считать, что цель статьи, заключающаяся в том, чтобы популярно изложить некоторые частные предлагаемые приёмы реформирования теории помехоустойчивого кодирования передаваемой информации и практики её применения, достигнута. Задача является грандиозной по своим масштабам и представляется многими, как непосильная. Для её представления недостаточно одной статьи, требуется значительное их множество. Но «дорогу осилит идущий».

Список источников

1. *Финк Л. М.* Теория передачи дискретных сообщений. М.: Сов. радио, 1963. 576 с.
2. *Борисов В.И., Зинчук В.М.* Помехозащищенность систем радиосвязи / Борисов В.И., Зинчук В.М. // - М.: Наука, 2009. – 358с.
3. *Блейхут Р.* Теория и практика кодов, контролирующих ошибки. - М.: Мир, 1986. - 576с.
4. *Никитин Г.И.* Сверточные коды: Учеб. пособие/ СПбГУАП. СПб., 2001. - 80 с.
5. *Кукушкин С.С.* Теория конечных полей и информатика, т. 1: «Методы и алгоритмы, классические и

нетрадиционные, основанные на использовании конструктивной теоремы об остатках» - М: Минобороны РФ, 2003 - 376с.
6. *Фомин С.В.* Системы счисления. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1980. - 48с.
7. *Осмоловский С.А.* Помехоустойчивое кодирование: кризис и пути выхода из него //Вестник РУДН. Серия Прикладная и компьютерная математика. 2004. Т.3, №1. С. 161-169.
8. *Былински П., Ингрем Д.* Цифровые системы передачи //Перевод с анг., под ред. А.А. Венцеля, М.: «Связь», 1980. - 360с.
9. *Левин Л.С., Плоткин М.А.* Цифровые системы передачи информации. – М.: Радио и связь, 1982. – 216с.
10. *Сакалема Д.Ж.* Подвижная радиосвязь /Под ред. О.И.Шелухина. –М.: Горячая линия. Телеком. 2015. – 512с.
11. *Кукушкин С.С., Гладков И.А., Чаплинский В.С.* Методы и информационные технологии контроля состояния динамических систем – М.: МО РФ, 2008, – 327 с.
12. *Булычев Ю.Г., Васильев В.В., Кукушкин С.С***.** Информационно-измерительное обеспечение натурных испытаний сложных технических комплексов - М.: Машиностроение-Полет, 2016. - 440с.
13. *Кукушкин С.С.* Способ первичной обработки информации с обнаружением и исправлением ошибок передачи (Патент № 2658795, опубл. 22.06.2018, бюл. №18).
14. *Кукушкин С.С., Кузнецов В.И.* Способ первичной обработки информации с использованием адаптивной нелинейной фильтрации/Патент №2672392, опубл. 14.11.2018, бюл. №32.
15. *Светлов Г.В., Кукушкин С.С., Кукушкин Л.С.* Инновационные информационные технологии телеизмерений, сбора и обработки измерительной информации, использующие современные достижения в области прикладной математики// Вестник воздушно-космической обороны, выпуск №1(37), 2023. – С.101 – 106.
16. *Руднев А.Н., Шелухин О.И.* Потоковое видео в системах радиодоступа/ Под ред. О.И. Шелухина. – М.: Горячая линия-Телеком, 2013.- 308с.

PROBLEMS OF INFORMATION TRANSMISSION VIA HIGH-SPEED RADIO CHANNELS AND WAYS TO SOLVE THEM BASED ON ECONOMIC NOISE-IMMUNE CODING

G.V. Svetlov [1], S.S. Kukushkin [2], L.S. Kukushkin [3], F.S. Makhov [4]
[1-3] AO «RPTP «Granit», (Ryazan, Russia)
[4] BGTU (Belgorod, Russia)
E-mail: [1-3]office@rptp.org; [4] 1fmakhov@gmail.com

Abstract

Problem statement. The volume of data transmitted over high-speed communication channels is growing rapidly, which creates a contradiction with the limitations of the bandwidth and energy budget. The level of interference of various origins is also increasing. In such conditions, existing methods of error-correcting coding lose their effectiveness, which requires their modernization and the development of economical codes with a high compression ratio at the symbolic level. As a solution, it is proposed to use a more economical system of numeration and representation of transmitted data

Object. To develop a system of cost-effective noise-resistant coding that would not require significant development costs and would be compatible with existing information technologies. To evaluate its effectiveness and applicability.

Results.A scientific and methodological approach has been developed for synthesizing compressed multi-stage noise-resistant codes, which significantly increases noise immunity of high-speed information transmitted via radio channels. New structural and algorithmic representations are used, taking into account the features of the transmitted data. Additional coding of messages by residual images (residual class system, RCS) solves the problems of transmitting and restoring information. The new approach provides a comprehensive effect: at the first stage, errors in distorted information are detected and corrected, and at the second stage, the noise component of the interference is significantly reduced compared to existing filtering methods. The effectiveness of the proposed solutions is assessed and the areas of their popular application are determined.

Practical significance. It consists in a significant expansion of the capabilities of noise-resistant coding, covering not only the protection of information in communication channels, but also its storage, processing and preparation for transmission, including the impact of cosmic radiation and other factors of long-term operation. The developed methods and technologies of noise-resistant coding in the SOC form a new approach to processing information that was previously considered unsuitable due to a high level of interference.

Keywords

Transmission of high-speed information, reliability of received data, ensuring their comprehensive protection.

УДК 621.398; 629.05

ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ СЖАТОГО ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО КАНАЛЬНОГО КОДИРОВАНИЯ ПЕРЕДАВАЕМОЙ ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗАМЕЩАЮЩИХ ТРОИЧНЫХ КОДОВ

Г.В.Светлов [1], С.С. Кукушкин [2], Л.С.Кукушкин [3], Ф.С.Махов [4]
[1-3] АО «РПТП «Гранит», (Рязань, Россия)
[4] БГТУ (Белгород, Россия)
E-mail: [1-3] office@rptp.org; [4] 1fmakhov@gmail.com

Аннотация

Постановка проблемы. Обеспечения безопасности передачи информации через радиоканалы становится всё более актуальной из-за увеличения уровня помех и применения информационно-технических воздействий (ИТВ). Существующие методы защиты информации от помех и несанкционированного доступа (НСД) разрозненные и требуют системного подхода.

Цель. Разработка экономичного помехоустойчивого кодирования, совместимого с существующими информационными технологиями. Основой системы служат троичные коды специальной конструкции, которые заменяют передаваемую последовательность бит перед модуляцией сигнала..

Результаты. Предлагается каскадное помехоустойчивое кодирование передаваемой информации. На начальном этапе оно связано с использованием нетрадиционного представления значений передаваемых данных и сообщений образами-остатками, в результате чего формируют помехоустойчивую безызбыточную последовательность бит. На заключительном этапе перед модуляцией сформированный поток бит заменяют на более экономичную систему кодирования с использованием троичных кодов специальной конструкции с формированием дублирующей двумерной импульсной и сигнальной модуляции. При этом появляются новые возможности для синтеза сигнально-кодовых конструкций, отличающихся повышенной эффективностью применения при модернизации существующих и разработке перспективных систем связи.

Практическая значимость. Заключается в существенном расширении возможностей помехоустойчивого кодирования. Они отличаются достаточно простой реализацией процессов дополнительного кодирования и возможностью совместного их использования с существующими информационными методами и технологиями передачи высокоскоростной информации. Предлагаемое специальное троичное кодирование передаваемой информации в отличие от известных методов троичного кодирования отличается тем, что оно с математической точки зрения является одновременно и троичной системой счисления. Благодаря этому они составляют основу реконструирования существующих методов помехоустойчивого кодирования, в которых в качестве основы синтеза используют не представление передаваемой информации битами, а их замену дублирующими символами предлагаемого троичного кода.

Ключевые слова

Передача высококоскоростной информации, достоверность получаемых данных, обеспечение комплексной их защиты.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Обмен информации становится определяющим фактором быстрого развития производительных сил и обеспечения обороноспособности страны. Растут объёмы передаваемой информации и, соответственно, требования к скорости её передачи, полноте, целостности, достаточности, доступности и достоверности. При этом их удовлетворение входит во всё более ожесточающиеся противоречия с возможностями существующих методов и технологий. К этому необходимо добавить также и ограничения, которые связаны с пропускной способностью и спектрально-энергетическим бюджетом беспроводных каналов связи. В существующей теории они определяются, как частотная и энергетическая эффективность систем передачи данных (СПД) [1]. Для смягчения результатов негативного влияния отмеченных противоречий на качество получаемой информации необходимо совершенствовать существующие методы помехоустойчивого кодирования данных и

модуляции сигналов [2]. Такую основу составляет переход от существующего двоичного кодирования передаваемой информации к более экономичному троичному коду [3].

Предлагаемые методы решения задачи и принятые допущения

Новые идеи, лежащие в основе предлагаемого перехода от традиционно используемого при передаче информации натурального позиционного двоичного кода к более экономичным системам кодирования, в иллюстративном виде приведены на рис. 1.



Рис. 1. Иллюстрационное представление разработанных моделей представления и дополнительного экономного кодирования передаваемой информации

Fig. 1. Illustrative representation of the developed models of representation and additional economical encoding of transmitted information

В качестве примера на нём приведены два основных варианта распределённых структурно-алгоритмических преобразования (САП). Первый из них представляет собой базовую операцию первого этапа САП (САП-1), которая связана с математической моделью смешанного (позиционного и одновременно непозиционного) представления данных и сообщений двоичным кодом [3,5,9-11]. Её основу составляет представление исходного двоичного кода сообщений X_i, представленного (N = 2n) – разрядным позиционным двоичным кодом, образами-остатками b_{1i} и b_{2i}, которые получают в результате деления значений X_i на оптимально выбранные модули сравнения: $m_1 = 2^n - 1$ и $m_2 = 2^n + 1$. Затем, объединяя n – разрядные кодовые конструкции, представляющие значения образов-остатков b_{1i} и b_{2i} в новое кодовое слово $C_i = <b_{1i}, b_{2i}>_2$ получаем результат представления данных и сообщений в системе остаточных классов (СОК).

В результате этого систему уравнений:

$$\begin{cases} X_i = m_1 l_{1i} + b_{1i}; \\ X_i = m_2 l_{2i} + b_{2i}; \end{cases} \quad (1)$$

заменяем системой сравнений:

$$\begin{cases} X_i = b_{1i} \ (mod\ m_1); \\ X_i = b_{2i} \ (mod\ m_2). \end{cases} \quad (2)$$

При этом из передачи исключают присутствующие в неявном виде в сообщении X_i данные о модулях сравнения m_1 и m_2 и неполных частных l_{1i} и l_{2i}. Модули сравнения m_1 и m_2 представляют собой ключевые данные – ими стороны обмениваются перед передачей информации. Неполные частные l_{1i} и l_{2i} восстанавливают на основе конструктивной теоремы об остатках (КтТО) [5]. Для «жёсткого» декодирования переданных данных и сообщений, представленных кодовыми словами $C_i = <b_{1i}, b_{2i}>_2$, используют три первых звена адаптивного алгоритма КтТО. Его структурная схема представлена на рис. 2.

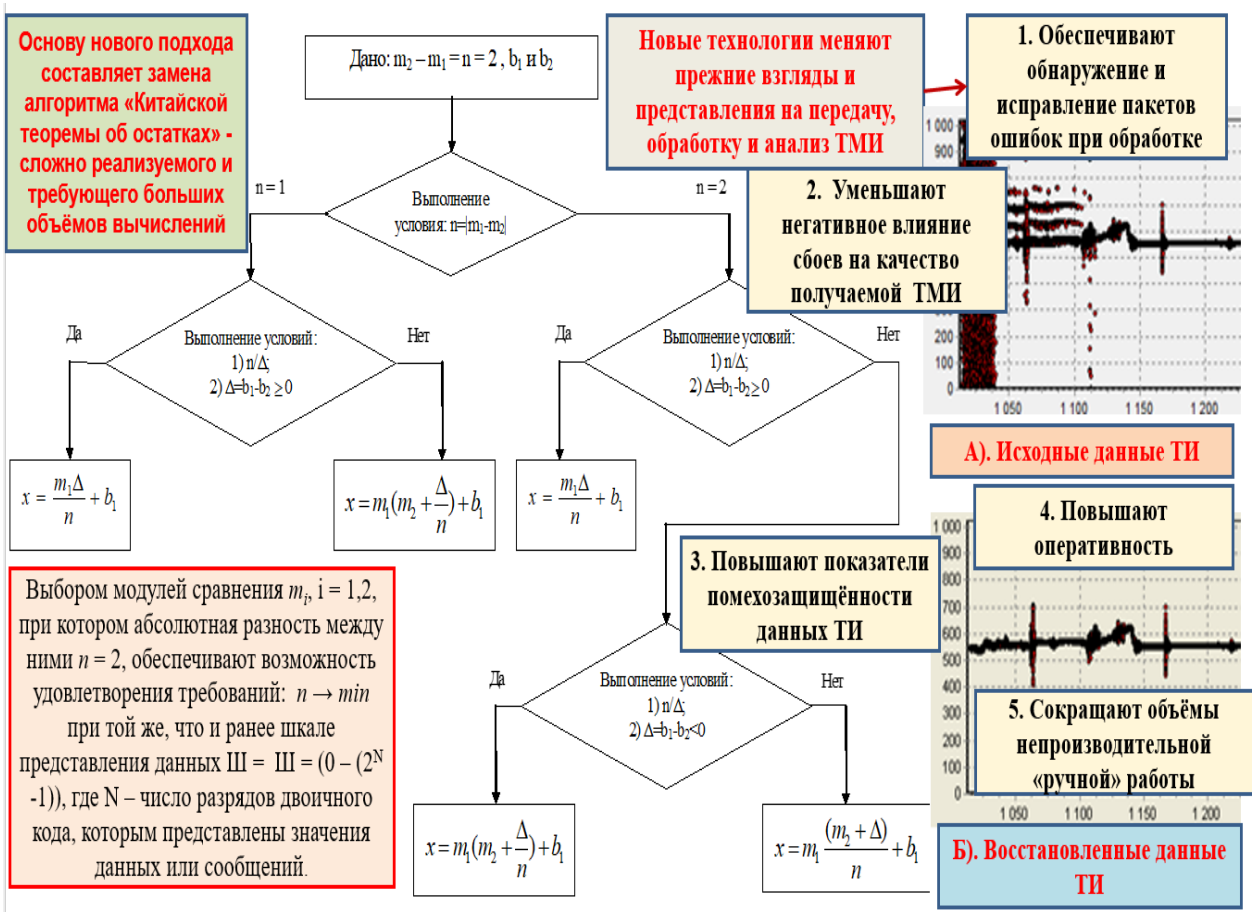


Рис. 2. Структурная схема адаптивного алгоритма «жёсткого» декодирования данных и сообщений, представленных в системе остаточных классов

Fig. 2. Block diagram of an adaptive algorithm for "hard" decoding of data and messages presented in the residual class system

Дополнительные иллюстрации, приведенные на рис. 2, показывают, как новое более эффективное представление значений данных и сообщений меняет прежние взгляды на передачу, обработку и анализ телеметрической информации (ТМИ). При этом ТМИ использована в качестве примера повышения эффективности передачи данных, в частности результатов телеизмерений (ТИ), при предлагаемом дополнительном их кодировании в СОК. Ранее представление в СОК использовалось только для повышения эффективности вычислений и надежности ЦВМ [9,10]. В предлагаемом техническом решении область применения СОК существенно расширена – она дополнительно ориентирована на решение задачи повышения эффективности передачи информации [2,5-8]. Кроме того, замена сложно реализуемых алгоритмов китайской теоремы об остатках (КиТО) составляет ту научно-методическую базу, которая позволит достичь и высоких показателей криптостойкости при решении задач защиты информации от несанкционированного доступа (НСД) [11, с.318].

Второй вариант распределённых САП, предназначенный для использования на

заключительном этапе формирования и передачи информации, связан с модуляцией сформированной импульсной кодовой последовательности передаваемых символов и несущей частоты передаваемого сигнала. Для повышения спектрально-энергетической эффективности передачи информации предлагается полноценный троичный код, представленный широтно-импульсной модуляцией с тремя разрешёнными длительностями (ШИМ-3) T_0, $1{,}5T_0$ и $2T_0$, где T_0 – длина исходных двоичных символов «1» и «0». Основу предлагаемого дополнительного кодирования составляют не одна, а две нелинейные операции перехода от натуральных двоичных кодов к более экономичному кодированию. Вначале на основе системы остаточных классов (СОК), а на заключительном этапе с использованием троичных кодов с дублирующими символами [2]:

$$\begin{gathered} S_0(T_0) \leftrightarrow <11{,}00>_2; \\ S_1(T_1) \leftrightarrow <10{,}001>_2; \\ S_2(T_2) \leftrightarrow <101>. \end{gathered} \qquad (3)$$

Отличительная особенность разработанного троичного дублирующего кода заключается в следующем: 1) в неравномерной информационной нагрузке в виде числа переносимых бит дублирующих троичных символов $S_i(T_i)$, i = 0,1,2 (два символа $S_1(T_1)$ и $S_2(T_2)$ соответствуют трехразрядным двоичным кодовым конструкциям $<001>_2$ и $<101>_2$, при этом только символ $S_2(T_2)$ дешифрируется однозначно, остальные – двухзначно); 2) в рекуррентной взаимосвязи последних бит при расшифровке принятых троичных символов $S_i(T_i)$, i = 0,1,2 (рис. 3).

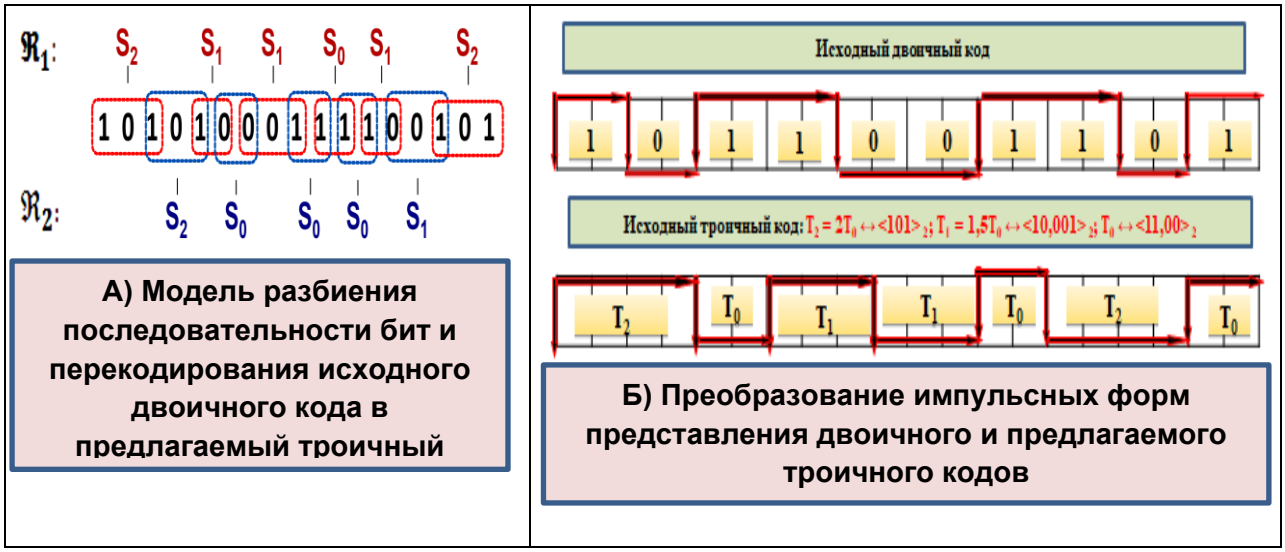


Рис. 3. Схема перекодирования исходной последовательности бит в предлагаемый троичный код с дублирующими символами $S_i(T_i)$, i = 0,1,2 и импульсная форма самосинхронизирующихся символов T_i, i = 0,1,2
Fig. 3. The scheme of transcoding the original sequence of bits into the proposed ternary code with duplicate symbols Si(Ti), i = 0,1,2 and the pulse form of self-synchronizing symbols Ti, i = 0,1,2.

В результате перечисленных особенностей появляются новые возможности. В их числе: 1) компенсация недостатков, которые связаны с присвоением троичным символам двух и трёхразрядных кодовых конструкций; 2) одновременное использование двух видов модуляции сигналов, например, частотной на три состояния ($ЧМ_3$) для отображения передачи символов S_i, i = 0,1,2 и фазовой манипуляции 0^o, 180^o ($ФМ_2$) при импульсном представлении символов T_i, i = 0,1,2; 3) сокращение избыточности передаваемых символов S_i, i = 0,1,2 по сравнению с битами (коэффициент синтаксического сжатия $k_{сж} = \log_2 3 \approx 1{,}6$).

На рис. 4 представлена иллюстрация сущностных характеристик предлагаемой замены двоичного кодирования информации полноценным троичным кодом.



Рис. 4. Иллюстрация предлагаемого метода перекодирования двоичного кода в замещающий логический троичный код с дублирующими символами $S_i(T_i)$, i = 0,1,2 и его представление сигналами амплитудной, частотной и фазовой модуляции

Fig. 4. Illustration of the proposed method of transcoding binary code into a replacement logical ternary code with duplicate symbols Si(Ti), i = 0,1,2 and its representation by amplitude, frequency and phase modulation signals.

Экспериментальные исследования показали, что коэффициент сжатия ($k_{сж}$) при замене бит предлагаемыми троичными символами $S_i(T_i)$, i = 0,1,2 не может быть меньше значения $k_{сж}$ = 1,3 (рис. 5). Всего, как опказывает ось абсцисс, было 180 статистических выборок по 1000 бит в каждой. По оси ординат отложены значения $k_{сж}$. Он может быть увеличен, если сформированная последовательность бит будет подвергнута операции скремблирования. На рис. 6 представлен наиболее часто используемый её вариант, при котором инвертированию подвергают каждый четвёртый бит исходной последовательности. В этом случае, как показывают результаты моделирования, минимальное значение $k_{сж}$ приближается к ожидаемому его теоретическому значению $k_{сж}$ = 1,6. Сформированный троичный код становится полноценной троичной системой счисления. В результате этого, оказывают справедливыми представления алгебраической теории помехоустойчивого кодирования [4]. В результате этого формирование проверочных троичных символов также подчиняется законам, определяемым теорией конечных полей (рис. 5).

При модернизации существующих систем связи возможность повышения скорости передачи за счёт дополнительного кодирования троичным кодом может быть полезно использована для введения замещающей избыточности передаваемых символов. Простейший способ ее реализации заключается в заполнении проверочными троичными символами мест в циклически повторяющихся кадрах цифровых групповых сигналов, суть которого также представлена на рис. 5. При этом для разделения информационной и служебной (проверочной)

части передаваемых троичных символов используют маркер в виде повторения символов символов $S_2(T_2)$ (рис. 5).



Рис. 5. Иллюстрация, посвящённая новым возможностям предлагаемого замещающего троичного кода, относящимся к повышению скорости передачи информации, формированию проверочных троичных символов и их передаче

Fig. 5. An illustration dedicated to the new features of the proposed replacement ternary code related to increasing the speed of information transmission, the formation of verification ternary characters and their transmission

Обнаружение и исправление ошибок передачи

Обнаружению и исправлению ошибок передачи способствует не только то обстоятельство, что при кодировании появляются два дублирующих друг друга символа троичного кода $S_i(T_i)$, i = 0,1,2, которые и определяют возможность одновременной двойной модуляции несущей частоты передаваемого сигнала. Возможности коррекции ошибок также обеспечиваются за счёт внутренних свойств предлагаемого троичного кодирования. Они заключаются в следующем: 1) между соседними значениями символов $\mathbf{S_2(T_2)}$ может быть только чётное число символов $\mathbf{S_1(T_1)}$; 2) символ $\mathbf{S_1(T_1)}$, предшествующий символу $\mathbf{S_2(T_2)}$; это кодовая конструкция $<001>_2$, а следующий за символом $\mathbf{S_2(T_2)}$ символ $\mathbf{S_1(T_1)}$ - представляет собой кодовую конструкцию $<10>_2$; 3) символ $\mathbf{S_0(T_0)}$, предшествующий символу $\mathbf{S_2(T_2)}$ и следующий за ним представляет собой кодовую конструкцию $<11>_2$.

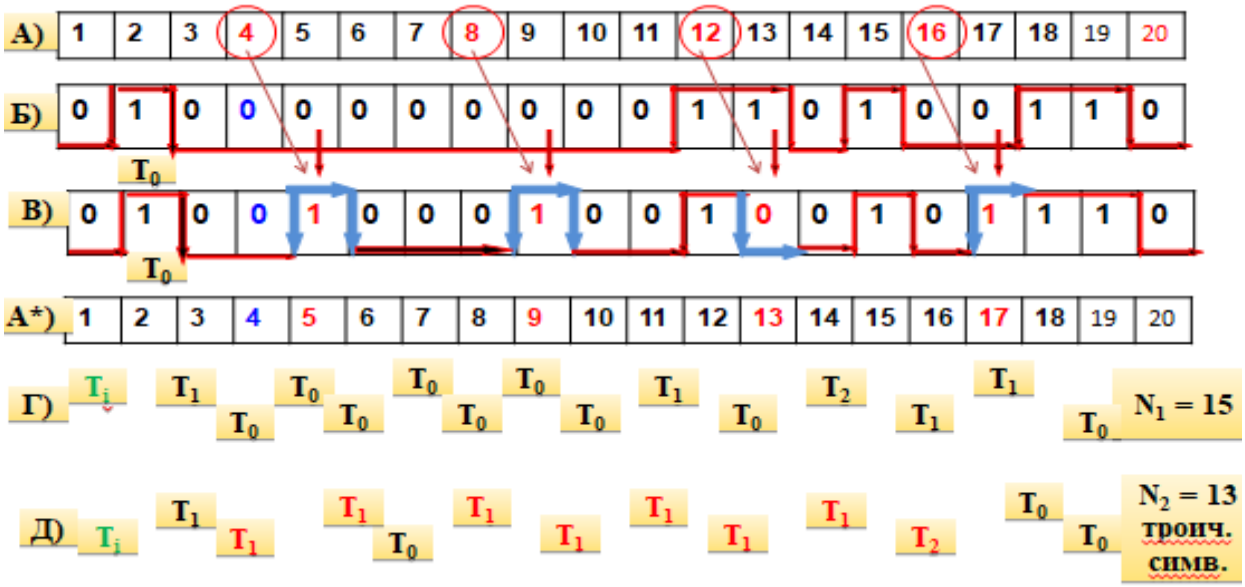


Рис. 6. Иллюстрация метода скремблирования, используемого для повышения эффективности передачи информации замещающим троичным кодом

Fig. 6. An illustration of the scrambling method used to improve the efficiency of information transmission by a substitution ternary code

Обсуждение полученных результатов и сопоставление их с ранее известными

Рассмотренные методы экономного помехоустойчивого кодирования информации обладают следующими новыми сущностными характеристиками. Они могут использоваться совместно с уже существующими информационными технологиями, поскольку не требуют введения дополнительной внешней избыточности. При этом дополнительное кодирования передаваемых данных и сообщений в СОК, являясь безызбыточными, никак не сказывается на работе существующих СПД: они просто не замечают наличие внутренних САП. Но при этом эффективность их использования определяется наличием внутренней избыточности, которой обладает целый ряд источников данных, обладающих большими объёмами и требующими существенного повышения скорости передачи информации. Второе их предлагаемых направлений помехоустойчивого структурно-алгоритмического преобразования отличается существенным уменьшением количества символов троичного кода по сравнению с двоичным кодированием. При этом у него нет ограничений, которые связаны с наличием внутренней избыточности. Поэтому разработанные методы эффективно дополняют друг друга. Они достаточно просты для реализации и обладают расширенными возможностями. Кодирование в СОК существенно повышает показатели оперативности и надежности вычислений. Это следует из известного применения СОК [9,10]. Троичный код создаёт новую методическую базу для совершенствования, как узкополосной связи за счёт синтеза спектрально эффективных сигнально-кодовых конструкций, так и широкополосной, обеспечиваемой при заполнении длительностей импульсов ШИМ3 кодами Баркера длины 3,5 и 7 [12,13].

Заключение

Полученные результаты показывают, что появляется новая возможность для эффективного разрешения существующего множества противоречий, сопровождающих совершенствование и разработку инновационных технологий передачи и обработки получаемой информации. К такому результаты подводят выполненные исследования, относящиеся к разработке безызбыточного и сжатого помехоустойчивого кодирования передаваемой информации. Их использование также определяет и новый этап в развитии методов повышения безопасности информации, реализуемых программными методами с использованием математических методов высокого абстрактного уровня. Об актуальности этого научного направления свидетельствует Постановление Правительства РФ №1701 от

30.11.2024г., посвящённое разработке методов комплексной защиты информации для средств малой авиации. Их востребованной определяется тем, что в отличие от аппаратурных средств шифрования их присутствие не может быть обнаружено: они не имеют массы и габаритов. Их энергопотребление также оказывает незаметным.

Список источников

1. *Семенюк В.В.* Экономное кодирование дискретной информации. – СПб.: СПбГИТМО (ТУ), 2001. – 115 с.
2. *Фомин С.В.* Системы счисления. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1980. - 48с.
3. *Зюко А.Г.* Помехоустойчивость и эффективность систем связи. - М.: Связь, 1972. 359 с.
4. *Блейхут Р.* Теория и практика кодов, контролирующих ошибки. - М.: Мир, 1986. - 576с.
5. *Кукушкин С.С.* Теория конечных полей и информатика, т. 1: «Методы и алгоритмы, классические и нетрадиционные, основанные на использовании конструктивной теоремы об остатках» - М: Минобороны РФ, 2003 - 376с.
6. *Былински П., Ингрем Д.* Цифровые системы передачи //Перевод с анг., под ред. А.А. Венцеля, М.: «Связь», 1980. - 360с.
7. *Левин Л.С., Плоткин М.А.* Цифровые системы передачи информации. – М.: Радио и связь, 1982. – 216с.
8. *Сакалема Д.Ж.* Подвижная радиосвязь /Под ред. О.И.Шелухина. –М.: Горячая линия. Телеком. 2015. – 512с.
9. *Торгашев В.А.* Система остаточных классов и надежность ЦВМ. М.: Сов. Радио, 1973. 120 с.
10. *Акушский И.Я., Юдицкий Д.И.* Машинная арифметика в остаточных классах. М.: Сов. Радио, 1968. 140 с.
11. Введение в криптографию. Под общ. ред. В.В. Ященко. М., МЦНМО, ЧеРо, 1998. 271 с.
12. *Кукушкин С.С.* Способ сжатого помехоустойчивого кодирования данных для передачи и хранения информации/ Патент РФ №2789785, опубл. 09.02.2023, бюл. №16.
13. *Кукушкин С.С.* Способ передачи информации с использованием расширенного логического троичного помехоустойчивого кода в режимах узкополосной и широкополосной связи/ Патент РФ №2834404, опубл. 07.02.2025г., бюл. №7.

INNOVATIVE METHODS AND TECHNOLOGIES OF COMPRESSED NOISE-IMMUNE CHANNEL CODING OF TRANSMITTED INFORMATION USING SUBSTITUTE TRINITY CODES

G.V. Svetlov [1], S.S. Kukushkin [2], L.S. Kukushkin [3], F.S. Makhov [4]
[1-3] AO «RPTP «Granit», (Ryazan, Russia)
[4] BGTU (Belgorod, Russia)
E-mail: [1-3]office@rptp.org; [4] 1fmakhov@gmail.com

Abstract

Problem Statement. Ensuring the security of information transmission via radio channels is becoming increasingly important due to the increasing level of interference and the use of information technology influences (ITV). Existing methods of protecting information from interference and unauthorized access (NSD) are disparate and require a systematic approach.

Objective. Development of cost-effective noise-immune coding compatible with existing information technologies. The system is based on ternary codes of a special design, which replace the transmitted bit sequence before signal modulation.

Results. A cascade noise-immune coding of transmitted information is proposed. At the initial stage, it is associated with the use of an unconventional representation of the values of transmitted data and messages by residual images, as a result of which a noise-immune, redundant bit sequence is formed. At the final stage, before modulation, the formed bit stream is replaced with a more cost-effective coding system using ternary codes of a special design with the formation of a duplicate two-dimensional pulse and signal modulation. At the same time, new opportunities for synthesizing signal-code structures appear, which are distinguished by increased efficiency of application in upgrading existing and developing promising communication systems.

Practical significance. It consists in a significant expansion of the capabilities of noise-immune coding. They are distinguished by a fairly simple implementation of additional coding processes and the possibility of their joint use with existing information methods and technologies for transmitting high-speed information. The proposed special ternary coding of the transmitted information, in contrast to the known methods of ternary coding, is distinguished by the fact that from a mathematical point of view it is simultaneously a ternary number system. Due to this, they form the basis for reconstructing existing methods of noise-immune coding, in which the basis for synthesis is not the representation of the transmitted information by bits, but their replacement by duplicate symbols of the proposed ternary code.

Keywords

Transmission of high-speed information, reliability of the received data, ensuring their comprehensive protection.

УДК 621.396

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОСМИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ: ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ В УСЛОВИЯХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

С.В. Литвинов[1], Е.А. Чистяков[2], И.А. Манякин[3], М.В. Сысоев[4]
[1–4] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] litvinov_s@mirea.ru,

Аннотация

Постановка проблемы. Научной проблемой исследований является обеспечения стойкости бортовой аппаратуры космических аппаратов к электромагнитным полям, создаваемых молниевыми разрядами, радиолокационными станциями и другими внешними воздействующими факторами космического пространства.

Цель. Провести анализ функционирования обитаемых космических станций (Салют, Мир, МКС, РОС) в условиях электромагнитных воздействий

Результаты. Приведен обзор обитаемых космических станций (Салют, Мир, МКС) и проводимых экспериментов по исследованию электромагнитных полей, окружающих станции.

Практическая значимость. Полученные результаты позволяют сделать вывод о необходимости прогнозирования электромагнитной обстановки на борту космического аппарата и парировании возникающих проблем, создаваемых электромагнитными полями и внешними воздействующими факторами космического пространства.

Ключевые слова

Rосмический аппарат, электромагнитные поля, электромагнитное воздействие, орбитальная станция, Салют, Мир, МКС, РОС, защита космических аппаратов, бортовая аппаратура

Работа выполнена в рамках реализации программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» (соглашение от 31.03.2025 № 075-15-2025-020, федеральный проект «Университеты для поколения лидеров» национального проекта «Молодежь и дети»).

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

В процессе выведения на орбиту космического аппарата (КА) и его последующем функционирования регистрируются физические явления, обусловленные комплексным воздействием факторов космической среды. Эти явления определяются параметрами окружающей плазмы, габаритными характеристиками элементов орбитального комплекса, а также электрофизическими свойствами материалов внешней поверхности КА. В результате взаимодействия с космической средой происходит формирование электростатического потенциала на поверхности КА (явление поверхностного зарядового смещения). Количественные характеристики данного смещения могут значительно варьироваться в течение одного орбитального витка. Учитывая возможность негативного влияния электростатического потенциала на функциональные характеристики оборудования, установленного на внешней поверхности КА, целесообразно на этапе предварительного проектирования выполнить анализ распределения электромагнитных полей, индуцированных молниевыми разрядами, радиолокационным излучением, эффектами электростатической эмиссии и другими физическими процессами космической среды.

Основными составляющими суммарного заряда на поверхности станции и электрического тока, протекающего по поверхности объектов космического аппарата, будут электронные и ионные заряды, собираемые поверхностью станции из окружающей ионосферной плазмы, вторично-эмиссионные токи, обусловленные первичными плазменными токами, и фотоэлектронный ток, возникающий под действием коротковолнового излучения Солнца.

Дополнительным фактором, способствующим изменению величины электрического заряда на поверхности КА, является высоковольтная система бортового электропитания. При возникновении магнитосферных возмущений диэлектрические материалы накапливают

избыточный поверхностный заряд за счет потока высокоэнергетических электронов. Этот заряд может последовательно релаксировать в виде первичных триггерных разрядов на электрические контакты, например, фотоэлектрических преобразователей. Подобные разрядные процессы могут инициировать вторичные устойчивые электрические дуги, что, в свою очередь, может привести к образованию короткозамкнутых цепей на линейках фотоэлементов солнечных панелей.

В условиях экстремальных явлений космической погоды (например, магнитных бурь) или при прохождении КА через активные области геомагнитной структуры (авроральный овал, полярная шапка, терминатор), электростатический потенциал КА может испытывать значительные флуктуации, достигая отрицательных значений в диапазоне единиц киловольт. Накопленная разность потенциалов между различными конструктивными элементами может релаксировать в виде электрических разрядов, включая разряды на электрических контактах фотоэлектрических преобразователей солнечных батарей. Такие разрядные события могут стать причиной существенной деградации функциональных характеристик данных элементов и их полного отказа.

Орбитальные станции «Салют»

В феврале 1970 года был выпущен проект по долговременной орбитальной станции (ДОС), которая в дальнейшем стала называться «Салют». Разработка станции велась в ускоренном режиме: задача запуска станции в течение года была поставлена на политическом уровне. Отмечается большой энтузиазм разработчиков этого уникального проекта - первой обитаемой орбитальной станции [1]. Работы велись круглосуточно, без выходных дней, а сжатые сроки обуславливали работы по обходиной технологии. Так, существенно была упрощена процедура выпуска документации, а изготовление деталей зачастую производилось по эскизам конструкторов. Упрощение процедур принятия решений не привело к снижению качества, поскольку оперативнотехническое руководство действовало постоянно для незамедлительного принятия технических решений. 19 апреля 1971 года стартовала ракета-носитель «Протон» с ДОС № 1, которая получила название «Салют». Это название сохранилось для всей последующей серии орбитальных станций.

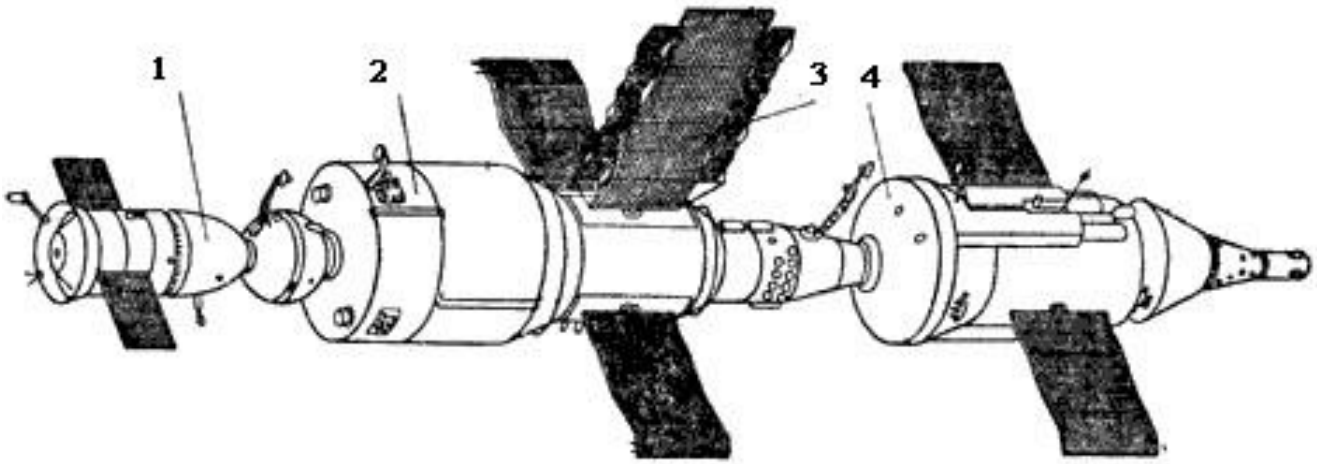


Рис. 1. Станция «Салют-7»: 1 - корабль «Союз»; 2 - станция «Салют-7»; 3 - солнечные батареи увеличенной площади; 4 - ТКС «Космос- -1443»
Fig. 1. Salyut-7 station: 1 - Soyuz spacecraft; 2 - Salyut-7 station; 3 - enlarged solar panels; 4 - Kosmos- -1443 space station

В связи со сжатыми сроками подготовки и запуска ДОС «Салют», а также недостатка данных на тот момент, вероятно детально не рассчитывалось воздействие электромагнитных полей на работу станции. Между тем, известно о проводимых позднее работах по обнаружению стационарного пояса электронов высокой энергии. Установленная на ДОС

«Салют-6» аппаратура, предназначенная для изучения потоков высокоэнергичных электронов в ближайшей окрестности Земли, позволяла с высокой эффективностью выделять потоки электронов и позитронов с энергией более 40 МэВ [2]. Несмотря на то, что орбита «Салют-6» в основном проходила ниже РПЗ - радиационного поля Земли (высота 350-400 км, наклонение 52°), в районе Бразильской магнитной аномалии она задевала внутреннюю часть РПЗ, где и были обнаружены потоки высокоэнергичных электронов, хотя ранее были зарегистрированы лишь электроны с энергией не более 5 МэВ. Дальнейшие измерения роводились на искусственных спутниках Земли серии «Метеор-3» (высота круговых орбит 800 и 1200 км).

Применение на станциях «Салют-7» и «Мир» мигнатных спектрометров позволило установить что стабильный пояс состоит только из электронов (без позитронов) высокой энергии (до 200 МэВ). Это означает, что в магнитосфере Земли реализуется весьма эффективный ускорительный механизм (одной только радиальной диффузией наблюдаемое ускорение объяснить нельзя) [3].

Орбитальная станция «Мир»

Орбитальная станция «Мир», созданная на базе конструкции станции «Салют», функционировала на орбите Земли с 20 февраля 1986 года до затопления 23 марта 2001 года. На станции с 1987 года реализовывались международные программы исследований, осуществлено 16 полетов в составе интернациональных экипажей. В выполнении этих программ непосредственно на борту станции приняли участие астронавты Франции, Сирии, Афганистана, Болгарии, Японии, Великобритании, Германии, Казахстана, Австрии, США, Канады и стран, входящих в Европейское космическое агентство. Продолжительность пребывания основных экспедиций на ДОС «Мир» составила более 12 348 суток.

Из открытых источников известно не так много, особенно что касается экспериментов и исследований окружающей электромагнитной обстановки. В издании [4] авторы приводят информацию об эксперименте «Модель». В ходе полёта ТГК «Прогресс-28» с раскрытыми антеннами было проведено 20 сеансов излучения СНЧ-сигнала и его прием на наземных станциях и на станции «Мир». Анализ принятых сигналов в целом подтвердил разработанную теорию распространения СНЧ-радиоволн в ионосферной плазме и магнитном поле Земли. В частности, на станции «Мир» удалось зарегистрировать распространение излучаемых СНЧ-сигналов преимущественно вдоль силовых линий магнитного поля Земли, а в отдельных сеансах наблюдались пиковые возрастания сигналов, принимаемых на наземных станциях, в моменты пролета корабля над ними.

В выпуске №19 журнала «Новости Космонавтики» от сентября 1995 года приводится перечень российских экспериментов, запланированных на ЭО-20. [5]. Среди экспериментов можно выделить:

– Эксперимент ГФ-2 «Фокус» - Исследование процесса распространения пучков заряженных частиц в космическом пространстве, их взаимодействия со средой. Применяемая аппаратура: Инжектор электронов «Источник» (37КЭ ось +Z), инжектор плазмы «Ариэль» (37КЭ оси +Z и -Y), датчики «Зонд-заряд», аппаратура «Арфа-Э» (37КЭ).

– Эксперимент АФ-3 «Мария-2» - Исследование высокоэнергичной электронно-позитронной компоненты, потоков антипротонов. Применяемая аппаратура: Спектрометр «Мария-2» (77КСТ).

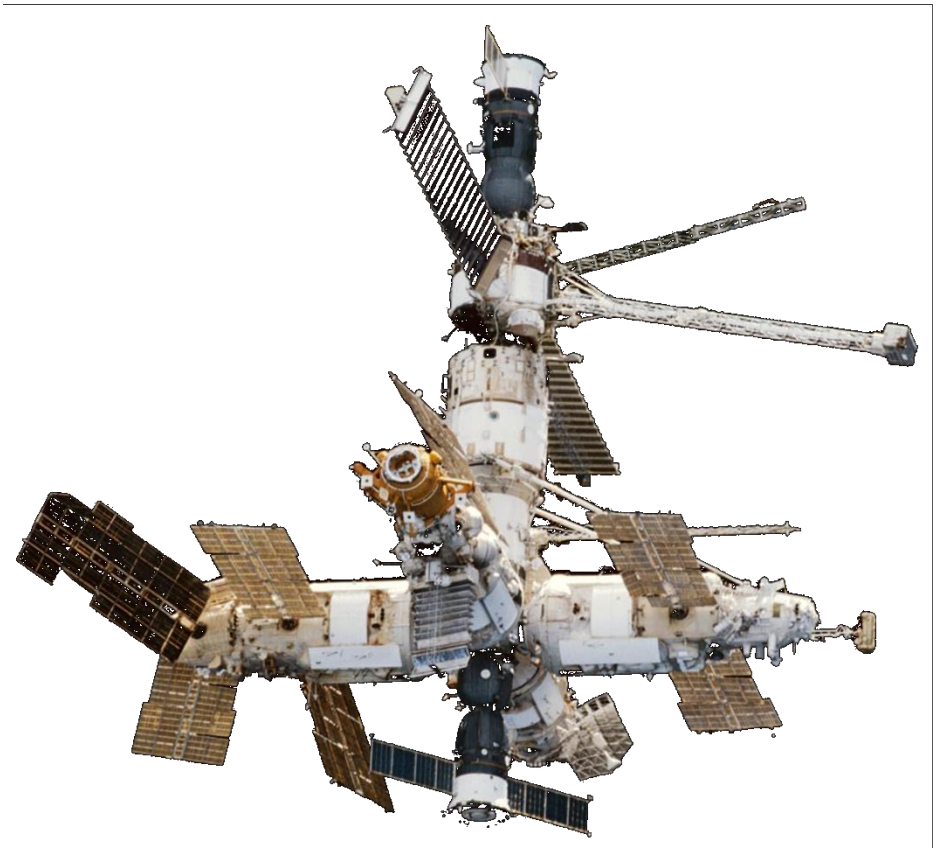


Рис. 2. Орбитальный комплекс «Союз ТМ-26» — «Мир» — «Прогресс М-37» 29 января 1998 года
Fig. 2. Soyuz TM-26 — Mir —Progress M-37 orbital Complex on January 29, 1998

Эксперимент «Мария-2» по изучению потоков высокоэнергичных заряженных частиц проводился на борту орбитальной станции «Мир» с 24 ноября 1987 года на круговой орбите высотой 360-420 км с наклонением 51°. Для всех участков траектории станции пороговая жесткость геомагнитного обрезания была выше жесткости частиц, регистрируемых спектрометром. Поэтому результаты измерений с января 1988 г. по апрель 1990 г. относятся ко вторичным частицам: альбедо или (квазизахваченным магнитным полем Земли [6].

Важный эксперимент проведен экспедициями ЭО-14 и ЭО-15 по исследованию низкочастотных магнитных полей (НЧ МП) в обитаемых модулях космической станции «МИР» [7]. Измерения проводились с помощью аппаратуры «Инфразвук», состоящей из магнитного датчика «Каскад» и шумомера модели 2231 фирмы «Брюль и Къер», который использовался совместно с наборами частотных фильтров типа 1625 и 1627 той же фирмы в качестве частотного спектрального анализатора. Как следует из проведенных в [7] работе результатов указанных исследований, спектр НЧ МП на борту космической станции весьма широк, а уровни НЧ МП существенно изменяются по объему обитаемых отсеков, значительно различаясь в разных модулях. Указанные особенности электромагнитной обстановки должны рассматриваться, прежде всего, как факторы потенциально неблагоприятные для экипажей длительных экспедиций на пилотируемых космических аппаратах.

Орбитальная станция «МКС»

Международная космическая станция (МКС), англ. International Space Station, сокр. ISS -крупнейший международный проект, пилотируемая орбитальная станция, используемая как многоцелевой космический исследовательский комплекс [8].

Сегодня МКС представляет собой совместный проект, в котором участвуют космические агентства Роскосмос, NASA (США), JAXA (Япония), CSA (Канада), ESA (страны Европы).

Программа создания Международной космической станции — логическое продолжение сегодняшнего этапа развития космонавтики. Усилиями в первую очередь советской

и российской космонавтики доказана возможность длительных пилотируемых полетов, определены направления деятельности для создания внеземных производств.

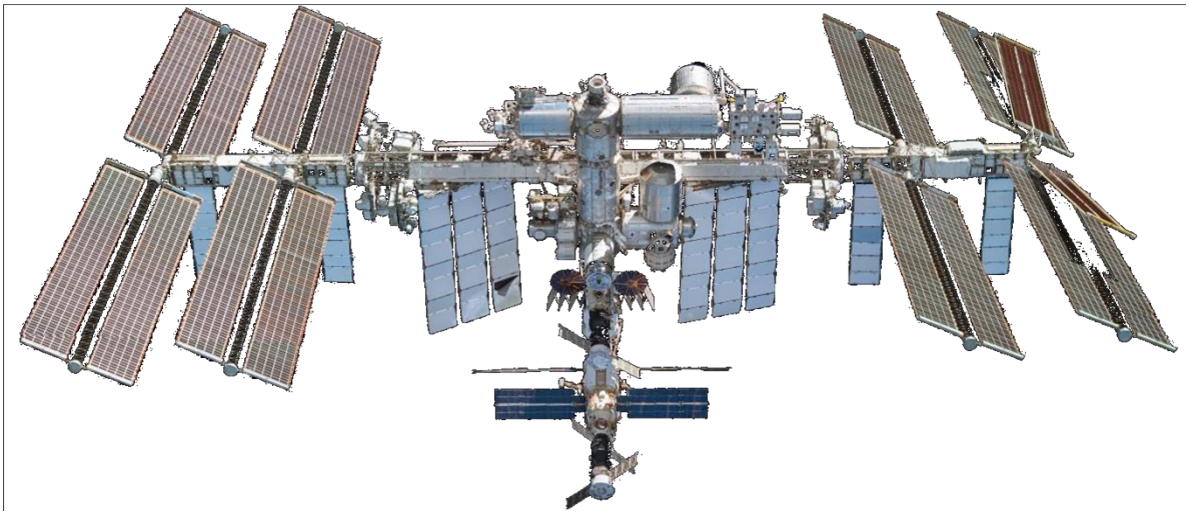


Рис. 3. Международная космическая станция
Fig. 3. International Space Station

Реализация программы МКС была начата 20 ноября 1998 года после старта российского функционального грузового блока «Заря», который стал базовым элементом МКС. Роль России в этом проекте — одна из ведущих. Опыт, накопленный российской космонавтикой за период эксплуатации собственных пилотируемых орбитальных станций, во многом стал практической базой для создания МКС.

Станция преимущественно делится на две основные части: российский и американский сегменты МКС. Российский сегмент (РС МКС) управляется из подмосковного Центра управления полетами в г. Королёве, американский сегмент (АС МКС) — из аналогичного по назначению центра в г. Хьюстон, штат Техас. Такое же деление наблюдается и при проведении экспериментов.

Эксперименты на российском сегменте «МКС»

Космический эксперимент «Импульс (1 этап)»

Эксперимент [9] направлен на исследование электрических характеристик приповерхностной зоны МКС в ионосфере Земли, проведенное с использованием комплекса приборов "Зонд3–ЗарядМ", размещенных на служебном модуле Российского сегмента МКС. За период наблюдений, включающий более 170 телеметрических сеансов общей продолжительностью свыше 11,000 часов с временным разрешением 1 секунда, были получены данные о токах натекания и квазистационарных электрических полях, коррелирующих с геофизическими структурами ионосферы, включая экваториальную аномалию, главный ионосферный провал и границы диффузных вторжений.

Установлены характерные пространственно-временные вариации измеряемых параметров при пересечении МКС ключевых геофизических точек, таких как геомагнитный экватор, точки максимальной долготы и широты, а также локальные полуденные и полуночные меридианы. Анализ данных выявил специфические закономерности изменения электрических характеристик при прохождении различных областей ионосферы, включая субавроральные структуры в ночном полушарии и скачки тока на переходных широтах в дневном полушарии. Показано, что высоковольтная система бортового электропитания является дополнительным фактором, влияющим на величину заряда на поверхности КА. Причем в условиях магнитосферных возмущений диэлектрические материалы могут накапливать избыточный поверхностный заряд от потока электронов, который затем может релаксировать в виде первичных триггерных разрядов на электрические контакты

фотоэлектрических преобразователей, что способно инициировать вторичные устойчивые электрические дуги и даже вызывать короткое замыкание линеек фотоэлементов солнечных панелей.

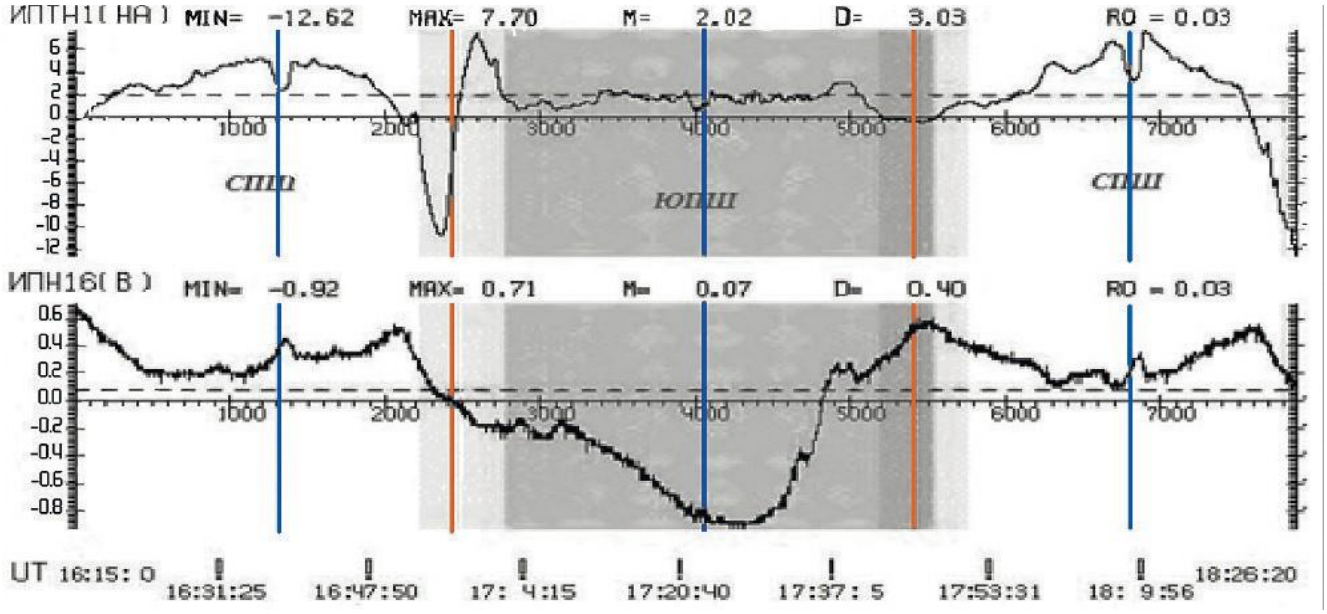


Рис. 4. Измерения токов натекания (параметр ИПТН1) и электрических полей (параметр ИПН16) 18.01.2011 г. MIN — минимальное значение параметра; MAX — максимальное значение; M — среднее значение (пунктирная гориз. линия)

Fig. 4. Measurements of leakage currents (parameter IPTN1) and electric fields (parameter IPN16) 18.01.2011. MIN — minimum value of the parameter; MAX — maximum value; M — average value (dotted horizontal line)

Исследование подтвердило возможность использования приборов контроля электрических характеристик КА для мониторинга состояния ионосферы и предоставило новые экспериментальные данные о взаимодействии крупногабаритного космического объекта с ионосферной плазмой, что представляет значительный научный интерес для развития методов мониторинга состояния ионосферы и прогнозирования условий функционирования космических систем в околоземном пространстве.

Космический эксперимент «Обстановка (1 этап)»

В статье [10] представлены результаты международного эксперимента «Обстановка (1 этап)», проведенного на Российском сегменте МКС с целью исследования электромагнитных параметров космической погоды в ионосфере Земли. Основным научным оборудованием являлся комплекс приборов плазменно-волновых измерений (ПВК), включающий магнитометр ДФМ-1 (ИКИ РАН), цифровой спектральный анализатор ШАШ-3 (Венгерская фирма), а также устройства БХТИ, ДАКУ-1 и ДАКУ-2 (Вигнеровский научный центр Венгерской академии наук).

Эксперимент проводился с использованием платформ, установленных на внешней поверхности служебного модуля МКС, с размещенными на них датчиками токов натекания, электрических и магнитных полей. Измерения охватывали частотные диапазоны от квазипостоянных до переменных полей, что позволило исследовать как стационарные, так и нестационарные процессы в ионосфере. Особое внимание уделялось влиянию крупногабаритного космического объекта, которым является МКС, на параметры окружающей плазмы. Анализ данных показал корреляцию измеряемых параметров с геофизическими структурами ионосферы, включая экваториальную аномалию (ЭА), главный ионосферный провал (ГИП) и границы диффузных вторжений (ГДВ).

В результате длительных наблюдений были выявлены характерные пространственно-временные вариации токов натекания и квазистационарных электрических полей при

пересечении ключевых геофизических точек: геомагнитного экватора, точек максимальной долготы и широты, а также локальных полуденных и полуночных меридианов. Наблюдались специфические закономерности изменения электрических характеристик в различных областях ионосферы, включая субавроральные структуры в ночном полушарии и скачки тока на переходных широтах в дневном полушарии. При этом установлено, что поведение измеряемых параметров существенно зависит от условий освещенности, таких как пересечение терминатора и изменение состояния подспутниковой точки (день/ночь).

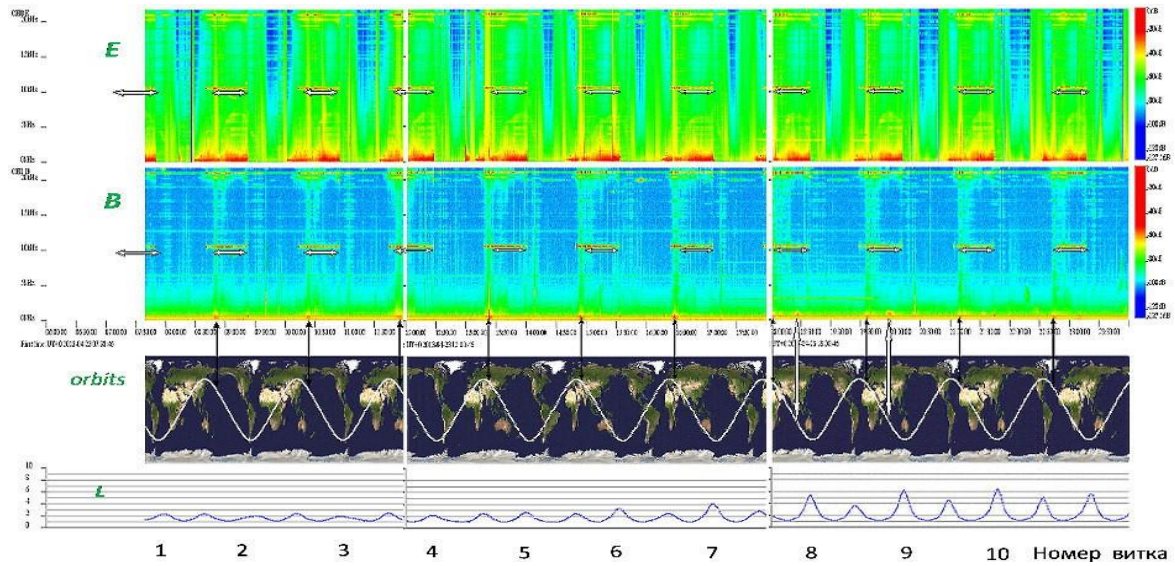


Рис. 5. Работа процессора-спектроанализатора ШАШ: а — мониторинг 23.04.2013 г., 07:38–24:00 UT
Fig. 5. Operation of the SHASH spectrum analyzer processor: a — monitoring 04/23/2013, 07:38-24:00 UT

Анализ данных показал, что основной вклад в изменение электрических характеристик вносится параметрами ионосферы, а не поверхностными свойствами космического аппарата. Однако крупногабаритный объект, такой как МКС, оказывает заметное влияние на пространственно-временную динамику токов натекания и электрического поля в приповерхностной зоне. Полученные результаты согласуются с существующими моделями экваториальной аномалии, включая эффект «ионосферного фонтана», вызванный дрейфом заряженных частиц вдоль силовых линий геомагнитного поля.

Значимость эксперимента заключается в создании базы данных по физическим параметрам плазмы и электромагнитных полей в приповерхностной зоне МКС, что позволяет статистически выделить геофизические компоненты из долговременных измерений. Результаты эксперимента имеют важное значение для совершенствования моделей взаимодействия космических аппаратов с ионосферной плазмой, а также для развития методов мониторинга состояния ионосферы. Эксперимент подтвердил возможность использования относительно простых приборов для диагностики структурных особенностей ионосферы, что открывает новые перспективы для исследования космической погоды и её влияния на работу космических систем.

Эксперимент на американском сегменте «МКС»

Условия, связанные с ионизирующим излучением на МКС при проектировании и проверке, определены в документе SSP-30512-Rev.C [11], в то время как метод тестирования электронных компонентов и процедуры анализа определены в документе SSP-30513Rev. B [12]. Не все авиационное оборудование на МКС подвергается процессам тестирования и верификации, определенным в SSP-30512 и SSP-30513. Некоторое оборудование с более низкой критичностью допускается к использованию на основе испытания собранного изделия на высокоэнергетический протонный скрининг.

Документы, касающиеся требований к ионизирующему излучению на МКС [11,12], не

содержат конкретных указаний или рекомендаций по учету влияния защитной массы конструкции на окружающую среду, хотя в них приведены справочные таблицы, описывающие влияние простых геометрических форм защитной массы. В целях проектирования и проверки были приняты условия с небольшой глубиной экранирования для оценки наихудших последствий TID и SEE.

Глубина экранирования, обычно предполагаемая при проектировании и проверке МКС, существенно меньше фактической глубины экранирования. [13] Для расчёта проектной нагрузки по общей ионизирующей дозе (TID) МКС рассматривается в худших условиях: на высоте 500 км при максимуме солнечной активности, и включает захваченные протоны, определенные в соответствии с AP8MAX, и захваченные электроны, определенные в соответствии с AEi8MAX, без включения GCR и вторичных частиц. Применяется запасы прочности ×2 к рассчитанным дозам. В реальных условиях (350–400 км, фаза убывающей солнечной активности) дозиметры внутри обитаемого объёма фиксируют 5–12 мкГр/ч (0,5–1,2 мрад/ч), что даёт годовую дозу 44–105 мГр, то есть менее половины проектного порога в 1 кГр.

Электроника критических систем проходит всесторонние испытания на устойчивость к TID и эффектам единичных событий (SEE) — методом Scott Effective Flux Approach (SCFA) и Figure-of-Merit (FOM), а некритичные модули проверяются упрощённо. На борту действует система EDAC, способная автоматически исправлять одиночные (однобитовые) ошибки в DRAM (корректируется около 87 % сбоев), при этом мультибитовые события (порядка 13 %) связаны с одновременным воздействием на соседние ячейки памяти.

За первые четыре года полёта зарегистрировано всего 3 аномалии (рисунок 6, возможно связанных с SEE, ни одна из которых не привела к критическому отказу, а три случая отказов MDM (мультиплексоров-демультиплексоров) в американском сегменте (16 блоков) оказались в 2 раза реже прогнозируемых 6 за 4 года, без корреляции ни с событиями SEP, ни с прохождениями через Южно-Атлантическую аномалию. Анализ географического распределения SEU (soft errors) показывает, что на регион SAA приходится лишь небольшая доля (4 сбоя из 299), тогда как основная часть приходится на «рога» полярных областей и средние широты.

На рисунке 7 показана сводная внешняя карта для всех всех 6 внешних MDM (перечисленных в таблице 1) наблюдаемого среднего значения скорости обмена DRAM SEU на внешнем MDM за 135-дневный период сбора данных с оценками, полученными с использованием этих методов FPA и FOM SEU.

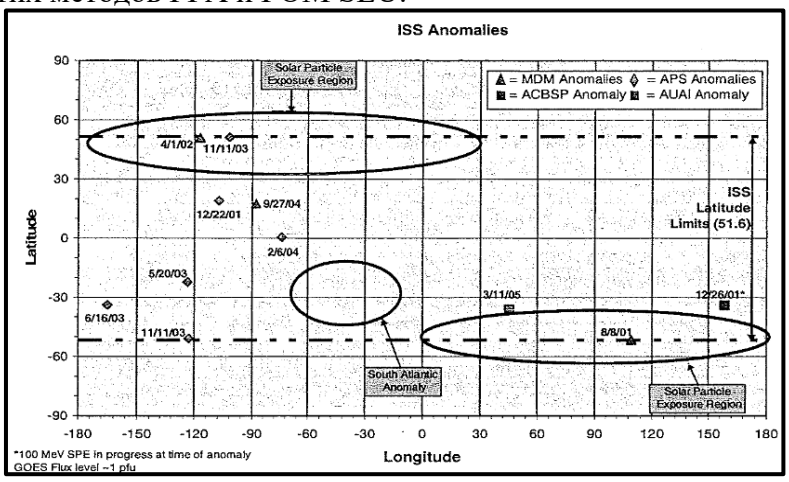


Рис. 6. График распределения электромагнитных аномалий 2001-2005 гг. MDM — мультиплексор-демультиплексор; AFS — Автоматическое переключение полезной нагрузки; ASSP — Система передачи сигналов в базовой полосе, AUAI — ACWCS Audio Iuterface Unit

Fig. 6. SEE anomaly candidates - 2001 to 2005. MDM — multiplexer-demultiplexer; AFS — Automatic Payload Switch; ASBSP— Assembly and Contingency System Baseb and Signal Pmcessm; AUAI — ACWCS Audio Iuterface Unit

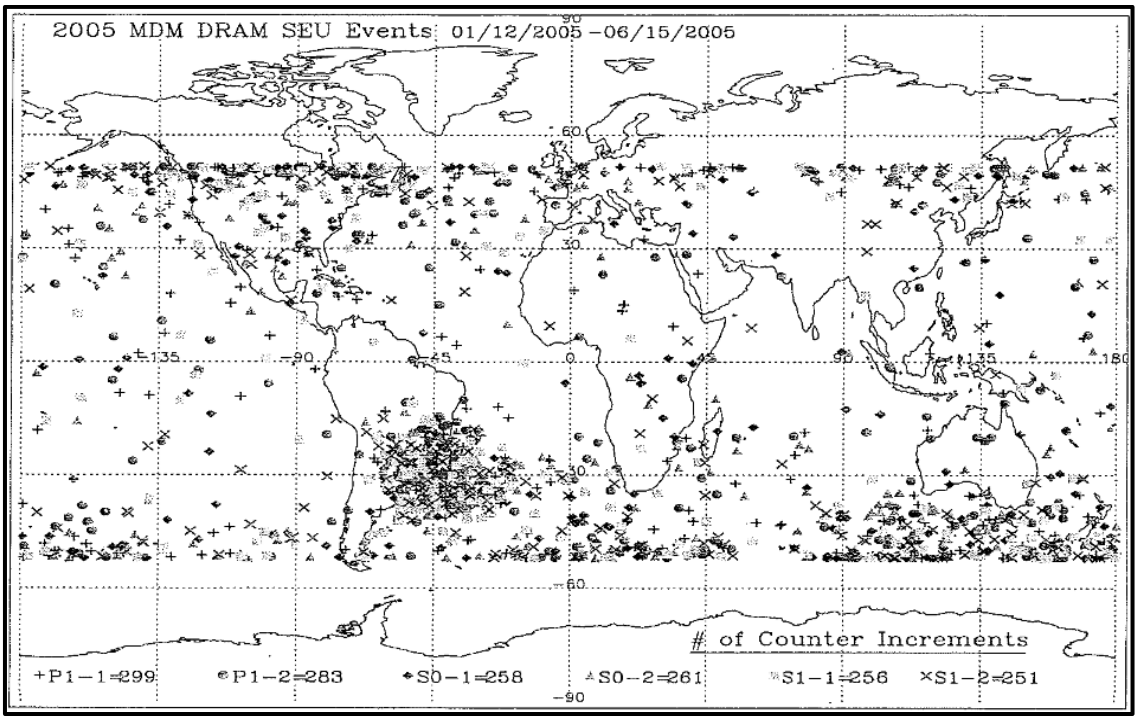


Рис. 7. Сводная внешняя карта MDM DREAM SEU на МКС; календарное время составляет 155 дней, а время сбора данных - 135 дней после учета периодов потери сигнала

Fig. 7. Aggregate ISS External MDM DRAM SEU Map; 155 days calendar time with 135 days dataacquisitiontime after accounting for loss-of-signal (LOS)period

Таблица 1 - Внешние сбои ISS MDM DRAM, соответствующие рисунку 2; общее количество и распределение по географическим регионам

Тип устройства	Регион SAA	«Рога» (выс. широты)	Средние широты	Всего ошибок
MDM P1-1 Type 4	73	129	97	299
MDM P1-2 Type 10	69	124	90	283
MDM S0-1 Type 10	41	121	96	258
MDM S0-2 Type 10	72	105	84	261
MDM S1-1 Type 10	81	97	78	256
MDM S1-2 Type 4	69	108	74	251
Итого	**405**	**684**	**519**	**1608**

Детальный анализ воздействия как естественной, так и индуцированной ионизирующей радиации на окружающую среду при проектировании, разработке и выполнении полетов позволил создать безопасную и эффективную пилотируемую космическую платформу, которая в значительной степени защищена от вредного воздействия окружающей среды ионизирующего излучения. Указывается на необходимость проведения дополнительной работы, направленной на развитие практического понимания производства вторичных частиц в массивных конструкционных экранах, для проектирования и проверки.

Российская орбитальная станция

12 апреля 2021 года в рамках закрытого совещания по вопросам развития космической отрасли, проведенного под председательством президента Российской Федерации Владимира Путина, был озвучен стратегический план поэтапного вывода России из международного проекта Международной космической станции. Одновременно было объявлено о намерении реализовать национальный проект создания автономной Российской орбитальной станции (РОС), призванной стать ключевым элементом национальной космической инфраструктуры.

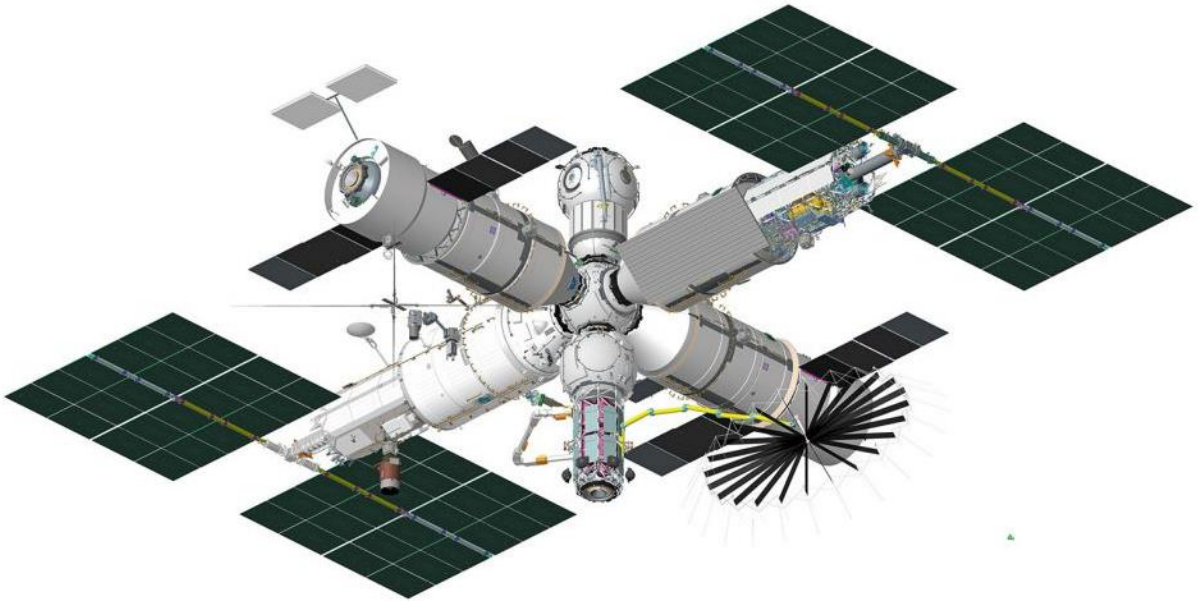


Рис. 8. Российская орбитальная станция
Fig. 8. Russian Orbital Station

Предварительная концепция и макет РОС были представлены государственной корпорацией «Роскосмос» в августе 2022 года. Процесс утверждения технико-экономического обоснования проекта занял более года. 20 марта 2024 года правительством Российской Федерации был одобрен паспорт федерального проекта «Создание космического комплекса Российской орбитальной станции». Роскосмос 2 апреля 2024 года официально сообщил об окончательном утверждении эскизного проекта РОС, разработанного ракетно-космической корпорацией «Энергия».

Генеральный директор госкорпорации «Роскосмос» 2 июля 2024 года утвердил детализированный генеральный график реализации проекта Российской орбитальной станции. В соответствии с данным графиком, первый этап строительства предусматривает выведение на орбиту научно-энергетического модуля (НЭМ-РОС) уже в 2027 году. В период до 2030 года планируется последовательная стыковка трех дополнительных модулей: универсально-узлового модуля (УУМ), шлюзового модуля (ШМ) и базового модуля (БМ). Второй этап строительства запланирован на 2031–2033 годы и предполагает расширение функциональных возможностей станции за счет ввода в эксплуатацию двух целевых модулей (ЦМ1 и ЦМ2).

Проект Российской орбитальной станции представляет собой масштабную и многоэтапную программу, направленную на создание современной национальной орбитальной платформы для проведения фундаментальных и прикладных исследований в условиях космического пространства.

Ключевым отличием РОС от МКС является полярная орбита (наклонение ~97–98°), что обеспечит полное покрытие поверхности Земли, включая Арктику и Северный морской путь. Действующая в настоящее время среднеширотная МКС обеспечивает покрытие лишь 10% территории России (наклонение 51,6°). Такая полярная орбита проходит через зоны с ослабленной магнитосферой (около полюсов), что позволяет изучать радиационные условия, приближенные к дальнему космосу. Это полезно для тестирования защиты экипажей в рамках лунных и марсианских миссий. Предполагается что РОС будет функционировать на солнечно-синхронной орбите, что обеспечивает стабильное освещение для энергоснабжения и проведения научных экспериментов.

При этом, следует учитывать, что высокоширотные орбиты проходят через области с высокой концентрацией заряженных частиц (радиационные пояса), что увеличивает риски для здоровья экипажа и требует усиленной защиты.

Заключение

В процессе создания космической техники разработчики сталкиваются с новыми вызовами в области космической деятельности, включая развитие технологической базы, электронно-компонентной базы, необходимостью резервирования высокоскоростных каналов связи, а также предполагаемым серийным впуском космических аппаратов. При этом целесообзрано на этапе проектирования учитывать воздействие электромагнитных полей на космические аппараты.

Основные вопросы, требующие анализа при анализе функционирования космиечких аппаратов в условиях электромагнитных полей:

– орбита многий отечественных космических аппаратов проходит через полярные области ("полярная" орбита, высота 400 км, наклонение 97 градусов), этот факт может иметь значительное влияние на возникающие разность потенциалов и токи на поверхности. На орбитах с высотами 200–2000 км и наклонением более 70 градусов воздействующими факторами являются: холодная ионосферная плазма, авроральные электроны, солнечное излучение;

– установка на борт космических аппаратов солнечных батарей, выдающих напряжение 120 В, ранее устанавливались солнечные батареи напряжением 28 В;

– разряды возникают при превышении разности потенциалов между плазмой и корпусом величины 60 В. Разряды могут происходить на поверхности модулей в результате пробоя анодированного покрытия противометеороидных экранов толщиной 1,5 мкм, при превышении потенциала ±60 В.

Список источников

1. РКК «Энергия»: 48 лет со дня запуска станции «Салют» // РКК «Энергия» - Новости 19.04.2019. https://www.energia.ru/ru/news/news-2019/news_04-19.html
2. Гальпер А.М., Грачев В.М., Дмитриенко В.В. и др. Новая компонента внутреннего радиационного пояса Земли - электроны высоких энергий // Письма в ЖЭТФ. 1983. Т. 38, № 8. С. 409-411.
3. *Воронов С.А., Гальпер А.М., Дмитриенко В.В. и др.* Ядерная физика, космическое излучение, астрономия. М.: ГНТП, МГУ, 1994. С. 23.
4. *Гапонов В.А., Железняков Б.А.* Орбитальный комплекс «Мир». Триумф отечественной космонавтики // Война и мы. Ракетная коллекция. — Москва : Эксмо : Яуза, 2017. — 176 с.
5. Россия-ЕКА-США. Программа полета ЭО-20 // Новости Космонавтики №19/108. — 10-23 сентября 1995 г. — С.13-27.
6. *Voronov S.A., Gal'per A.M., Koldashev S.V., Mikhajlov V.V., Naumov P.YU., Popov A.V., Chesnokov V.YU.* Mariya-2 charged particle magnetic spectrometer // Pribory i Tekhnika Eksperimenta. – 1991. – Vol. 34, No. 2. – P. 59-62. – EDN KSGSRF.
7. *Серебров А.А., Усачев Ю.В., Шабельников В.Г.* Исследование низкочастотных магнитных полей в обитаемых модулях космической станции «МИР»//Исследовано в России: электрон. журнал, 2004. № 36. С. 386-403.
8. Международная космическая станция // Роскосмос. https://www.roscosmos.ru/202/
9. *Лисаков Ю.В., Лапшинова О.В., Пушкин Н.М. [и др.]* Измерения токов натекания и квазистационарного электрического поля в приповерхностной зоне РС МКС в ионосфере Земли // Космическая техника и технологии. – 2021. – № 4(35). – С. 5-21. – DOI 10.33950/spacetech-2308-7625-2021-4-5-21. – EDN LSKYTX.
10. *Климов С.И., Грушин В.А., Балайти К. [и др.]* Исследования в ионосфере электромагнитных параметров космической погоды в эксперименте "Обстановка (1 этап)" на Российском сегменте МКС // Космическая техника и технологии. – 2021. – № 1(32). – С. 20-41. – DOI 10.33950/spacetech-2308-7625-2021-1-20-41. – EDN GKHQSU.
11. *Boeder P.* Space Station Ionizing Radiation Desim Environment. SSP-30512 Revision C. // National Aeronautics and Space Administration, Space Station Program Office, Johnson Space Flight Center, Houston, Texas 77058 June 3, 1994.
12. *Boeder P.* Space Station Ionizing Radiation Environment Effects Test and Anal sis Techniques. SSP-30513 Revision B // National Aeronautics and Space Administration, Space Station Program Office, Johnson Space Flight Center, Houston, Texas 77058 June 3,1994.
13. *Koontz S.L., Boeder P.A., Pankop C., Reddell B.* The ionizing radiation environment on the International Space Station: performance vs. expectations for avionics and materials // IEEE Radiation Effects Data Workshop, 2005., Seattle, WA, USA, 2005, pp. 110-116, doi: 10.1109/REDW.2005.1532675.
14. *Полевода Ю.А., Крижановский М.Н., Литвинов С.В., Горбунов Р.В.* Возможности применения SDR-технологий для работы с сигналами ГНСС // Сборник трудов Национальной научно-практической конференции – Москва: РТУ МИРЭА, 2022. – С. 330-335. – EDN AUQDSX.

INTERNATIONAL SPACE STATION: FUNCTIONING UNDER ELECTROMAGNETIC DISTURBANCES

S.V. Litvinov[1], E.A. Chistyakov[2], I.A. Manyakin[3], M.V. Sysoev[4]
[1–4] MIREA — Russian technological university (Moscow, Russia)
[1] litvinov_s@mirea.ru

Abstract

The scientific problem of research is to ensure the resistance of onboard equipment of spacecrafts to electromagnetic fields created by lightning discharges, radar stations and other external influencing factors of outer space. A review of manned space stations (Salyut, Mir, ISS) and ongoing experiments to study the electromagnetic fields surrounding the stations was carried out. The results obtained allow us to conclude that it is necessary to predict the electromagnetic situation on board the spacecraft and to parry the emerging problems created by electromagnetic fields and external influencing factors of outer space.

Keywords

Spacecraft, electromagnetic fields, electromagnetic impact, orbital station, Salyut, Mir, ISS, ROS, spacecraft protection, onboard equipment.

The work was carried out within the framework of implementation of the strategic academic leadership program "Priority-2030" (agreement from 31.03.2025 № 075-15-2025-020, federal project "Universities for the generation of leaders" of the national project "Youth and Children").

УДК 621.396.69

ПАРАМЕТРЫ АЛГОРИМТА ИМИТАЦИИ ОТЖИГА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ОТКАЗОВ В АНАЛОГОВЫХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВАХ

Нгуен Дык Хай[1], **А.В. Долматов** [2], **Фам Суан Хань** [3], **Во Тхе Хай** [4]
[1-4] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] duchai09011997@gmail.com, [2] dolmatov@mirea.ru, [3] phamxuanhanhld161@gmail.com, [4] thehai.ttrd@gmail.com

Аннотация

Постановка проблемы. Алгоритм имитации отжига — это алгоритм оптимизации, который помогает решать задачи оптимизации. Алгоритм позволяет целевой функции сходиться к глобальному минимуму. Если мы применим этот алгоритм к задаче диагностики неисправностей в аналоговых радиоэлектронных устройствах (АРУ), нам нужно преобразовать его так, чтобы алгоритм мог успешно найти неисправность устройства. И самая важная задача — правильно определить параметры алгоритма для каждой отдельной задачи диагностики неисправностей. В этой статье мы представим параметры, которые необходимо определить в процессе его применения к проблеме диагностики неисправностей и способы их определения.

Цель. Цель данной работы – показать, как можно определить параметры алгоритма имитации отжига при его применении для диагностики неисправностей в аналоговой радиоэлектронике. Эти параметры имеют параметры, которые будут иметь общий способ определения для всех задач, и есть параметры, которые должны быть определены отдельным способом в зависимости от типа диагностической проблемы.

Результаты. Практическое тестирование на реальном АРУ показало, что предложенные параметры обеспечивают сходимость к глобальному оптимуму с вероятностью более 90% при разумных вычислительных затратах. Кроме того, адаптивная настройка параметров, основанная на характеристиках конкретной задачи, позволяет дополнительно повысить эффективность алгоритма.

Практическая значимость. Разработанные параметры алгоритма имитации отжига для диагностики неисправностей в радиоэлектронных устройствах имеют высокую практическую ценность. Применение алгоритма позволяет автоматизировать процесс выявления отказов, таких как короткие замыкания, обрывы цепей и неисправности компонентов, что существенно сокращает время и затраты на тестирование и ремонт. Оптимизированные параметры обеспечивают высокую точность диагностики даже при ограниченных вычислительных ресурсах, что делает алгоритм применимым для широкого спектра устройств — от бытовой электроники до сложных промышленных систем. Адаптивная настройка параметров в зависимости от характеристик устройства повышает универсальность подхода, позволяя использовать его в различных производственных условиях.

Ключевые слова

Диагностика отказов, аналоговые радиоэлектронные устройства, параметры алгоритма, метод отжига целевая функция.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

В современном мире, где электроника играет ключевую роль в самых различных областях - от бытовых приборов до сложных промышленных систем, обеспечение надежности и эффективности аналоговых радиоэлектронных устройствах становится все более важной задачей. Диагностика неисправностей в аналоговых радиоэлектронных устройствах является одной из приоритетных проблем, поскольку сбои в работе могут привести к значительным экономическим потерям, а в некоторых случаях — к угрозе безопасности. Применение алгоритма имитации отжига для диагностики неисправностей представляет собой перспективный подход, который позволяет оптимизировать процесс поиска отказов в сложных аналоговых радиоэлектронных устройствах. Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью разработки эффективных, быстрых и точных методов диагностики, способных справляться с возрастающей сложностью современных аналоговых радиоэлектронных устройствах. Применение алгоритма имитации отжига в этой области может значительно улучшить качество диагностики, сократить время анализа и повысить

надежность систем, что делает данную тему важной как с научной, так и с практической точки зрения.

Параметры для разработки метода отжига в диагностике отказов АРУ

Начальная температура

Начальная температура алгоритма — это параметр, который влияет на результаты диагностики неисправностей в аналоговых радиоэлектронных устройствах. Эта температура находится в уравнении снижения температуры и уравнении вероятности получения худшего решения. В начале алгоритма температура алгоритма должна быть большой, чтобы алгоритм мог принимать решения, при которых целевая функция достигает большего значения, что помогает алгоритму избежать застревания в локальных минимумах. Чтобы вычислить этот параметр, из начального решения необходимо случайным образом сгенерировать большое количество соседних решений, а затем выбрать положительные преобразования, при которых целевая функция достигает большего значения. Рассчитаем температуру на каждом из этих переходов. Наконец, вычисляем среднее значение только что рассчитанных температур.

Длина цепи Маркова

Чтобы повысить точность и надежность диагностических результатов от текущего наилучшего решения, вместо того, чтобы случайным образом генерировать новое решение, мы случайным образом генерируем ряд идентификаторов новых решений, а затем сравниваем их друг с другом. Это число называется длиной цепи Маркова. Из новых решений, которые только что были созданы, мы выбираем текущее лучшее решение по критериям вероятности получения худших решений.

Начальное решение

В качестве начального решения мы выберем такое состояние устройства, при котором устройство не содержит отказов, т.е. в устройстве все компоненты имеют номинальные значения параметров. Из начального решения с помощью механизма генерации новых решений мы будем генерировать новые решения. Эти новые решения будут соответствовать неисправному состоянию устройства. Любое состояние неисправности, которое имеет параметры компонентов, которые заставляют целевую функцию достигать наименьшего значения, является состоянием фактического неисправного устройства, которое нам необходимо диагностировать.

Схема понижения температуры

В задачах оптимизации существует множество способов выбора схемы снижения температуры алгоритма, но для задачи диагностики неисправностей в аналоговых радиоэлектронных устройствах не все диаграммы помогают целевой функции достичь глобального минимума. Перепробовав множество диаграмм, мы пришли к следующей диаграмме, которая дала точные результаты диагностики.

$$T_{k+1} = 0.9 \times T_k. \quad (1)$$

Целевая функция

Целевая функция является чрезвычайно важным параметром задачи. Для каждой задачи целевая функция будет иметь разную форму. Она должна показывать суть проблемы. Мы должны построить целевую функцию таким образом, чтобы при достижении наименьшего значения ее тестом было состояние неисправности фактического АРУ, которое мы тщательно диагностируем. Основываясь на этой теории, мы построили целевую функцию по следующей формуле:

$$F = \sum_{i=1}^{n} \Delta U^2 = \sum_{i=1}^{n} (U_{\text{выход}_{\text{модели}}}(q) - U_{\text{выход}_{\text{реального}_{\text{АРУ}}}}(q))^2, \quad (2)$$

где: n – количество постоянных входных напряжений АРУ

q – состояние АРУ (решение алгоритма имитации отжига)

$U_{\text{выход}_{\text{модели}}}$ - выходное напряжение модели АРУ в пакете Simulink

$U_{\text{выход}_{\text{реального}_{\text{АРУ}}}}$ - выходное напряжение реального АРУ

Во время поиска алгоритмом оптимального решения состояние модели в Simulink будет непрерывно изменяться до тех пор, пока целевая функция не достигнет значения, близкого к наименьшему значению. Когда алгоритм останавливает процесс поиска, состояние модели будет совпадать с состоянием фактического неисправного устройства

Механизм генерации новых решений (новых состояний АРУ)

Механизм генерирует новые решения из текущего наилучшего решения. Механизм должен быть достаточно случайным и не иметь никаких ограничений, нарушающих его случайность. Когда алгоритм запустится, шаг поиска будет большим, чтобы алгоритм мог предварительно обследовать все пространство решений. Эти шаги поиска будут уменьшаться пропорционально по мере снижения температуры алгоритма. По мере развития алгоритма окончание этих шагов будет очень маленьким, чтобы алгоритм мог сойтись к глобальному минимуму.

На рисунке 1 показан процесс сходимости целевой функции до глобального минимума. Значение целевой функции теоретически равно 0. Алгоритм дает нам это значение, близкое к нулю.

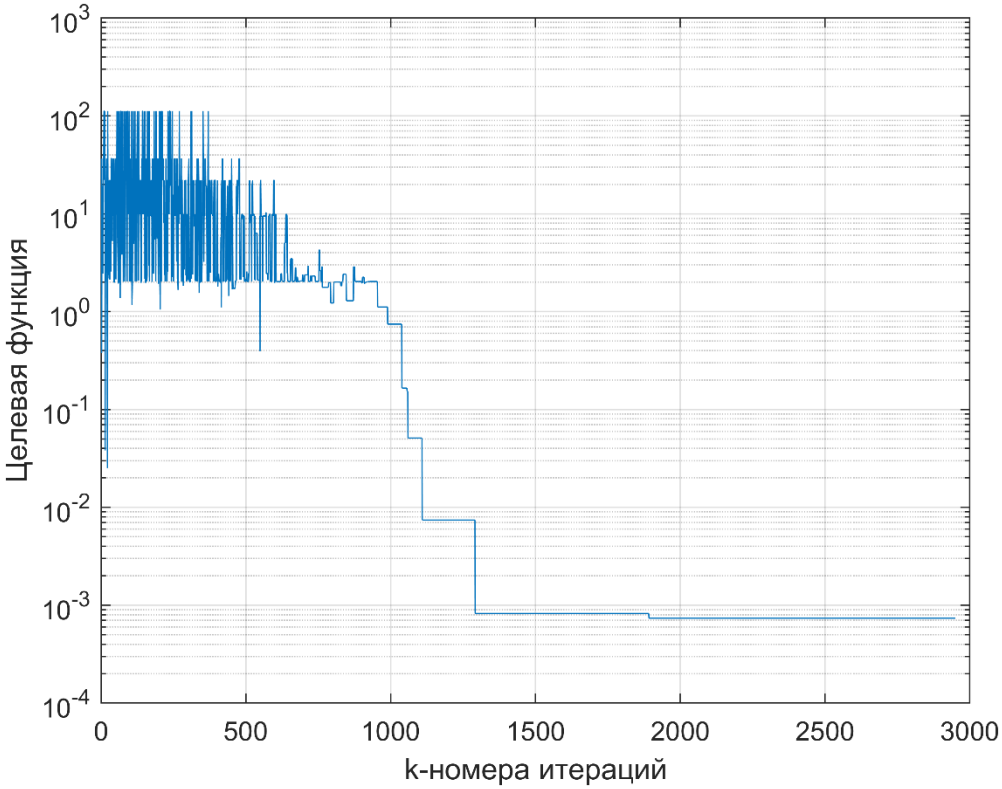


Рис. 1. Сходимость целевой функции ко квази-оптимальному минимуму
Fig. 1. Сходимость целевой функции ко квази-оптимальному минимуму

Определение правильных параметров алгоритма для каждой диагностической задачи помогает алгоритму легко и быстро сходиться на глобальном минимуме. Это помогает нам диагностировать техническое состояние аналоговых радиоэлектронных устройств.

Заключение

Метод диагностики отказов, предложенный в данной работе для аналоговых радиоэлектронных устройств (АРУ), обеспечивает эффективный подход к проведению диагностики и выявлению неисправностей в АРУ с высокой степенью точности и надежности. Благодаря этому методу процесс обнаружения потенциальных отказов становится более простым и результативным, что способствует повышению общей производительности системы и увеличению срока его службы. Дальнейшие исследования в этой области будут

сосредоточены на всестороннем изучении и выявлении всех возможных типов отказов — от самых незначительных до наиболее сложных, — которые могут быть обнаружены с использованием данного подхода. Эти усилия направлены не только на совершенствование качества диагностики, но и на создание прочной основы для оптимизации и модернизации АРУ, что в конечном итоге приведет к достижению максимальной стабильности и безопасности в его эксплуатации. Результаты исследований будут внедрены в учебный процесс РТУ МИРЭА и других вузов.

Список источников

1. *Увайсов С.У., Долматов А.В., Во Т.Х., Лу Н.Т., Нгуен К.Д.* Диагностика нарушений целостности конструкций бортовой радиоэлектронной аппаратуры при проведении ударных испытаний. Technol. J. 2024. No 2. С. 28-38
2. *Увайсов Р.И.* Метод диагностики дефектов бортовых радиотехнических устройств // Дисс. канд. Sci. (Eng.). М.: МИЭМ, 2008. 157 с
3. *Т.Х. Во, А.В. Долматов, Н.Т. Лу, К.Д. Нгуен, С.У. Увайсов.* Алгоритм учета вариаций технологических параметров конструкции для диагностирования бортовой космической аппаратуры // Научные исследования: результаты и перспективы. 2023. No 4. С. 32-37.
4. *Долматов А.В., Фам С.Х., Во Т.Х., Увайсов Р.М.* Анализ влияния температуры и фактора старения на сопротивление резистора при проведении ускоренных испытаний. Инновационные, информационные и коммуникационные технологии сборник трудов XXI Международной научно-практической конференции. Москва, 2024. 2024. – 159 – 163 с.
5. *С. У. Увайсов, А. В. Долматов, Хай Тхе Во, Нгок Тьен Лу, Конг Дык Нгуен.* Диагностика нарушений целостности конструкций бортовых радиоэлектронных средств при проведении ударных испытаний // Российский технологический журнал: 2024; 12(2):28-38. https://doi.org/10.32362/2500-316X-2024-12-2-28-38
6. *Во Тхе Хай, Долматов А. В., Нгуен Минь Туонг*. Исследование амплитудно-частотных характеристик опытного образца блока бортовой космической аппаратуры // Мехатроника, автоматика и робототехника. - 2024. - No 13: 170-181. https://doi.org/10.26160/2541-8637-2024-13-179-181

PARAMETERS OF ANNEALING SIMULATION ALGORITHM FOR DIAGNOSING FAILURES IN ANALOG RADIOELECTRONIC DEVICES

Nguyen Duc Hai [1], A.V. Dolmatov [2], Pham Xuan Hanh[3], Vo The Hai [4]
[1–4] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] duchai09011997@gmail.com, [2]dolmatov@mirea.ru, [3]phamxuanhanhld161@gmail.com, [4]thehai.ttrd@gmail.com

Abstract

The simulated annealing algorithm is an optimization algorithm that helps solve optimization problems. The algorithm allows the objective function to converge to a global minimum. If we apply this algorithm to the problem of diagnosing faults in analog radioelectronic devices (AGCs), we need to transform it so that the algorithm can successfully find the fault of the device. And the most important task is to correctly determine the algorithm parameters for each individual troubleshooting task. In this article, we will introduce the parameters that need to be defined in the process of applying it to the problem of troubleshooting and how to determine them.

Keywords

Failure diagnostics, analog radio-electronic devices, algorithm parameters, annealing method, target function.

УДК 629.3.066

ГЛОНАСС В СИСТЕМЕ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ДТП С УЧАСТИЕМ ДВУХКОЛЕСНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Никитин Василий Валерьевич
ООО «ФИКОМ-ИТ» Москва, Россия
nvv@ficom-it.ru

Аннотация

В статье рассмотрены принципы работы инерциальной системы навигации с использованием датчиков на базе микроэлектромеханических систем (МЭМС), а также метод комплексирования инерциальной (ИСН) и спутниковой навигационной системы (ГНСС). Описаны основные типы погрешностей датчиков, применяемых в ИСН. Предложен способ их калибровки. С целью исследования точности навигационного решения проведен эксперимент и приведены траектории движения с ИСН и ГНСС системами навигации. Показано, что использование комплексирования навигационного решения позволяет значительно улучшить точность расчета траектории движения двухколесного транспортного средства. Так же показана достаточность использования инерциальной системы навигации совместно с данными одометра для определения координат дорожно-транспортного происшествия.

Ключевые слова

Комплексирование; инерциальная навигационная система; фильтр Каллмана; МЭМС.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

В системе вызова экстренных и оперативных служб «ЭРА-ГЛОНАСС» при дорожно-транспортных происшествиях (ДТП) одним из ключевых параметров является определение координат транспортного средства (ТС) в момент аварии, а также параметров его движения непосредственно перед ДТП. Параметры приемников глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС), применяемой в устройствах вызова экстренных и оперативных служб, устанавливаемых в ТС, имеют низкую точность, особенно в плотно застроенной городской среде, а также выдачу навигационного решения не чаще одного раза в секунду. Эти характеристики устройств при использовании на двухколесных ТС не позволяют точно оценить их скорость движения, а следовательно степень ущерба при ДТП. Так же значительное неизвестное влияние окружающей среды на радиосигнал принимаемый приемником ГНСС и низкое соотношение сигнал/шум вносят в навигационное решение ошибку либо делают его не валидным. [2, 3]. Решением данной проблемы может быть использование инерциальной навигационной системы. Но для инерциальных навигационных систем присутствует эффект накопления ошибки, так как дисперсия ошибки определения координаты пропорциональна кубу времени интегрирования [1]. Поэтому, инерциальные навигационные системы сложно использовать без коррекции в течение продолжительного времени.

Принципы работы инерциальной системы навигации

Будет рассмотрена инерциальная система навигации (ИСН) на базе микроэлектромеханических систем (МЭМС), которые зачастую обладают низкой стоимостью [7] и являются и миниатюрными устройствами [8;9] с низким энергопотреблением [7]. ИСН состоит как минимум из двух датчиков: трехосных акселерометра и гироскопа. Акселерометр измеряет проекции удельных сил, действующих на датчик со стороны других тел. Гироскоп измеряет проекции абсолютной угловой скорости. В обоих случаях все проекции осуществляются на оси чувствительности датчика. У датчиков в идеальном случае оси чувствительности должны быть взаимно перпендикулярными и иметь одинаковую чувствительность, но на практике это не так и для компенсации в модели погрешностей вводятся соответствующие параметры. В системах навигации на базе бытовых МЭМС

допустимо использовать метод Эйлера, полагая, что значения линейных ускорений и угловых скоростей постоянны во время всего периода семплирования Δt между эпохами k − 1 и k.

Результатом работы ИСН являются расчетные значения позиции (p), скорости (v) и ориентации объекта (R). Эти значения можно объединить в вектор, который называется номинальным состоянием [2]:

$$\hat{x}_{ins} = [\rho, v, R]. \quad (1)$$

В дополнении к номинальному состоянию вводят понятие истинного состояния x и ошибок δx.

$$x = \hat{x} \oplus \delta x. \quad (2)$$

Погрешности инерциальных датчиков делятся на случайные и систематические. Случайные составляющие также называются случайными ошибками измерений. Их к тому или иному моменту времени нельзя предсказать, но можно описать их поведение. Математическая модель случайных составляющих определяется как последовательность суммы отсчетов белого шума с отсчетами процесса Маркова или фликкер-шума [10]. К систематическим погрешностям инерциальных датчиков относят отклонения действительных значений масштабных коэффициентов, не ортогональность осей, смещение нуля, а также несоосность осей акселерометра и гироскопа в составе ИСН от их номинальных значений. Эти отклонения являются параметрами датчиков. Отклонения масштабных коэффициентов задаются как процент от их номинального значения в 100%: так, отклонение в ±1% означает, что величина на выходе может лежать в пределах [99,101] % от измеряемого значения. Определение систематических погрешностей измерительного прибора, а также их компенсация осуществляется калибровкой.

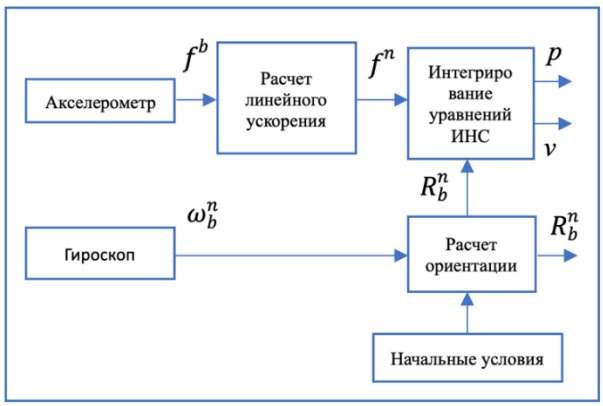


Рис. 1. Схема работы инерциальной системы навигации
Fig. 1. The scheme of operation of the inertial navigation system

Калибровка инерциальных датчиков

При решении задачи позиционирования ТС применяются недорогие датчики на основе МЭМС. Их параметры приведены в документации производителя. В таблице 1 приведены допустимые отклонения параметров от номинального значения. Как правило параметры датчиков, построенные по одинаковой технологии схожи.

Таблица 1 – Параметры акселерометра и гироскопа LSM6DS фирмы ST

Параметр	Акселерометр	Гироскоп
Предел измерений	±156.8 м/с²	$2000°\cdot c^{-1}$
Погрешность	±3%	±3%
Нелинейность шкалы	±0.5%	±0.2%
Неортогональность осей	±2%	±2%
Смещение нуля при 25C	±0.8 м/с²	$\pm 5°\cdot c^{-1}$

В работе [8] показано, что выполнение калибровки и последующая компенсация систематических погрешностей позволяет значительно снизить ошибки определения ориентации. В основе методов калибровки лежит измерение выходных сигналов при известном эталонном воздействии. Наиболее точные методы предполагают использование программируемых наклонно-поворотных стендов: блок трехосных акселерометров или гироскопов заданным образом ориентируется в пространстве и/или вращается с известной скоростью. Затем измерения калибруемого прибора сравниваются с эталонными значениями. Данный способ является сложным и дорогим, так как требует специальное оборудование. Благодаря методике авторов работы [11], требования к точности поворотного стола и к количеству вращающихся осей могут быть существенно снижены. С учетом методов, представленных в работе [12] была сделана специальная оснастка для калибровки датчиков на устройстве, представленная на рисунке 2. В нее помещался прибор и выполнялась серия поворотов на каждую плоскость оснастки с паузой 1 секунда. При этом снимались показания датчиков и усреднялись. Исходя из выводов, сделанных в работе [8] для уточнения фактических значений параметров датчиков при их работе достижимая методом точность составляет ≈ 0.06 % для масштабных коэффициентов гироскопа, ≈ 0.12% для коэффициентов взаимного влияния осей, ≈ 0.03° для несоосности осей акселерометра и гироскопа при 95 % доверительном интервале.

Слабосвязанная система комплексирования

При слабосвязанной системе комплексирования навигационного решения ИСН и ГНСС вырабатывают независимые решения. При появлении связующего блока готовое навигационное решение от спутникового датчика уточняется с помощью фильтра Калмана на основе учета показаний инерциальной подсистемы. При этом каждая из составляющих навигационной системы работает отдельно и не влияет на функционирование другой подсистемы.

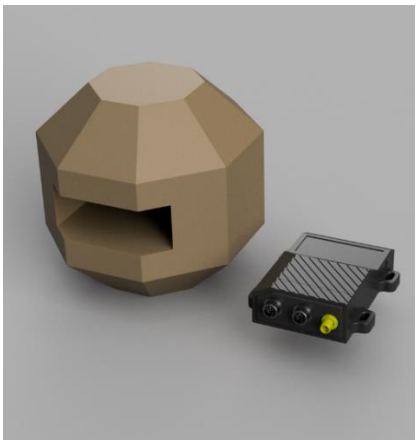


Рис. 2. Оснастка калибровки датчиков инерциальной системы навигации
Fig. 2. Equipment for calibration of sensors of the inertial navigation system

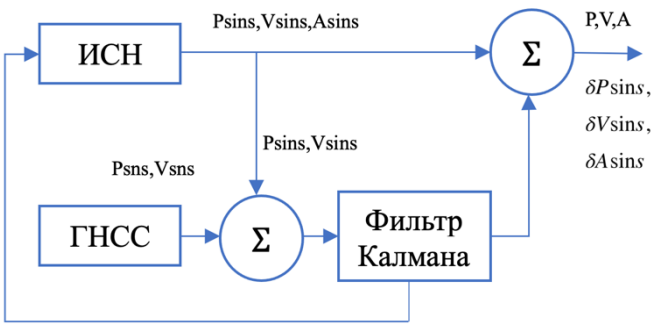


Рис. 3. Интеграция ГНСС и ИСН на основе слабосвязанной системы комплексирования
Fig. 3. Integration of GNSS and IPN based on a loosely coupled integration system

Psins,Vsins,Asins – координаты, скорость и углы ориентации, вычисленные ИСН. Psns, Vsns – координаты и скорость, вычисленные ГНСС. $\delta Psins, \delta Vsins, \delta Asins$ – оценки погрешностей определения координат, скорости и углов ориентации комплексированной ИСН и ГНСС.

Результаты эксперимента

Для оценки эффективности алгоритма использовались данные полученные с устройства, оснащенного акселерометром LSM6DS от фирмы ST, навигационным приемником НИИМА ПРОГРЕСС ПРО-04, внешней антенной ГНСС установленном на двухколесном ТС (мотоцикл). Проверочный маршрут составлял порядка 1000 метров. В зоне эксперимента было устойчивое поле ГНСС. Для исключения переключения и одной спутниковой системы на другую, прием всех сигналов ГНСС кроме ГЛОНАСС в приемнике был отключен. Датчики ИСН были откалиброваны способом приведенным выше. По итогам данного эксперимента были получены результаты представленные на рисунках 4, 5, 6.

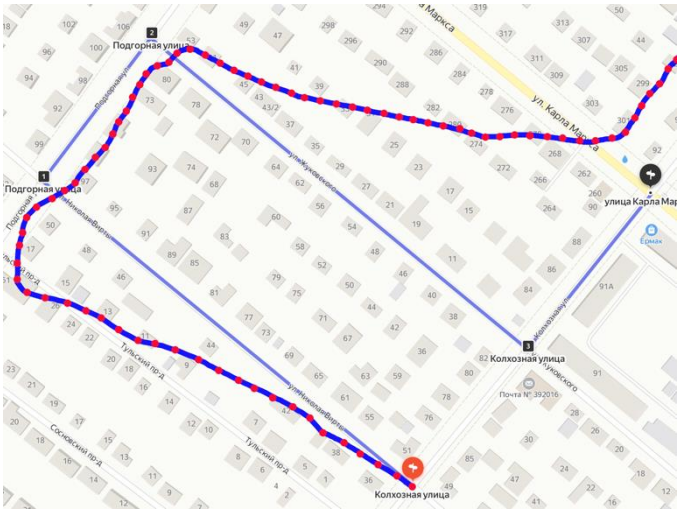


Рис.4. Проезд по маршруту с использованием только инерциальной системы навигации
Fig.4. Driving along the route using only an inertial navigation system

При использовании только инерциальной системы навигации, с простыми датчиками базе микроэлектромеханических систем (МЭМС), вычисленная траектория движения очень сильно отклонилась от маршрута (рисунок 4).

При использовании только спутниковой системы навигации вычисленная траектория движения совпадает с маршрутом с учетом погрешности ГНСС для данного типа приемника, что составляет 5–30 метров (рисунок 5).

При использовании комплексированного решения ГНСС и ИНС, а также привязки расчета траектории к графу движения по дорожной сети, результат получился наилучшим (рисунок 6).

После обработки данных полученных с использованием только ИСН, в расчет были добавлены данные с одометра. Данные одометра имеют погрешность до 5%. При этом, рассчитанная траектория получилась с точностью не более 50–60 метров к маршруту (рисунок 7).

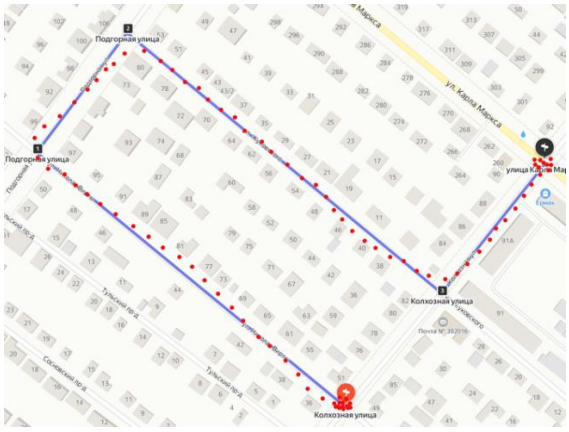


Рис.5. Проезд по маршруту с использованием только спутниковой системы навигации
Fig.5. Driving along the route using only the satellite navigation system

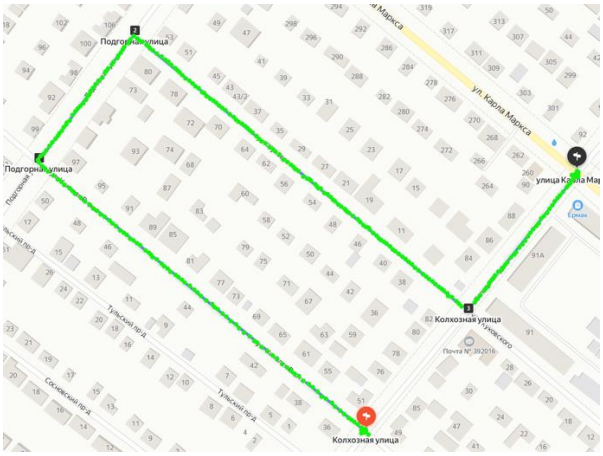


Рис.6. Проезд по маршруту с использованием инерциальной системы навигации и данных с одометра
Fig.6. Driving along the route using an inertial navigation system and odometer data

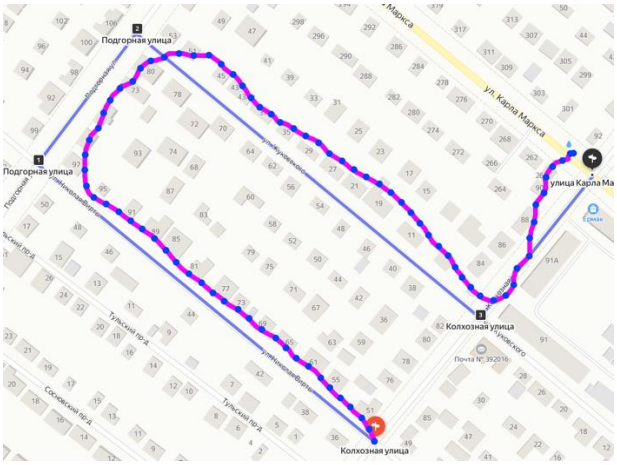


Рис.7. Проезд по маршруту с использованием инерциальной системы навигации и данных с одометра
Fig.7. Driving along the route using an inertial navigation system and odometer data

Заключение

Анализ полученных маршрутов подтверждает, что использование комплексированного навигационного решения с ГНСС и ИСН позволяет получить наилучшую рассчитанную траекторию движения. Но в условиях не стабильно работающего ГНСС (плотная застройка, помехи и т. п.) использование инерциальной системы навигации вместе с данными одометра позволит с достаточной точностью определить координаты места ДТП, а также степень ущерба. Это позволит значительно сократить время до оказания помощи.

Список источников

1. Salychev O.S. *Inertial systems in navigation and geophysics*. Moscow, Bauman MSTU Press, 1998, 352 p.
2. Grewal M.S., Weill L.R., Andrews A.P. *Global positioning systems, inertial navigation, and integration*. 2nd ed. New York, John Wiley & Sons, 2007, 408 p.
3. Матвеев В.В., Распопов В.Я. *Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем*. Распопов В.Я., ред. Санкт- Петербург, Концерн «ЦНИИ “Электроприбор”», 2009, 278 с.
4. *Stern A., Kos A.* Positioning performance assessment of geodetic, automotive, and smartphone gnss receivers in standardized road scenarios [Текст] // IEEE access. — 2018. — Т. 6. — С. 41410—41428.
5. *Fitzgerald A. M.* MEMS Inertial Sensors [Text] // Position, Navigation, and Tim- ing Technologies in the 21st Century: Integrated Satellite Navigation, Sensor Systems, and Civil Applications. — 2020. — P. 1435—1446.
6. *Sensortec B.* Intelligent 9-axis absolute orientation sensor [Electronic Re- source]. — 2019. — URL: https : / / www . bosch - sensortec . com / media / boschsensortec / downloads / datasheets / bst - bno055 - ds000 . pdf (visited on 01/10/2021).
7. *Brodie M., Walmsley A., Page W.* The static accuracy and calibration of inertial measurement units for 3D orientation [Text]. — 2008.
8. Возможности коррекции инерциальных навигационных систем на основе гравиметрических карт Земли [Текст] / В. В. Попадьёв, А. И. Сорока, А. И. Полубехин, В. Ю. Цыганков [и др.] // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. — 2015. — 222 (12).
9. *Kempe V.* Inertial MEMS: principles and practice [Text]. — Cambridge Univer- sity Press, 2011.
10. A comparison between different error modeling of MEMS applied to GPS/INS integrated systems [Text] / A. G. Quinchia, G. Falco, E. Falletti, F. Dovis, [et al.] // Sensors. — 2013. — Vol. 13, no. 8. — P. 9549—9588.
11. Калибровка в инерциальной навигации [Текст] / Н. Б. Вавилова, И. А. Васинёва, А. А. Голован, А. В. Козлов [и др.] // Фундаментальная и прикладная математика. — 2018. — Т. 22, No 2. — С. 89—115.
12. *Tedaldi D., Pretto A., Menegatti E.* A robust and easy to implement method for IMU calibration without external equipments [Текст] // 2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). — IEEE. 2014. — С. 3042—3049.

GLONASS IN THE ACCIDENT PREVENTION SYSTEM INVOLVING TWO-WHEEL VEHICLES

V.V. Nikitin [1]
[1] FICOM-IT LTD Moscow, Russia
[1] nvv@ficom-it.ru

Abstract

The article discusses the principles of operation of an inertial navigation system using sensors based on microelectromechanical systems (MEMS), as well as a method for integrating an inertial navigation system (INS) and a satellite navigation system (GNSS). The main types of sensor errors used in ANN are described. A method for their calibration is proposed. To study the accuracy of the navigation solution, an experiment was carried out and movement trajectories with ISN and GNSS navigation systems were presented. It is shown that the use of integrated navigation solutions can significantly improve the accuracy of calculating the trajectory of a two-wheeled vehicle. The sufficiency of using an inertial navigation system together with odometer data to determine the coordinates of a traffic accident is also shown.

Keywords

Integration; inertial navigation system; Kalman filter; MEMS.

УДК 629.3.066

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ ДВУХКОЛЕСНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ УСТРОЙСТВ ЭРА-ГЛОНАСС

В.В. Никитин[1], **С.У. Увайсов**[2], **М.Д. Муромцева**[3] **К.В. Шишаков**[4]
[1] ООО «ФИКОМ-ИТ» (Москва, Россия)
[2–4] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1]nvv@ficom-it.ru [2]uvaysov@yandex.ru [3]mmuromtsewa@mail.ru [4]shishakovkv@mail.ru

Аннотация

Постановка проблемы. В статье рассматривается метод детектирования аварийных ситуаций для двухколесных транспортных средств на примере широко распространенного мотоцикла Honda CB500F.
Цель. Разработка алгоритма детектирования аварийных ситуаций (падений и столкновений) для двухколесных транспортных средств, ориентированного на интеграцию в систему ЭРА-ГЛОНАСС.
Результаты. Предложенный алгоритм основан на анализе данных инерциальных датчиков (акселерометра и гироскопа) с применением фильтра Калмана и адаптивных пороговых значений, что позволяет надежно идентифицировать столкновения и падения, минимизируя ложные срабатывания. Проведено моделирование различных режимов движения (разгон, торможение, повороты, объезд препятствий), подтверждающее эффективность метода при сохранении высокой точности детектирования, что делает решение перспективным для интеграции в современные системы безопасности, включая ЭРА-ГЛОНАСС.
Практическая значимость. Проведенное исследование представляет практическую ценность для разработчиков систем ЭРА-ГЛОНАСС для двухколесных транспортных средств и может служить основой для дальнейшего совершенствования алгоритмов детектирования аварий.

Ключевые слова

Фильтр Калмана, адаптивные пороги, ложные срабатывания, ЭРА-ГЛОНАСС, автоматическое определение ДТП.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Современные системы экстренного реагирования, такие как ЭРА-ГЛОНАСС, играют ключевую роль в сокращении времени оказания помощи при дорожно-транспортных происшествиях (ДТП). Однако их применение в основном ориентировано на автомобильный транспорт, тогда как двухколесные транспортные средства (мотоциклы, скутеры, электровелосипеды) остаются менее защищенными из-за отсутствия стандартизированных методов автоматического определения аварий.

Актуальность исследования обусловлена высокой уязвимостью водителей и пассажиров двухколесных транспортных средств (ТС), по данным статистики, они попадают в ДТП до 30 раз чаще, чем автомобилисты, а последствия аварий для них значительно тяжелее. Внедрение эффективных алгоритмов детектирования аварийных ситуаций для таких транспортных средств позволит сократить время передачи сигнала бедствия и повысить выживаемость пострадавших.

Проблема заключается в том, что традиционные методы, используемые в ЭРА-ГЛОНАСС (датчики удара, переворота, анализ данных ГЛОНАСС/GPS), не всегда применимы к двухколесному транспорту из-за особенностей его динамики (например, резкие наклоны в поворотах, частые вибрации). Это приводит к высокому риску ложных срабатываний или, наоборот, пропуску реальных аварий.

Целью данной работы является анализ существующих и разработка новых методов определения аварийных ситуаций для двухколесных ТС в контексте интеграции с системой ЭРА-ГЛОНАСС. В статье рассматриваются алгоритмы обработки данных инерциальных датчиков (IMU), методы снижения уровня ложных срабатываний.

Практическая значимость исследования связана с потенциальным внедрением предложенных решений в нормативную базу и коммерческие устройства, что повысит безопасность участников дорожного движения.

Обзор существующих решений

В автомобильных системах ЭРА-ГЛОНАСС [1] [8] аварийные ситуации определяются на основе комплексного анализа данных от нескольких источников. Основными компонентами являются:

Датчики удара – акселерометры фиксируют резкие изменения ускорения, характерные для столкновений.

Датчики переворота – гироскопы определяют критический угол наклона транспортного средства, что свидетельствует о возможном опрокидывании.

Дополнительные системы – в некоторых случаях используются данные от подушек безопасности (SRS) или CAN-шины для подтверждения аварии.

При срабатывании одного или нескольких критериев система автоматически отправляет экстренный вызов в службы спасения, передавая координаты и данные о тяжести происшествия.

Применение классических подходов ЭРА-ГЛОНАСС к двухколесному транспорту сталкивается с рядом проблем:

Динамические особенности – мотоциклы и скутеры часто совершают резкие маневры, наклоны в поворотах и в движении происходят различные вибрации, что может приводить к ложным срабатываниям датчиков.

Отсутствие жесткого кузова – в отличие от автомобилей, у двухколесных ТС нет стабильной конструкции, что усложняет определение реального удара или переворота.

Поэтому существующие критерии срабатывания (пороговые значения ускорений и углов наклона, используемые в автомобилях), требуют адаптации под специфику мототранспорта.

В Европейском Союзе система eCall, аналогичная ЭРА-ГЛОНАСС, также ориентирована в первую очередь на автомобили. Однако в последние годы ведутся разработки по ее адаптации для мотоциклов с использованием различных направлений. К таким направлениям относятся специализированные датчики – некоторые производители предлагают умные крепления для шлемов с IMU-модулями, которые более точно фиксируют падение водителя, интеграция со смартфонами – часть решений использует мобильные приложения, анализирующие данные акселерометра телефона и GPS, а также дополнительными критериями – в экспериментальных системах применяется анализ звука удара или отсутствия движения после падения.

Метод определения аварийных ситуаций

Для определения аварийной ситуации предлагается алгоритм детектирования. Алгоритм сочетает анализ данных инерциальных датчиков, адаптивные пороговые критерии и многоуровневую проверку для минимизации ложных срабатываний. Реализация возможна на микроконтроллерах семейства Cortex-M4 с поддержкой аппаратных вычислений с плавающей точкой и общедоступных МЭМС-датчиках гироскопа и акселерометра [2][3][7]. При этом использование временного окна при детектировании аварийных ситуаций является ключевым методом для повышения надежности алгоритма. Этот подход позволяет анализировать динамику изменения ускорений и углов наклона не в отдельно взятый момент времени, а в течение интервала в 150 мс, что помогает отличить реальные аварийные события от кратковременных помех. Например, удар о камень или резкое торможение вызывают не мгновенный скачок показаний датчиков, а характерную временную картину с определенной продолжительностью и формой сигнала. Временное окно также дает возможность вычислять интегральные параметры, такие как энергия сигнала или среднее ускорение, которые более информативны для классификации событий, чем разовые измерения. Кроме того, этот метод позволяет реализовать многоступенчатую проверку условий - требовать, чтобы превышение

порогового ускорения сохранялось не менее 20 мс, что эффективно фильтрует случайные выбросы данных, характерные для движения по неровным дорогам. Таким образом, временное окно служит важным инструментом для снижения вероятности ложных срабатываний при сохранении высокой чувствительности к реальным авариям.

Алгоритм состоит из следующих четырех шагов:

1. Перед анализом сигналы с акселерометра должны быть отфильтрованы от шумов. Для этого используется фильтр нижних частот:

$$a_{\text{filtered}}[n] = \alpha \cdot a_{\text{raw}}[n] + (1 - \alpha) \cdot a_{\text{filtered}}[n-1], \quad (1)$$

где α - коэффициент сглаживания,

a_{raw} – данные от акселерометра.

2. Далее используется фильтр Калмана [7] [9] для совмещения данных гироскопа и акселерометра для точного определения угла наклона:

$$\theta_{\text{est}} = \theta_{\text{gyro}} + K \cdot \left(\theta_{\text{acc}} - \theta_{\text{gyro}}\right), \quad (2)$$

где $\theta_{\text{gyro}} = \theta_{\text{prev}} + \omega \cdot \Delta t$ – интегрирование гироскопа,

$\theta_{\text{acc}} = \text{arcta n } 2\left(a_y, a_z\right)$ – угол по акселерометру,

K – коэффициент Калмана.

3. Для детектирования столкновения используется акселерометр. Расчет модуля ускорений производится по формуле:

$$a_{\text{total}} = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}. \quad (3)$$

Если $a_{\text{total}} > a_{\text{threshold}}$, в течение определенного времени, то фиксируется удар.

Где $a_{\text{threshold}}$ – пороговое значение, зависящее от скорости. Чем выше скорость, тем выше порог.

4. Детектирование падения производится по гироскопу и акселерометру. Падение определяется по резкому изменению угла наклона и отсутствию восстановления. Критерии падения:

- Угол наклона (после фильтра Калмана): $\theta > 45°$
- Низкое ускорение $a_{\text{total}} > 0.5g$ (падение = свободное падение).
- Отсутствие восстановления в течение >1 сек (мотоцикл не вернулся в вертикальное положение).

Расчет пороговых значений ускорения для двухколесного транспортного средства

Приведем расчет пороговых значений для распространённого мотоцикла Honda CB500F. Для надежного детектирования аварийных ситуаций (падений, столкновений) необходимо определить оптимальные пороговые значения ускорений, учитывающие динамические характеристики конкретного мотоцикла. В случае Honda CB500F (сухая масса 192 кг, мощность 47 л.с.) расчет проводится на основе физических законов движения, экспериментальных данных и паспортных характеристик ТС.

Расчет базового порога для продольного ускорения (ось X), которое возникает при разгоне и торможении. Для Honda CB500F паспортные данные показывают, что мотоцикл разгоняется с 0 до 100 км/ч за ~5.5 сек, что дает среднее ускорение:

$$a_{\text{разгон}} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{27.8 \text{ м/с}}{5.5} \approx 5.0 \text{ м/с}^2 \approx 0.51\ g. \quad (4)$$

Для экстренного торможения при скорости 100 км/ч на сухом асфальте (наилучшие условия) тормозной путь составляет ~40 м, тогда ускорение составит:

$$a_{\text{торм}} = \frac{v^2}{2s} = \frac{(27.8)^2}{80} \approx 9.65 \text{ м/с}^2 \approx 0.98\ g. \quad (5)$$

Поперечное ускорение (ось Y) возникает в поворотах. Для CB500F, исходя из стандартных шин и асфальтового покрытия дороги, критический угол наклона ≈ 45°:

$$a_{\text{бок}} = g \cdot \sin\theta = 9.81 \cdot \sin(45°) \approx 6.93 \text{ м/с}^2 \approx 0.71\ g. \quad (6)$$

Вертикальное ускорение (ось Z) возникает при езде по неровным поверхностям. Нормальное состояние (с учетом гравитации):

$$a_z \approx 1.0\ g (\text{погрешность датчика} \pm 0.1\ g). \quad (7)$$

Динамические пороги для адаптации порогов к скорости с целью исключения ложных срабатываний вычисляются следующим образом:

$$a_{\text{порог}}(v) = a_{\text{база}} + k \cdot v, \quad (8)$$

где v – скорость в м/с, k – коэффициент чувствительности, определяется по методу наименьших квадратов. Зависит от массы ТС и дорожного покрытия.

Оценка алгоритма детектирования падений и столкновений

Для оценки алгоритма были проведены эксперименты по движению мотоцикла на ровной асфальтовой дороге (Рисунок 1) и грунтовой каменистой дороге с крупными неровностями (Рисунок 2), в различных режимах движения. График ускорений при движении по асфальтовой дороге показывает кривые ускорений с минимальным воздействием дорожного полотна.

График на рисунке 2 демонстрирует динамику ускорений мотоцикла Honda CB500F при движении по сложной каменистой дороге с выполнением различных маневров. Анализ данных позволяет сделать несколько ключевых выводов. Каменистое покрытие создает выраженные колебания по всем осям, особенно заметные на вертикальной компоненте (ось Z), где наблюдаются кратковременные пики до 1.5–2.0 g при наезде на крупные камни — это существенно превышает нормальные эксплуатационные нагрузки и требует специальной обработки в алгоритмах детектирования для исключения ложных срабатываний.

Характерные режимы движения (разгон, торможение, поворот и объезд) имеют характерный вид: разгон показывает плавный рост продольного ускорения до 0.6g с небольшими колебаниями, типичными для ручного управления; экстренное торможение сопровождается резким отрицательным импульсом до -1g; а объезд препятствия создает выраженный двойной пик поперечного ускорения ±0.7g.

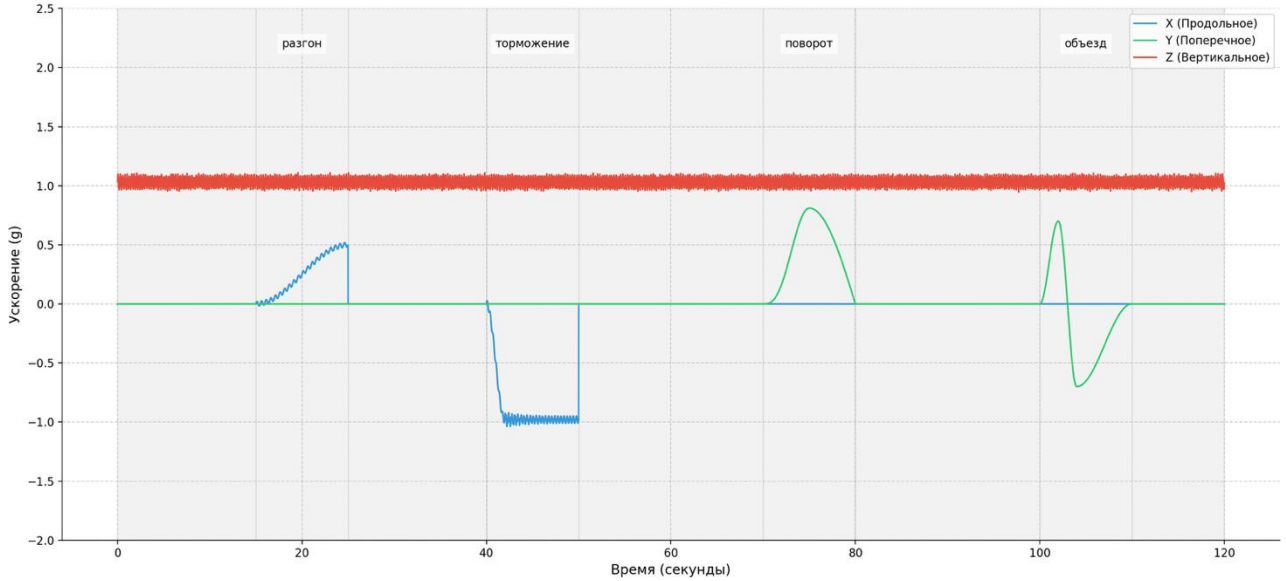


Рис. 4. Ускорения для мотоцикла Honda CB500F на ровной асфальтовой дороге
Fig. 1. Acceleration for a Honda CB500F motorcycle on a flat asphalt road

Особый интерес представляет участок поворота, где сочетаются боковое ускорение до 0.7g и повышенная вибрация от неровностей, что особенно важно учитывать при настройке пороговых значений. Полученные данные подчеркивают необходимость комплексного подхода к анализу - простые пороговые методы без учета временных характеристик и

корреляции между осями будут давать чрезмерное количество ложных тревог на таком покрытии. Оптимальным решением представляется использование адаптивных алгоритмов, учитывающих текущий режим движения и спектральные характеристики вибраций, с отдельной обработкой кратковременных ударных событий. В Таблице 1 приведены поправки с полученными значениям ускорений для исключения ложных срабатываний.

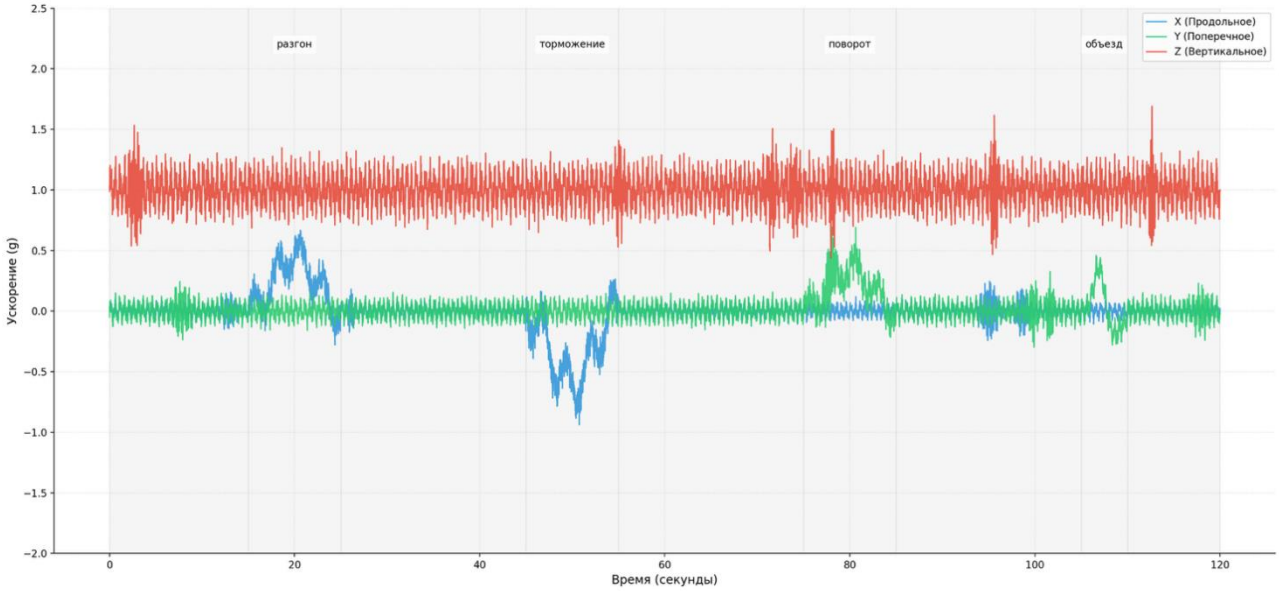


Рис. 5. Ускорения для мотоцикла Honda CB500F на грунтовой каменистой дороге с крупными неровностями
Fig. 2. Acceleration for a Honda CB500F motorcycle on a dirt, rocky road with large bumps

Эти изменения позволят значительно снизить частоту ложных срабатываний обнаружения реальных аварий. Для внедрения рекомендуется провести тестовые заезды на разных покрытиях с последующей тонкой настройкой порогов под конкретную модель мотоцикла.

Таблица 1. Рекомендуемые изменения пороговых значений для минимизации ложных срабатываний.

Тип события	**Текущий порог**	**Рекомендуемый порог**	**Дополнительные условия**	**Обоснование**
Столкновение	2.0g	2.5-3.0g	Длительность >20 мс	Учет кратковременных ударов о неровности дороги
Падение	Угол >45°	Угол >55°	Отсутствие восстановления >1 сек	Исключение погрешностей показаний датчиков в поворотах
Разгон	0.51g	0.8g	Скорость >20 км/ч	Игнорирование рывков на низкой скорости
Торможение	-0.98g	-1.5g	Анализ замедления по CAN-шине	Подтверждение от штатной тормозной системы
Поперечное ускорение	0.71g	1.5g	Совпадение с углом крена >40°	Фильтрация вибраций на неровностях

Заключение

Разработанный метод детектирования аварийных ситуаций для двухколесных транспортных средств, на примере мотоцикла Honda CB500F, демонстрирует высокую эффективность за счет комплексного анализа данных инерциальных датчиков и адаптивных пороговых критериев. Предложенный подход, основанный на обработке сигналов с акселерометра и гироскопа с применением фильтра Калмана и оконного анализа, позволяет надежно идентифицировать критические события, такие как падения и столкновения, минимизируя при этом ложные срабатывания, вызванные особенностями движения по неровным поверхностям, включая каменистые дороги. Экспериментальные данные,

полученные при моделировании различных режимов движения (разгон, торможение, повороты, объезд препятствий), подтверждают, что алгоритм способен точно различать аварийные ситуации и штатные эксплуатационные нагрузки, адаптируясь к изменяющимся условиям, таким как скорость и тип дорожного покрытия. Важным преимуществом метода является его реализуемость на микроконтроллерах семейства Cortex-M4, что обеспечивает быстродействие и энергоэффективность, критически важные для бортовых систем. Таким образом, представленный алгоритм представляет собой шаг в совершенствовании систем мониторинга аварийных ситуаций для двухколесного транспорта, сочетая в себе высокую производительность, адаптивность и потенциал для дальнейшего развития.

Список источников

1. *Р 55534-2019.* Системы экстренного реагирования при авариях (ЭРА-ГЛОНАСС). Требования к бортовому оборудованию. — М.: Стандартинформ, 2019. — 45 с.
2. *Groves P.D.* Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems. — 2nd ed. — Artech House, 2013. — 800 p.
3. *Баранов А.В., Иванов Д.С.* Алгоритмы обработки сигналов инерциальных датчиков в системах безопасности транспорта // Датчики и системы. — 2022. — № 5. — С. 34–41.
4. ISO 26262-6:2018. Road vehicles — Functional safety — Part 6: Product development at the hardware level. — Geneva: ISO, 2018.
5. *Рогов В.А., Петров К.Н.* Методы снижения ложных срабатываний в системах детектирования аварий // Транспортные системы и технологии. — 2023. — Т. 9, № 2. — С. 78–92.
6. Honda CB500F Service Manual. — Honda Motor Co., 2023. — 350 p.
7. *Kalman R.E.* A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems // Journal of Basic Engineering. — 1960. — Vol. 82. — P. 35–45.
8. Р 58971-2020. Системы мониторинга транспортных средств. Методы тестирования алгоритмов детектирования аварий. — М.: Росстандарт, 2020. — 32 с.
9. *Bishop G., Welch G.* An Introduction to the Kalman Filter // UNC Chapel Hill Technical Report. — 2001. — TR 95-041.

A METHOD FOR DETERMINING THE EMERGENCY SITUATION OF TWO-WHEELED VEHICLES FOR ERA-GLONASS DEVICES

V.V. Nikitin[1], **S.U. Uvaisov**[2], **M.D. Muromtseva**[3] **K. V. Shishakov**[4]
[1] FICOM-IT LTD (Moscow, Russia)
[2–4] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1]nvv@ficom-it.ru [2]uvaysov@yandex.ru [3]mmuromtsewa@mail.ru [4]shishakovkv@mail.ru

Abstract

The article discusses an emergency detection method for two-wheeled vehicles using the example of a Honda CB500F motorcycle. Development of an algorithm for detecting accidents (falls and collisions) for two-wheeled vehicles, focused on integration into the ERA-GLONASS system. The proposed algorithm is based on the analysis of data from inertial sensors (accelerometer and gyroscope) using a Kalman filter and adaptive thresholds, which allows reliable identification of collisions and falls, minimizing false alarms. Special attention is paid to driving on difficult road surfaces, including rocky and uneven surfaces. Various driving modes (acceleration, braking, turns, obstacle avoidance) have been modeled, confirming the effectiveness of the method while maintaining high detection accuracy, which makes the solution promising for integration into modern security systems, including ERA-GLONASS. The conducted research is of practical value for developers of ERA-GLONASS systems for two-wheeled vehicles and can serve as a basis for further improvement of accident detection algorithms.

Keywords

Kalman filter, adaptive thresholds, false alarms, ERA-GLONASS, automatic detection of accidents.

УДК 629.3.066

ПРОБЛЕМЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ ТЕРМИНАЛОВ ЭРА-ГЛОНАСС ДЛЯ ДВУХКОЛЕСНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

В.В. Никитин[1], С.У. Увайсов[2], М.Д. Муромцева[3] К.В. Шишаков[4]
[1] ООО «ФИКОМ-ИТ» (Москва, Россия)
[2–4] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1]nvv@ficom-it.ru [2]uvaysov@yandex.ru [3]mmuromtsewa@mail.ru [4]shishakovkv@mail.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Статья посвящена комплексному анализу проблем стандартизации и сертификации терминалов системы экстренного реагирования ЭРА-ГЛОНАСС для двухколесных транспортных средств.

Цель. Показать существующие нормативно-технические барьеры, включая отсутствие специализированных стандартов для двухколесного транспорта, сложности в разработке устойчивых к вибрациям и влаге устройств, а также проблемы автоматического определения аварийных ситуаций.

Результаты. Представлен сравнительный анализ международного опыта регулирования подобных систем (европейский eCall, американские и японские стандарты), позволяющий выявить лучшие практики для возможной адаптации в российских условиях. В работе предложен системный подход к решению обозначенных проблем, включающий разработку целевых технических регламентов, оптимизацию процедур сертификации, создание специализированной испытательной базы, экономические механизмы стимулирования производителей.

Практическая значимость. Проведенное исследование позволяет сформировать целостное представление о текущих вызовах и перспективных направлениях развития систем экстренного оповещения для двухколесных транспортных средств.

Ключевые слова

ЭРА-ГЛОНАСС, терминалы для двухколесных транспортных средств, стандартизация, сертификация, технические регламенты, аварийный вызов, eCall, автоматическое определение ДТП.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

На сегодняшний день отсутствуют четкие нормативные требования к мотоциклетным терминалам ЭРА-ГЛОНАСС. Действующие ГОСТы и технические регламенты разработаны преимущественно для четырехколесного транспорта, что создает правовой вакуум в области сертификации мотоциклетного оборудования. Этот пробел в законодательстве сдерживает разработку и внедрение соответствующих технических решений.

Решение обозначенных проблем имеет важное социальное значение, так как позволит повысить безопасность мотоциклистов - одной из наиболее уязвимых категорий участников дорожного движения. С экономической точки зрения, разработка четких стандартов создаст условия для развития отечественных производителей специализированного оборудования и интеграции российских решений в международные системы безопасности.

Основная сложность применения заключается в принципиальных отличиях мотоциклов от автомобилей. Отсутствие закрытого кузова, постоянного источника питания, а также подверженность вибрациям и атмосферным воздействиям требуют совершенно иного подхода к разработке терминалов. Существующие автомобильные решения не могут быть напрямую адаптированы для мототехники, что создает необходимость в создании специализированных технических стандартов.

Анализ современного состояния аварийности с участием мотоциклов

Система экстренного реагирования ЭРА-ГЛОНАСС, внедренная в России для автомобильного транспорта, доказала свою эффективность в сокращении времени оказания помощи при ДТП. Однако мотоциклы, являющиеся одним из наиболее уязвимых видов транспорта, до сих пор остаются вне сферы действия этого важного механизма безопасности. Высокий уровень смертности и тяжелых травм среди мотоциклистов делает вопрос оснащения

двухколесного транспорта (ТС) аварийными терминалами особенно актуальным. В Таблице 1 представлены данные о времени прибытия скорой помощи по странам, применяющим систему вызова экстренных оперативных служб для двухколесных транспортных средств.

Таблица 10 Данные о среднем времени прибытия скорой помощи для двухколесных транспортных средств

Страна	***Год данных***	***Доля в ДТП (%)***	***Смертность (на 100 тыс.)***	***Среднее время прибытия скорой, минут***	***Основные причины аварий***	***Источник данных***
Россия	*2022*	*18.7%*	*14.2*	*23 (город), 41 (село)*	*Выезд на встречную, Превышение скорости, Алкогольное опьянение*	*ГИБДД, Минздрав*
США	*2021*	*14.0%*	*9.8*	*8 (город), 14 (село)*	*Столкновения, Потеря управления*	*NHTSA, NHSA*
Германия	*2022*	*20.1%*	*6.3*	*7 (по стране)*	*Непредоставление преимущества*	*Destatis, DRF*
Япония	*2022*	*12.8%*	*4.1*	*6 (город), 9 (село)*	*Нарушения на перекрестках*	*NPA, FDMA*

В России высокий уровень смертности обусловлен частыми лобовыми столкновениями (42% случаев) и поздней реакцией на аварии (среднее время прибытия скорой - 23 мин), что связано в том числе с отсутствием применения системы экстренного вызова на мотоциклах.

Нормативно-правовая база и требования к мотоциклетным терминалам ЭРА-ГЛОНАСС

Обязательность оснащения транспорта системой ЭРА-ГЛОНАСС закреплена в Техническом регламенте Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств» [1]. Однако данный документ изначально разрабатывался с учетом автомобильной техники, что создает правовую неопределенность в отношении мотоциклов. Формально требование распространяется и на мототранспорт, но конкретные технические условия и методики сертификации для двухколесных ТС до сих пор не утверждены.

Основные стандарты, регулирующие работу терминалов ЭРА-ГЛОНАСС, включают ГОСТ Р 54620–2011 [1] и ГОСТ Р 55530–2013 [2], которые определяют функциональные требования к аппаратуре экстренного вызова. Эти стандарты ориентированы на автомобили и не учитывают специфику мотоциклов – компактность, отсутствие стабильного электропитания, повышенные вибрационные и климатические нагрузки. В результате производители сталкиваются с необходимостью сертифицировать мотоциклетные устройства по нормам, разработанным для принципиально иной техники. Отдельную сложность представляет отсутствие специализированных методик испытаний для мотоциклетных терминалов. В отличие от автомобилей, для мототехники требуются особые тесты на устойчивость к тряске, влаге, перепадам температур и другим эксплуатационным факторам. В настоящее время сертификационные центры вынуждены применять адаптированные процедуры, что приводит к затягиванию процесса и росту затрат на сертификацию.

Попытки урегулировать вопрос на законодательном уровне предпринимаются, но носят фрагментарный характер. Так, в 2021 году Минпромторг и Росстандарт инициировали разработку дополнений к ТР ТС 018/2011 [3], касающихся мотоциклов, однако процесс затянулся из-за технических разногласий. Ключевой спорный момент – необходимость автоматической активации системы при ДТП, что сложно реализовать на двухколесной технике без ложных срабатываний. Пока решение не найдено, производители мотоциклов и терминалов работают в условиях правовой неопределенности.

В отличие от зарубежных аналогов, где для мотоциклов действуют упрощенные требования, в Российской Федерации подход остается единым для всех видов транспорта. В перспективе гармонизация российских норм с зарубежными могла бы ускорить внедрение ЭРА-ГЛОНАСС на двухколесные транспортные средства.

Технические сложности разработки мотоциклетных терминалов ЭРА-ГЛОНАСС

Конструктивные особенности мотоциклов создают принципиальные отличия от автомобилей, что существенно осложняет разработку специализированных терминалов. Отсутствие закрытого кузова означает постоянное воздействие внешних факторов - дождя, снега, пыли и перепадов температур. Это требует применения особо защищенных корпусов с классом защиты не ниже IP67, блоков управления пользователя (БИП) с классом защиты не ниже IP68, что увеличивает сложность и стоимость устройств. При этом размещение оборудования на мотоцикле осложнено ограниченным свободным пространством и необходимостью сохранения эргономики транспортного средства.

Проблема электропитания является одной из ключевых при проектировании мотоциклетных терминалов. В отличие от автомобилей с их стабильной бортовой сетью, мотоциклы часто имеют нестабильное напряжение и ограниченную энергоемкость аккумуляторов, либо их отсутствие. Особую сложность представляет обеспечение автономной работы системы при заглушенном двигателе - в случае аварии терминал должен сохранять работоспособность в течение как минимум 120 минут в режиме ожидания и 10 минут в режиме разговора [1].

Виброустойчивость оборудования представляет собой отдельную инженерную задачу. Мотоциклы подвержены значительно более сильным вибрациям, чем автомобили, особенно в области рулевой колонки и рамы - традиционных мест крепления терминалов. Стандартные автомобильные решения не выдерживают длительных вибрационных нагрузок, характерных для мототехники. Производителям приходится разрабатывать специальные демпфирующие крепления и проводить дополнительные испытания на вибростендах, что удорожает процесс разработки и сертификации.

Система автоматического определения ДТП сталкивается с принципиальными сложностями при адаптации к мотоциклам. Автомобильные алгоритмы, основанные на срабатывании подушек безопасности или анализе резких замедлений, плохо работают для двухколесной техники. Ложные срабатывания могут происходить при резком торможении, преодолении неровностей или даже при парковке мотоцикла. Разработка надежных алгоритмов, способных отличить реальное падение от обычной эксплуатации, требует сложных программных решений и обширных полевых испытаний.

Антенные системы сталкиваются с компромиссом между эффективностью и компактностью. Оптимальное размещение антенн ГЛОНАСС и GSM на мотоцикле осложнено металлическими элементами конструкции, которые могут экранировать сигнал. При этом внешние антенны ухудшают дизайн и повышают риск повреждения при падении. Альтернативные решения со встроенными антеннами часто проигрывают в качестве приема, особенно в условиях плотной городской застройки или на трассе с переменным рельефом.

Интеграция с бортовыми системами мотоцикла представляет собой дополнительную сложность. В отличие от автомобилей с их стандартизированными диагностическими разъемами, мотоциклы разных производителей используют различные протоколы обмена данными. Это затрудняет подключение терминала к бортовой электронике для мониторинга состояния транспортного средства и автоматического формирования аварийного сообщения. Особую проблему составляет обеспечение совместимости с электроникой современных кастомных мотоциклов, где зачастую применяются проприетарные решения.

Проблемы сертификации мотоциклетных терминалов ЭРА-ГЛОНАСС

Отсутствие специализированных нормативов представляет собой ключевую проблему в процессе сертификации. Особую сложность вызывает как указывалось выше, интерпретация требований по виброустойчивости и климатическим испытаниям, поскольку мотоциклетные терминалы подвергаются более жестким эксплуатационным нагрузкам.

Высокая стоимость процедуры сертификации становится серьезным барьером для производителей. Полный цикл испытаний одного устройства может достигать до 10 миллионов рублей для каждой модели мотоцикла, что особенно чувствительно для малых серий мотоциклетной техники. Ситуацию усугубляет необходимость повторной сертификации при внесении даже незначительных изменений в конструкцию [2]. Для небольших производителей мотоциклов и поставщиков терминалов такие затраты часто оказываются неподъемными, что тормозит развитие рынка.

Неоднозначность требований к функционалу создает дополнительные сложности. Особые споры вызывает обязательность автоматического определения ДТП - технологически сложно реализуемая функция для мотоциклов.

Проблемы испытательной инфраструктуры существенно ограничивают возможности сертификации. В России крайне мало испытательных центров, оборудованных для тестирования именно мотоциклетных терминалов. Большинство стендов рассчитаны на автомобильные компоненты, что требует разработки специальных методик тестирования. Особую сложность представляет моделирование реальных условий эксплуатации - вибрационных нагрузок, температурных перепадов и влажностных воздействий, характерных для мотоциклов.

Длительные сроки согласований превращают сертификацию в многоэтапный процесс. Из-за отсутствия четких регламентов каждый случай требует индивидуальных согласований с регуляторами. В среднем процедура занимает 4–6 месяцев, а в спорных случаях может затягиваться до года. Это создает серьезные проблемы для производителей, вынужденных задерживать вывод продукции на рынок или работать в "серой" зоне без официального подтверждения соответствия.

Опыт зарубежных стран в стандартизации мотоциклетных систем экстренного вызова

В таблице 2 приведены действующие нормативные документы по разным странам, регулирующие применение систем экстренного вызова.

Таблица 11. Действующие нормативные документы для систем экстренного вызова в разных странах

Страна/Регион	Название системы	Нормативный документ	Особенности для мотоциклов	Год введения
Россия/ЕАЭС	ЭРА-ГЛОНАСС	ТР ТС 018/2011 [3] ГОСТ Р 54620-2011[1]	Отсутствуют специализированные требования	2015
Европейский Союз	eCall	Регламент EU 2015/758 EN 16072 [16]	Допускается ручная активация	2018
США	NG911	Стандарт SAE J3168:2019 FMVSS №305 [8]	Добровольное применение	-
Япония	HELPNET	JIS T 903:2018 [4] JASO TP 16003 [5]	Корпоративные стандарты (Honda/Yamaha)	-
Австралия	-	AS/NZS 5379:2020 [12]	3 класса сертификации	2021
Израиль	МАГЕН	SI 5270 [6]	Требуется для новых моделей	2019

Европейский опыт демонстрирует гибкий подход к регулированию систем экстренного вызова для мотоциклов. В отличие от обязательных требований для автомобилей, введенных регламентом EU 2015/758 [15], мотоциклетные терминалы eCall подпадают под действие директивы 2014/53/EU (RED) [16], устанавливающей общие требования к радиооборудованию. Ключевое отличие - допускается использование упрощенных устройств с ручной активацией, что признает техническую сложность автоматического определения аварий с участием двухколесных ТС.

Германия и Австрия дополнительно ввели национальные стандарты DIN EN 16072:2015 [8], адаптированные для двухколесного транспорта, предусматривающие особые требования к виброустойчивости и влагозащите.

Американская практика характеризуется децентрализованной системой регулирования. На федеральном уровне NHTSA не устанавливает обязательных требований к аварийным системам для мотоциклов, оставляя этот вопрос на усмотрение штатов. Однако стандарты SAE J3168 [9] ("Motorcycle Emergency Call Systems") разработали добровольные технические требования, учитывающие специфику мототехники. Калифорния стала пионером, приняв закон SB-435 [10], который стимулирует установку телематических систем через страховые преференции. Интересен подход к сертификации - устройства проверяются по стандартам FCC Part 15 [17] (электромагнитная совместимость) и UL 2525 [11] (устойчивость к внешним воздействиям).

Японская модель отличается акцентом на отраслевые стандарты JASO T 903 [5] (Ассоциации автомобильных стандартов), разработанные совместно производителями мотоциклов. Эти стандарты делают упор на интеграцию систем экстренного оповещения с бортовой электроникой. В Японии нет единой государственной системы экстренного вызова для мотоциклов, но производители предлагают частные телематические решения. Их эффективность ограничена зависимостью от смартфонов и отсутствием прямой интеграции с экстренными службами. Однако низкая аварийность и развитая дорожная инфраструктура компенсируют эти недостатки. В будущем возможен переход к обязательным стандартам в рамках национальной программы ITS.

Австралийский подход заслуживает отдельного внимания благодаря уникальной системе регулирования. Стандарт AS/NZS 5379:2020 [12] предусматривает три класса сертификации мотоциклетных терминалов, где класс С (базовый) допускает только ручную активацию, а класс А требует интеграции с IMU-датчиками для автоматического определения падения. Особый акцент делается на испытаниях в экстремальных климатических условиях (тест на циклическое замораживание/оттаивание по методике AS 60068.2.38 [13]). Инновацией стало требование к совместимости с национальной системой оповещения о стихийных бедствиях (EMC Connect).

Израильский опыт представляет интерес благодаря военизированному подходу к стандартизации. Специальный стандарт SI 5270 [6] включает уникальные требования к устойчивости терминалов к электромагнитным помехам (по протоколу MIL-STD-461G [14]) и обязательное резервирование каналов связи. Все устройства должны проходить полевые испытания в условиях пустыни (тест на пылевую устойчивость по SI 2592 [7]) и иметь функцию ручного отключения по соображениям безопасности. Этот стандарт стал компромиссом между военными требованиями и гражданскими нуждами.

Выводы по международному опыту: ЕС показывает пример **постепенного внедрения** через адаптацию автомобильных стандартов, но без жесткого давления на производителей мотоциклов. **США** делают ставку на **рыночные механизмы** (страховые льготы, частные телематические сервисы), а не на госрегулирование. **Япония** демонстрирует подход **корпоративных стандартов**, где инициатива исходит от самих производителей.

В таблице 3 показан обобщённое сравнение систем вызова экстренных и оперативных служб в мире.

Таблица 12. Сравнение систем экстренного вызова для двухколесных ТС в мире

Параметр	**Япония (Honda/Yamaha)**	**ЕС (eCall)**	**США (NG911)**	**Австралия (AS/NZS 5379)**	**Израиль**
Тип системы	Корпоративные телематические решения	Обязательная государственная	Добровольная (SAE J3168)	Добровольная (3 класса)	Обязательна для коммерческого транспорта
Автоматический вызов	Только Honda (IMU-датчики)	Обязателен	Рекомендован	Класс А (обязателен)	Нет
Ручной вызов (SOS)	Да (все системы)	Да	Да	Да (все классы)	Да

Параметр	Япония (Honda/Yamaha)	ЕС (eCall)	США (NG911)	Австралия (AS/NZS 5379)	Израиль
Интеграция с экстренными службами	Через кол-центр	Прямая (112)	Через PSAP*	Через Triple Zero (000)	Через кол-центр
Используемые технологии	GPS + сотовые сети	Galileo/GPS + GSM	GPS + LTE/5G	GPS + LTE	GPS + сотовые сети
Точность координат	±3 – 15 м (зависит от системы)	±5 м	±3 – 10 м	±5 м	±5 м
Автономное питание	30 мин	60 мин	30 мин	45 мин	30 мин
Обязательность для новых мотоциклов	Нет	Да (с 2024 для моделей >125 см³)	Нет	Нет	Нет
Среднее время оповещения	10–45 сек	5–10 сек	15–30 сек	10–25 сек	5–10 сек
Стоимость оснащения	¥12 000–45 000 (≈$80–300)	€100–250	$120–400	$150–350	$350-400
Покрытие	85%	98%	95%	88%	80%

Для Российской Федерации оптимальным мог бы стать **гибридный подход**: Разработка **отдельного ГОСТ/ТУ** для мотоциклетных терминалов (по примеру ЕС), стимулирование производителей через **налоговые льготы** (как в США) и поощрение **корпоративных решений** (как у Honda/Yamaha) для ускорения внедрения.

При этом важно избежать **избыточного регулирования**, которое может затормозить развитие рынка мототехники.

Пути решения проблем стандартизации и сертификации терминалов ЭРА-ГЛОНАСС для двухколесных ТС

Разработка специализированных технических регламентов должна стать первоочередной задачей. Необходимо создать отдельный раздел в ТР ТС 018/2011, учитывающий особенности мотоциклетной техники – компактность, вибронагруженность, особые требования к автономному питанию. Целесообразно разработать новый национальный стандарт ГОСТ Р, устанавливающий специфические требования к мотоциклетным терминалам, включая допустимые габариты, массу, способы крепления и методы испытаний. При этом важно предусмотреть дифференцированный подход для разных классов мототехники – от тяжелых туристических мотоциклов до легких городских моделей [18].

Совершенствование методик сертификации требует создания специализированных испытательных протоколов. Необходимо разработать отдельные программы вибрационных испытаний, учитывающие характерные для мотоциклов частотные диапазоны (5-500 Гц) и амплитуды колебаний. Климатические испытания должны включать расширенный температурный диапазон (-40°С до +85°С) и усиленные тесты на влагостойкость. Особое внимание следует уделить методикам проверки автономной работы – для мотоциклетных терминалов этот параметр критически важен и должен тестироваться в различных режимах энергопотребления.

Оптимизация процесса сертификации может быть достигнута через введение упрощенных схем для малосерийной продукции. Целесообразно разработать модульный принцип подтверждения соответствия, когда отдельные компоненты системы (антенный модуль, блок обработки сигналов, источник питания) проходят сертификацию независимо. Это позволит сократить затраты производителей на испытания готовых устройств. Особое значение имеет создание единой базы сертифицированных компонентов, доступной для всех участников рынка.

Технические решения должны развиваться по нескольким направлениям. Во-первых, требуется разработка компактных антенных модулей с улучшенными характеристиками приема в условиях вибрации. Во-вторых, необходимо создание энергоэффективных алгоритмов работы, позволяющих увеличить время автономной работы без существенного увеличения массы и габаритов. В-третьих, особого внимания заслуживает интеграция терминалов с бортовой электроникой мотоциклов через стандартизированные интерфейсы.

Стимулирование производителей должно включать комплекс мер государственной поддержки. Целесообразно ввести налоговые льготы для компаний, разрабатывающих и производящих специализированные мотоциклетные терминалы. Особое значение имеет создание программ субсидирования части затрат на сертификацию, особенно для малых и средних предприятий. Важным стимулом могло бы стать введение ускоренной амортизации оборудования, используемого для производства терминалов. Отдельное внимание следует уделить поддержке научно-исследовательских работ в этой области.

Международная гармонизация стандартов представляет собой важное направление развития. Целесообразно провести анализ лучших международных практик (европейского eCall, американских стандартов SAE) и адаптировать их положения для российской системы [16].

Создание испытательной инфраструктуры требует значительных инвестиций. Необходимо оборудовать специализированные испытательные центры, оснащенные вибростендами с профилями, соответствующими реальным условиям эксплуатации мотоциклов. Особое внимание следует уделить созданию климатических камер, позволяющих моделировать экстремальные условия (ливень, песчаную бурю, обледенение). Важным элементом инфраструктуры должны стать полигоны для натурных испытаний, включающие различные типы дорожного покрытия и рельефа.

Заключение

Проблема стандартизации и сертификации мотоциклетных терминалов ЭРА-ГЛОНАСС представляет собой комплексную задачу, требующую скоординированных действий всех заинтересованных сторон. Проведенный анализ выявил серьезные пробелы в нормативной базе, отсутствие специализированных методик испытаний и существенные технические сложности при адаптации автомобильных решений к мототехнике. При этом международный опыт демонстрирует различные подходы к решению данной проблемы - от жесткого регулирования в ЕС до рыночно-ориентированных моделей в США и корпоративных стандартов в Японии.

Для успешного внедрения системы на российском рынке необходимо выработать сбалансированный подход, учитывающий как требования безопасности, так и экономическую целесообразность. Ключевыми направлениями развития должны стать: разработка специализированных технических регламентов [19], создание адаптированных методик сертификации [20, 21], развитие испытательной инфраструктуры и внедрение мер государственной поддержки производителей. Особое значение имеет гармонизация российских стандартов с международными практиками [20, 21], что позволит избежать избыточного регулирования и снизить барьеры для вывода продукции на рынок.

Решение обозначенных проблем позволит не только повысить безопасность мотоциклистов - одной из наиболее уязвимых категорий участников дорожного движения, а также создать новые возможности для развития отечественных производителей телематического оборудования. Успешная реализация проекта потребует тесного взаимодействия между регуляторами, производителями мототехники, разработчиками терминалов и сертификационными центрами. Только комплексный подход сможет обеспечить эффективное внедрение системы ЭРА-ГЛОНАСС в мотоциклетную отрасль без негативного влияния на рынок и конечных потребителей.

Список источников

1. ГОСТ Р 54620-2011 "Системы экстренного вызова. Терминалы абонентские. Технические требования". - М.: Стандартинформ, 2012. - 18 с.
2. ГОСТ Р 55530-2013 "Системы экстренного вызова. Методы испытаний". - М.: Стандартинформ, 2014. - 24 с.
3. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 018/2011 "О безопасности колесных транспортных средств" // Официальное издание Евразийской экономической комиссии. - 2011.
4. JIS T 903:2018. Emergency call systems for road vehicles. Technical requirements — Tokyo: Japanese Standards Association (JSA), 2018. — 45 с.
5. JASO TP 16003:2020. Emergency call devices for motorcycles. Performance requirements and test methods. — Tokyo: Society of Automotive Engineers of Japan (JSAE), 2020. — 32 с.
6. SI 5270:2019. Emergency call systems for vehicles. Technical requirements and test methods / Standards Institution of Israel (SII). — Tel Aviv: SII Publishing, 2019. — 62 с.
7. SI 2592:2018. Environmental testing for electrical and electronic equipment — Dust resistance — Tel Aviv: SII, 2018. — 18 с.
8. DIN EN 16072:2015. Intelligent transport systems — ESafety — ECall minimum set of data — Berlin: DIN, 2015. — 42 с.
9. SAE J3168:2019. Motorcycle Emergency Call Systems — Warrendale: SAE, 2019. — 36 с.
10. California Senate Bill No. 435 (SB-435). Vehicle emissions: motorcycles — Sacramento, 2010. — 8 с.
11. UL 2525:2020. Standard for Safety for Emergency Call Systems — Northbrook: UL, 2020. — 28 с.
12. AS/NZS 5379:2020. Collection, storage, transport and treatment of end-of-life electrical and electronic equipment — Sydney: Standards Australia, 2020. — 78 с.
13. AS 60068.2.38:2019. Environmental testing — Part 2.38: Tests — Test Z/AD — Sydney: Standards Australia, 2019. — 24 с.
14. MIL-STD-461G:2015. Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics — Washington, D.C.: DoD, 2015. — 314 с.
15. Регламент Европейского парламента и Совета (ЕС) 2015/758 от 29 апреля 2015 года о системе экстренного вызова eCall // Официальный журнал Европейского союза. - 2015. - L 123/77.
16. Директива 2014/53/ЕС Европейского парламента и Совета от 16 апреля 2014 г. о гармонизации законодательств государств-членов, касающихся размещения на рынке радиооборудования // Официальный журнал Европейского союза. — 2014. — L 153. — С. 1-62
17. FCC 47 CFR Part 15 Subpart C: Intentional Radiators [Текст]. — Washington: FCC, 2023. — 45 с.
18. *Иванов А.В., Петров С.К.* Перспективы развития систем экстренного реагирования для мототранспорта // Транспортная безопасность и технологии. - 2022. - № 3(15). - С. 45-52.
19. *Сидоров В.Г.* Международный опыт стандартизации телематических систем // Вестник технического регулирования. - 2021. - № 5. - С. 28-35.
20. Отчет о НИР "Разработка методик испытаний мотоциклетных терминалов ЭРА-ГЛОНАСС" / Науч.-исслед. центр "Безопасность транспорта". - М., 2023. - 156 с.
21. *Яковлев Е.Р.* Проблемы сертификации транспортной телематики: монография. - СПб.: Политехника, 2020. - 184 с.

PROBLEMS OF STANDARDIZATION OF TERMINALS ERA-GLONASS FOR TWO-WHEELED VEHICLES

V.V. Nikitin[1], **S.U. Uvaisov**[2], **M.D. Muromtseva**[3] **K. V. Shishakov**[4]
[1] FICOM-IT LTD (Moscow, Russia)
[2–4] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1]nvv@ficom-it.ru [2]uvaysov@yandex.ru [3]mmuromtsewa@mail.ru [4]shishakovkv@mail.ru

Abstract

The article is devoted to a comprehensive analysis of the problems of standardization and certification of terminals of the ERA-GLONASS emergency response system for two-wheeled vehicles. To show the existing regulatory and technical barriers, including the lack of specialized standards for two-wheeled vehicles, difficulties in developing vibration- and moisture-resistant devices, as well as problems with automatic emergency detection. A comparative analysis of the international experience in regulating such systems (European eCall, American and Japanese standards) is presented, which makes it possible to identify best practices for possible adaptation in Russian conditions. The paper proposes a systematic approach to solving these problems, including the development of targeted technical regulations, optimization of certification procedures, creation of a specialized testing base, and economic incentive mechanisms for manufacturers. The conducted research allows us to form a holistic view of the current challenges and promising areas of development of emergency warning systems for two-wheeled vehicles.

Keywords

ERA-GLONASS, terminals for two-wheeled vehicles, standardization, certification, technical regulations, emergency call, eCall, automatic accident detection.

УДК 629.78

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАРАБОТКИ ДО ОТКАЗА ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Долматов А.В [1], **Фам Суан Хань** [2], **Во Тхе Хай** [3], **Нгуен Дык Хай** [4]
[1-4] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] dolmatov@mirea.ru, [2] phamxuanhanhld161@gmail.com, [3] thehai.ttrd@gmail.com, [4]duchai09011997@gmail.com

Аннотация

Постановка проблемы. Деградация свойств материалов электронных средств (ЭС) является одним из основных факторов, влияющих на их работоспособность. Изменение параметров материалов ЭС, вызванное старением, и одновременное воздействие климатических факторов, в первую очередь температуры, существенно влияют на срок службы электронных устройств. Увеличение температуры элементов приводит к снижению их надежности и надежности всего ЭС и к ускорению процессов старения с течением времени. При изменении температуры изменяются электрические параметры электрорадиоэлементов (резисторов, конденсаторов, полупроводниковых приборов и др.), что приводит к изменению электрических характеристик ЭС. Через некоторое время эксплуатации это может привести к выходу электрической характеристики ЭС за допустимые пределы и к отказу устройства. Эта проблема особенно актуальна для ЭС с длительным сроком эксплуатации (5-10 и более лет), используемых, например, в космических аппаратах. Поэтому прогнозирование времени работы до отказа является важной проблемой, которую необходимо решать в процессе разработки и испытания ЭС.

Цель. Изучить влияние температуры и факторов старения на электронные средства космических аппаратов при виртуальных испытаниях и разработать прогностический метод оценки срока службы электронных устройств.

Результаты. В данном исследовании предлагается основанный на моделировании метод прогнозирования срока службы электронных устройств, специально применяемый к устройствам, используемым в аэрокосмической промышленности, где рабочие устройства подвергаются термическим нагрузкам и длительному эксплуатационному старению. Результаты исследований показывают, что на деградацию электронных устройств существенное влияние оказывают как условия окружающей среды, так и время эксплуатации.

Практическая значимость. Применение описанного подхода к прогнозированию наработки до отказа позволяет повысить эффективность процесса разработки ЭС, сократить время и снизить затраты на процесс испытаний продукции перед массовым производством.

Ключевые слова

Срок службы, температура, надежность электронных средств, старение, виртуальные испытания.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Для подтверждения требуемых характеристик и показателей надежности разрабатываемых ЭС проводят различные виды натурных испытаний. Но для ЭС с длительным сроком эксплуатации, как у средства, используемого в космосе, в процессе натурных испытаний, продолжительность которых значительно меньше планируемого срока эксплуатации ЭС, очень трудно, а иногда и невозможно достоверно оценить время наработки до отказа с учетом влияния различных факторов. А при ускоренных натурных испытаниях возникают сложности с определением условий проведения испытаний и пересчетом результатов испытаний в характеристики ЭС для реальных условий эксплуатации. В то же время проведение натурных испытаний связано с затратами на изготовление опытных образцов, использование дорогостоящего испытательного оборудования, доработку ЭС в случае обнаружения несоответствий требованиям технического задания.



Рис. 1. Основные методы испытаний для подтверждения требуемых характеристик и показателей надежности ЭС

Fig. 1. Main testing methods for confirming the required characteristics and reliability indicators of electronic equipment (EE)

Виртуальные испытания проводятся на основе использования программного обеспечения для моделирования схемы и конструкции ЭС с учетом влияния температуры и факторов старения. Виртуальные испытания предоставляют результаты воздействия наиболее значимых эксплуатационных факторов, таких как температура и время, на надежность оборудования. Благодаря сокращению времени проведения, сниженным требованиям к испытаниям и простой методике, основанной на высоконадежной математической модели, виртуальные испытания всё шире применяются в таких отраслях, как аэрокосмическая промышленность, машиностроение и др.

Некоторые из основных преимуществ виртуального испытания:

- Короткое время: Виртуальное испытание позволяет существенно сократить время по сравнению с традиционными методами испытаний за счет использования компьютерных моделей и программного обеспечения, учитывающего основные внешние факторы, влияющие на ЭС.

- Минимизация количества образцов: этот метод исключает необходимость изготовления реальных образцов ЭС для испытаний, тем самым экономя материальные ресурсы и производственные усилия.

- Достоверность математического описания: Точные математические модели обеспечивают возможность максимально точно имитировать реальные условия эксплуатации, позволяя прогнозировать поведение устройства в различных условиях эксплуатации.

- Сохранение бюджета: виртуальное испытание является очень экономически эффективным при разработке и проверке оборудования, поскольку устраняет необходимость в проведении многочисленных физических испытаний и сокращает материальные затраты.

Выходные характеристики схемы стабилизатора напряжения

Вданной работе проводились исследования на примере стабилизатора напряжения, выходные характеристики которго показаны на рисунке 2: $U_{вх}$ = 12-20 В и $U_{вых}$ = 9.7-10 В.

Для реализации метода виртуальных испытаний, используемого для прогнозирования наработки до отказа ЭС, основной и наиболее критической задачей является построение электро-тепловой модели электронной системы (ЭС). На рисунке 3 представлена блок-схема модулей, используемых для построения модели и проведения моделирования.

Сначала начальные параметры модели, такие как значения пассивных компонентов и полупроводниковых приборов, рассчитываются в MATLAB. Затем программное обеспечение Multisim используется для моделирования и расчета электрических характеристик и мощностей тепловыделения компонентов схемы. На основе этих параметров в SolidWorks создается модель, отображающая реальную геометрию и размеры схемы, и проводится тепловое моделирование для определения значений температур на каждом элементе электрической схемы.

Полученные в результате теплового моделирования данные о температуре затем возвращаются в модуль MATLAB для повторной оценки влияния температуры на электрические параметры компонентов с учетом фактора старения. После завершения расчетов и моделирования теплового режима данные передаются в модуль Excel для обработки, формирования необходимых таблиц и графиков.

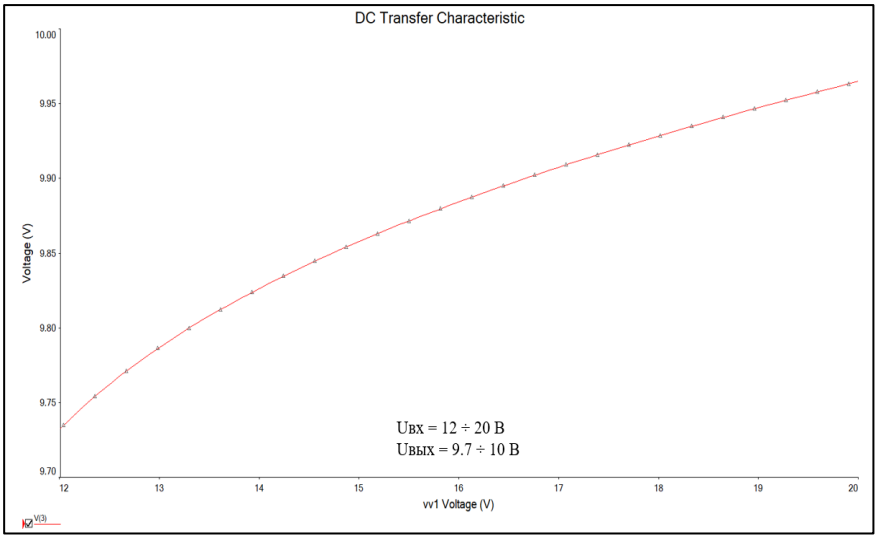


Рис. 2. Выходные характеристики стабилизатор напряжения при изменении входного напряжения
Fig. 2. Output characteristics of a voltage regulator under input voltage variation

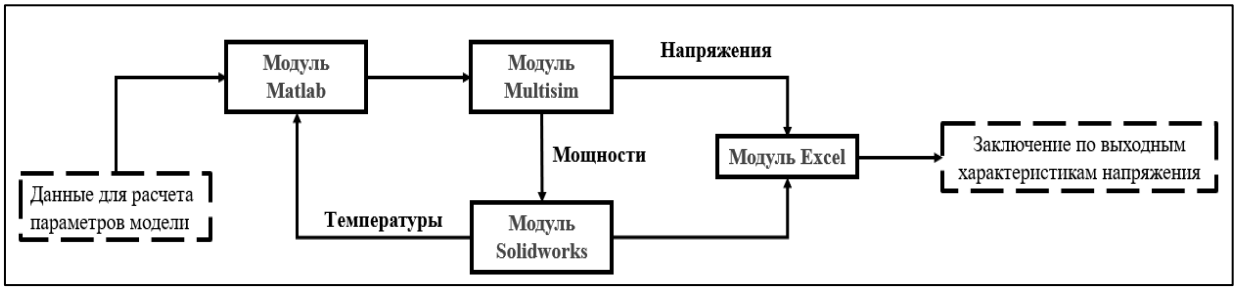


Рис. 3. Схема модулей, используемых для построения модели и проведения моделирования ЭС
Fig. 3. Scheme of modules used to build the model and conduct simulation of the ES

Модель схемы стабилизатора напряжения показана на рисунке 4.

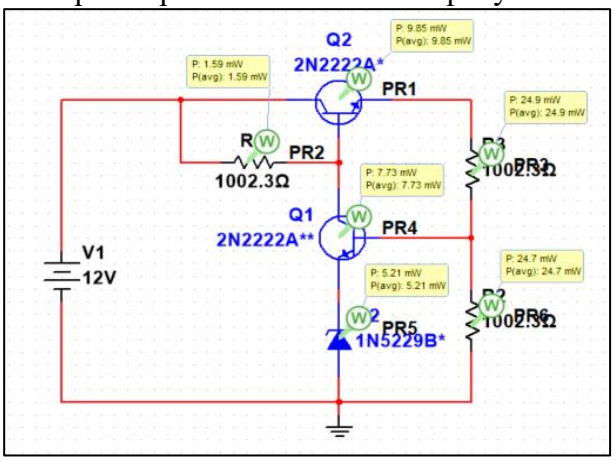


Рис. 4. Модель схемы стабилизатора напряжения с использованием двух транзисторов
Fig. 4. Model of voltage stabilizer circuit using two transistors

В таблице 1 и на рисунке 5 представлены результаты виртуальных испытаний исследуемого стабилизатора напряжения.

Таблица 1. Оценка изменения параметров (сопротивлений резисторов) и выходной характеристики устройства с учетом температуры и фактора старения

Время работы	Номинальные сопротивления	R1, Ом	R2, Ом	R3, Ом	$U_{вых}$, В
1 год	R1 = R2 = R3 = 1000 Ом	1019	1020	1020	9,96…10,25
5 лет		1180	1181	1181	10,33…10,69
10 лет		1380	1381	1381	10,75…11,08

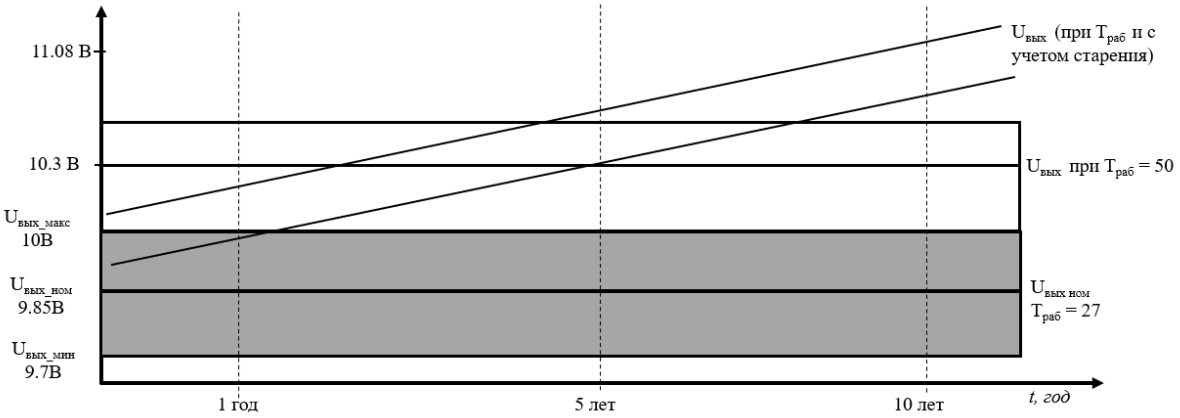


Рис. 5. Результаты расчета характеристик выходного напряжения схемы стабилизации напряжения в конкретных условиях

Fig. 5. Results of calculation of characteristics of output voltage of voltage stabilization circuitь under specific conditions

В таблице 1 приведены значения параметров резисторов и выходное напряжение для времени работы 1 год, 5 и 10 лет.

Для схемы стабилизатора напряжения с резистором с ТКС = 100 ppm коэффициент старения составляет 1–2% в первый год и 3–5% в последующие годы. В первый год эксплуатации под воздействием климатических факторов, таких как температура и старение с течением времени, значение сопротивления резистора изменяется примерно на 2%, через 5 лет оно составляет около 18%, а через 10 лет значение сопротивления резистора изменяется примерно на 38%.

Тенденция изменения выходного напряжения стабилизатора напряжения показана на графике. Под воздействием температуры и времени эксплуатации характеристики выходного напряжения стабилизатора напряжения изменяются в восходящий тенденции, выходя за пределы допустимого диапазона напряжений согласно техническому заданию на стабилизатор напряжения примерно на 7-м году эксплуатации. Это может привести к неправильной работе схемы, особенно устройств, которые используются в космическом оборудовании, это увеличит риск полного отказа оборудования.

Заключение

Метод прогнозирования наработки до отказа электронных средств космических аппаратов с использованием виртуальных испытаний является ключевым этапом проектирования электронных систем перед их массовым производством и выходом на рынок. Этот метод позволяет определять значения выходных характеристик средств в любой момент эксплуатации, прогнозировать срок службы средств, а также прогнозировать наработку на отказ. Этот метод значительно сокращает время и затраты, обеспечивая высокую эффективность и достоверность результатов виртуальных испытаний по сравнению с традиционными методами.

Результаты исследований могут быть использованы в процессе проектирования, испытаний, эксплуатации и технического обслуживания ЭС космических устройств или других устройств с длительным сроком службы и высокими требованиями к качеству и надежности.

Список источников

1. *Фам С.Х., Долматов А.В., Увайсов Р.М.* Виртуальные климатические испытания электронных средств. VIII Международной научно-практической конференции, «Актуальные проблемы и перспективы развития радиотехнических и инфокоммуникационных систем» «Радиоинфоком-2024», 2024. – с. 24.
2. *William Q. Meeker, Luis A. Escobar and C. Joseph Lu.* Accelerated degradation tests: modeling and analysis. Technometrics, Vol. 40, No. 2. 1998. – 89-99 с.
3. *Долматов А.В., Фам С.Х., Во Т.Х., Увайсов Р.М.* Анализ влияния температуры и фактора старения на сопротивление резистора при проведении ускоренных испытаний. Инновационные, информационные и коммуникационные технологии сборник трудов XXI Международной научно-практической конференции. Москва, 2024. 2024. – 159 – 163 с.

PREDICTION OF TIME TO FAILURE OF ELECTRONIC EQUIPMENT IN SPACECRAFT

A.V. Dolmatov [1], Pham Xuan Hanh[2], Vo The Hai[3], Nguyen Duc Hai[4]
[1–4] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1]dolmatov@mirea.ru, [2]phamxuanhanhld161@gmail.com, [3]thehai.ttrd@gmail.com, [4]duchai09011997@gmail.com

Abstract

The degradation of material properties in electronic equipment (EE) is one of the main factors affecting their operability. Changes in the parameters of EE materials caused by aging, along with the simultaneous influence of climatic factors—primarily temperature—significantly impact the service life of electronic devices. An increase in the temperature of components leads to a decrease in their reliability and the reliability of the entire EE, as well as to the acceleration of aging processes over time. As temperature changes, the electrical parameters of electronic components (resistors, capacitors, semiconductor devices, etc.) also change, resulting in alterations to the electrical characteristics of the EE. After some period of operation, this may lead to the electrical characteristics of the EE exceeding acceptable limits and to device failure. This issue is especially critical for EE with long service lives (5–10 years or more), used, for example, in spacecraft. Therefore, predicting the time to failure is an important problem that must be addressed during the design and testing of EE.

Keywords

Service life, temperature, reliability of electronic equipment, aging, virtual testing.

УДК 621.396

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ КОСМИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ И СИСТЕМ

В.И. Черенков[1], **Н.Н. Грачев**[2]
[1–2] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] cherenkov@mirea.ru, [2] grachev_n@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Обеспечение электромагнитной совместимости в радиоэлектронных системах космических аппаратов осложняется воздействием космической среды, паразитными каналами приёма и отсутствием единых норм для параметров среды распространения помех. Неполадки, возникающие на борту космических аппаратов, несмотря на успешные наземные испытания, требуют разработки новых методов анализа и защиты.

Цель. Систематизация подходов к обеспечению электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств космических аппаратов, включая численное моделирование, нормирование помех и экспериментальную верификацию.

Результаты. Разработаны рекомендации по нормированию узкополосных и импульсных помех, предложены методики оценки индукционных токов и магнитных полей, обоснована необходимость многоточечного заземления и защиты интерфейсов.

Практическая значимость. Реализация предложенных подходов повышает надежность за счёт минимизации электромагнитных помех, оптимизации компоновки и соответствия международным стандартам. Результаты применимы при проектировании космических систем, ракет-носителей и наземных станций.

Ключевые слова

ЭМС, космический аппарат, РЭС, паразитные каналы, импульсные помехи, численный анализ, магнитное поле, нормирование помех, защита интерфейсов, помехозащищенность

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

История развития космической техники и освоения космического пространства содержит множество фактов неудач, неполадок в работе бортовой аппаратуры и необъяснимых явлений, происходящих на борту космических аппаратов (КА), успешно прошедших все наземные испытания.

Указанные явления - это причина того, что разработки радиоэлектронных средств (РЭС) КА сталкивались с необходимостью решения одной из ключевых проблем современней радиоэлектроники проблемы обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) РЭС на борту КА. Многочисленные исследования условий работы аппаратуры в космическом пространстве позволили делать выводы о специфических условиях работы при целом ряде воздействующих факторов космического пространства.

Цель работы – систематизация подходов к обеспечению электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств космических аппаратов, включая численное моделирование, нормирование помех и экспериментальную верификацию.

ЭМС в космическом пространстве

Дело в том, что наружные элементы конструкции КА облучаемые УФ излучением Солнца u потоками энергичных, заряженных частиц, могут оказаться под различными электрическими потенциалами и стать источниками разрядных токов и помех, существенно искажающих характеристики окружающей плазмы. Для каждого вида помех и помехозащищенности (по цепям, по полю, импульсных, узкополосных) норма должна быть единой для всех элементов РЭС КА, что дает возможность внесения корректив в компоновку комплекса без риска нарушить условия ЭМС. Наличие общих норм не исключает возможности предъявления индивидуальных дополнительных требований к отдельным элементам и нормам, если в этом есть необходимость.

В области ЭМС космических устройств и систем в настоящее время далеко не все, и особенно конструкторско-технологические, характеристики ЭМС отражены в существующей

НТД и не всегда они указываются в ТЗ и ТУ на продукцию, что говорит о трудностях, возникающих при создании высококачественной по признаку ЭМС продукции. С ограниченной областью распространения действуют ведомственные стандарты - ОСТы, руководящие технические материалы (РТМ) и Межведомственные требования, имеющие прямое или косвенное отношение к обеспечению ЭМС космических РЭС.

Среди зарубежных стандартов основополагающим документом в области ЭМС космических РЭС является стандарт США MIL STD-1541 [1], включающий в себя требования к электронному оборудованию космических РЭС. Стандарт включает конструктивные требования, приспособленные к космическим условиям, а также точные руководящие указания по обеспечению эффективности программ ЭМС. Стандарт рассчитан на избирательное применение к общим космическим системам с особым упором на фазу конструкторского анализа. В стандарте сформулированы требования по ЭМС на уровне систем, подсистем и оборудования. Сфера применения MIL STD-1541 -космические системы, ракеты носители, КА, наземные станции слежения. Сопровождающий документ MIL STD-1542 включает требования по ЭМС и заземлению. Требования MIL STD-1541 содержат требования к электронному оборудованию, подверженному воздействию энергии электронов и протонов солнечного ветра космической плазмы на темной стороне земли, которая заряжает спутник до уровней 10...20 кВ. К описываемым источникам помех относится дуговой разряд с пиковым значением тока до 1000 А и шириной импульса до 1 мкс, образующий высокочастотное поле с пиковой напряженностью в 1000 В/м и более. В стандарте содержатся требования к общему заземлению и металлизации (проводящие покрытия) самого спутника. (Существует ограничение в 10е Ом См на сопротивление изолирующего покрытия с целью ограничения заряда аккумулирующегося на поверхности объекта. Стандарт предусматривает многоточечное заземление для вторичных источников вторичного электропитания (ИВЭП), а также для дискретных систем. Смешанное заземление обеспечивает совместимость систем с экономией стоимости и веса. В стандарте рассмотрены ограничения на броски тока в шинах питания при одновременной работе бортовых систем.

Нормируемые физические величины, их параметры, а также схемы контроля норм должны максимально соответствовать величинам, параметрам и эквивалентным схемам, используемым при численной оценке ЭМС. В этом случае удается минимизировать интервалы неопределенности, возникающие при пересчетах от контролируемых параметров к параметрам, используемым при численной оценке ЭМС. Содержание методов численной оценки ЭМС указывает на целесообразность установления норм на следующие физические величины, характеризующие электромагнитные помехи: Фазный ток в обще бортовой сети питания ± 27 В, синфазный ток во всех соединительных кабелях, включая кабели питания НП; магнитную составляющую поля помех, создаваемых РЭС; электрическую составляющую поля помех, создаваемых РЭС. Выбор в качестве основной нормируемой величины тока помех, а не напряжения связан с преимущественным распространением в бортовых условиях связей по магнитному полю между контурами источников помех и рецепторов и относительно большей сложностью борьбы с магнитными наводками по сравнению с электрическими.

Непрерывные узкополосные и импульсные помехи

Целесообразно задание раздельных норм на непрерывные узкополосные и на импульсные помехи. Для узкополосных помех норма устанавливается на эффективные значения измеряемых величин в регламентированных полосах пропускания измерительных трактов. Очевидно, что при этом следует устанавливать возможно более узкие полосы измерительных трактов, учитывая необходимость контролировать каждую гармоническую составляющую процесса помех. Последнее связано с наличием в составе РЭС значительного числа цифровых схем с тактовой синхронизацией и узкополосных измерительных трактов, реагирующих на отдельные частотные составляющие спектров непрерывных помех. При установлении норм на импульсные помехи необходимо по возможности ближе подойти к регламентации уровней спектральных составляющих отдельных импульсов, фиксируемых с временным разрешением в доли

микросекунды. В этом случае будут достигнуты наибольшая определенность в оценке помех и наименьший риск необоснованно завысить требования на помехи, неверно вычисляя пиковую реакцию схемы рецептора. Например [2], максимально возможное напряжение на входе амплитудного дискриминатора в случае схемы с линейным детектором:

$$U_{\text{Л.Д.}max} = \int_{\Omega_H}^{\Omega_B} [G_c(\omega) + G_n(\omega)]R(\omega)d(\omega), \quad (1)$$

где $G_c\ (\omega), G_n\ (\omega)$ - спектральные плотности напряжения сигнала и помехи, вычисленные путем интегрирования соответствующего процесса в интервале времени, равном постоянной времени тракта рецептора $T_р$ [3] до входа в амплитудный дискриминатор:

$$G_n(\omega) = \int_{-\rho/2}^{\rho/2} U(t)e^{-j\omega t}dt, \quad (2)$$

где $G_n\ (\omega)$ - частотная характеристика участка тракта рецептора от его входа до амплитудного дискриминатора; Wн, Wв - нижняя и верхняя частотные границы воспринимаемости рецептора к помехам. Здесь используются модули частотных характеристик.

Оценка ЭМС без учета фазовых соотношений представляет собой оценку сверху, вообще говоря, завышенную. При необходимости она может быть скорректирована введением соответствующих направленных коэффициентов, определяемых экспериментально статистическими методами. Реакция тракта рецептора с квадратичным детектором находится согласно [4]:

$$U_{\text{К.Д.}max} = \int_{\Omega_H}^{\Omega_B} F(\omega)d(\omega), \quad (3)$$

$$F_{\Sigma}(\omega) = \frac{2}{\tau_p}\left[[G_c(\omega) + G_n(\omega)]R(\omega)\right]^2. \quad (4)$$

Основными характеристиками помех, определяющими показатели качества функционирования рецепторов (например, вероятностью сбоя), являются значения спектральной плотности помех на входе рецептора в полосе частот его восприимчивости, а также временные характеристики потоков импульсов помех. Соответственно в качестве характеристики помехозащищенности по отношению к непрерывной узкополосной помехе используется частотная характеристика минимального уровня помехи Uдоп [5], при котором:

$$U_{\text{л.д}} > U_0 \text{ или } U_{\text{к.д}} > U_0, \quad (5)$$

где: Uo - заданный уровень входного напряжения.

Защищенность рецепторов от импульсных помех характеризуется одним из двух параметров: либо минимальным значением амплитуды импульса помехи с заданным спектральным составом, при котором выполняется условие (5), либо минимальным значением статического параметра - математического ожидания амплитуды импульса - при фиксированных временных параметрах импульсного потока и спектральном составе импульсов, при котором выполняется условие:

$$P_{\text{С.Б.}} > P_{\text{С.Б.доп.}}, \quad (6)$$

где: РС.Б - средняя частота (вероятность) ложных срабатываний.

На рис. 1 показано устройство защиты интерфейса, которое может генерировать поля, воспринимаемые элементами схем блока. В реальной бортовой системе количество контуров источников может быть в пределах от пяти до нескольких сот.

Здесь $\omega_s, \omega_{i.f.}, \omega_m$ - соответственно частота настройки приемника, промежуточная частота и зеркальная частота. Ω_n, Ω_v - частотные границы анализа восприимчивости рецептора и помехам.

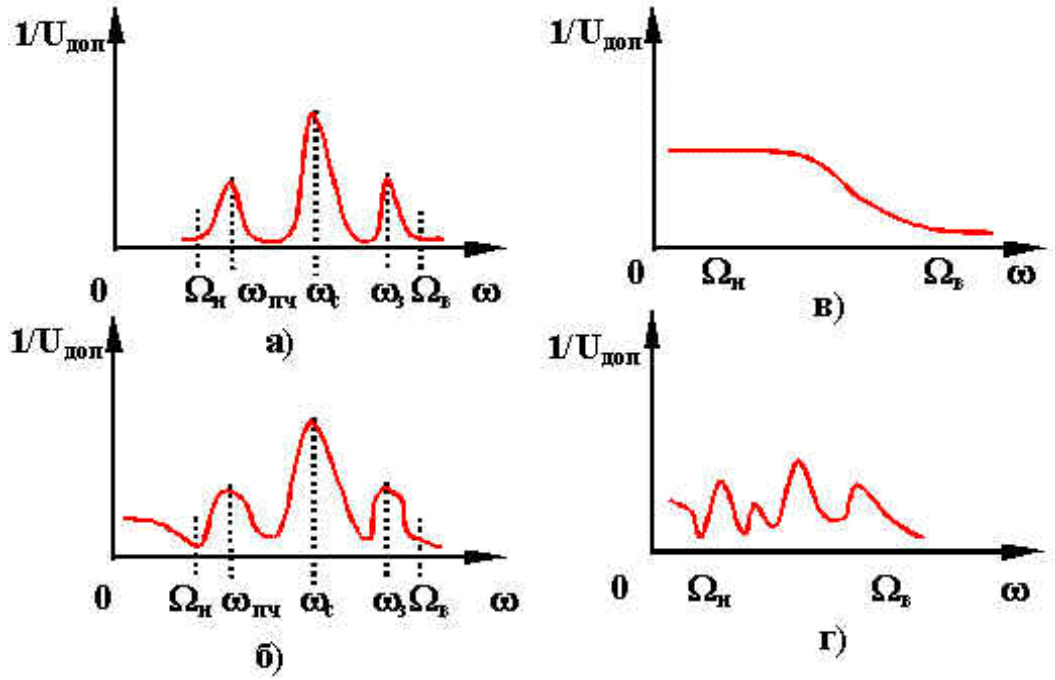


Рис. 1. Частотные характеристики помехозащищенности рецепторов к гармоническим помехам, а/ - супергетеродинный приемник, сигнальный вход; б/ -"-, цепи питания; в/ - бортовая ЭВМ, сигнальный вход; г/ - "-, цепь питания.

Fig. 1. Frequency characteristics of noise immunity receptors to harmonic interference and / - superheterodynecrystal receiver, the signal input; b / - "-, the food chain; c / - on-board computer, the signal input; d / - "-, the power supply circuit.

Кроме основного канала приема, большинство рецепторов обладает одним или несколькими паразитными каналами приема, образующимися вследствие наличия нелинейности, паразитных связей или резонансов в трактах рецептора. В этом случае интегрирование в (1) и (3) выполняется в полосе частот, охватывающей и паразитные каналы приема.

Нормы на параметры среды распространения помех (параметры сопротивлений связи и затуханий полей) в настоящее время устанавливать нецелесообразно, так как не существует удовлетворительных методик контроля этих параметров применительно к бортовому оборудованию. Отсутствие норм на параметры среды распространения не позволяет говорить о том, что системой норм полностью фиксируются условия, обеспечивающие ЭМС на КА. Разное изменение компоновки отсека с научной аппаратурой, изменение конструктивных параметров кабельной сети приводит каждый раз к необходимости проведения контрольной оценки ЭМС. Опыт проведения работ на ряде КА [6] говорит о том, что целесообразно установление норм на помехозащищенность по отношению к кондуктивным помехам, попадающим в элементы и узлы КА из обще бортовой сети питания, к магнитному полю помех, к электрическому полю помех (раздельно для гармонических и импульсных помех). В отношении гармонических помех должна регламентироваться частотная характеристика допустимого уровня помехи при заданных характеристиках качества функционирования испытуемого узла или блока. В отношении импульсных помех целесообразно ориентироваться на воспроизведение в ходе испытаний на помехозащищенность временных характеристик и спектрального состава реальных импульсных потоков. Норма задается в виде значения амплитуд импульсов или уровня имитируемой помехи в показаниях стандартного измерителя помех, при которых качество функционирования блока не хуже заданного. Это наиболее "прямо показывающие" нормы. Последовательность действий при разработке норм может сводиться к следующему. Первоначальной обработкой табличных данных для каждого вида помех и помехозащищенности находятся огибающие их характеристики как совокупность максимальных значений помех и минимальных значений помехозащищенности в каждом частотном разряде. Огибающие присваиваются всем источникам помех и рецепторам. С

использованием этих характеристик производится численная оценка ЭМС КА. Если оценка дает положительный результат, огибающие принимаются в качестве норм на параметры ЭМС. В случае отрицательного результате производится анализ причин мешающих влияний.

Контроль параметров ЭМС осуществляется на всех этапах разработки и изготовления РЭС КА, а также во время испытаний в составе технологического и летного образцов. Методы должны быть по возможности едиными для приборов, различных по своему функциональному назначению, схемному и конструктивному выполнению, размещению на борту КА. При испытаниях должны воспроизводиться некоторые "средние" условия эксплуатации. Методы должны обеспечивать повторяемость (воспроизводимость) всех измерений, т. е. получаемый результат не должен зависеть от конкретного места измерения, экземпляра измерительного прибора, незначительных отклонений в действиях аппаратуры. Методы контроля параметров ЭМС на стенде в значительной степени условны. Однако, результаты измерений должны корректироваться со степенью мешающего действия источника или восприятия помехи рецептором. При работе на борту РЭС находятся вблизи металлической поверхности корпуса КА, поэтому при контроле помех возникает необходимость имитации корпуса КА, для чего используется металлическая плоскость. Существенное влияние на результат измерения помех оказывает взаимное расположение блоков. Одним из факторов, ограничивающих точность измерений, является уровень посторонних помех. Особенно существенное значение он приобретает при контроле параметров ЭМС на предприятиях изготовителях, где уровень посторонних помех может быть весьма значительным. Условием получения достоверных результатов испытаний является также сохранение реальных высокочастотных нагрузок для помехонесущих контуров.

Численный анализ ЭМС

Численный анализ ЭМС элементов и систем РЭС является важнейшей составной частью работ по обеспечению ЭМС. Его значимость наглядно подтверждается целями, решаемыми на различных этапах проектирования, изготовления, испытаний, ввода в эксплуатацию и эксплуатации космического аппарата: определение состава штатных функций исходя из принципиальной возможности обеспечения их ЭМС, разработка основных принципов компоновки бортовых РЭС исходя из обеспечения ЭМС, разработка требований к параметрам ЭМС отдельных штатных РЭС и научных приборов, проверка достаточности предлагаемых схемных и конструкторских решений для обеспечения ЭМС, уточненная оценка ЭМС на базе экспериментальных данных, получаемых при испытаниях образцов РЭС и комплекса в целом, выявление и выбор способов устранения причин недопустимых электромагнитных помех во время эксплуатации КА.

Требование военно-космической техники предусматривает устойчивость блоков космической РЭА к явлению, наблюдаемому при воздействиях рентгеновских лучей, которые выбивают электроны из структуры КА и экранов кабелей. Эти "выбитые" электроны создают на проводниках кабелей импульсы тока, которые, в свою очередь, будут индуцировать высокое напряжение на интерфейсных схемах блоков. Этот эффект ослабляется введением перед схемой интерфейса, устройств защиты (оконечных устройств), которые шунтируют ток к блоку и, следовательно, ограничивают напряжение на контактах. Устройства защиты могут быть скорректированы для адекватной защиты интерфейсов блока, однако в этом случае возникает проблема воздействия полей индукции тока на элементы схем блока, которые не соединены со схемами интерфейса, и поэтому не защищены от помех, которые ток будет индуцировать внутри блока.

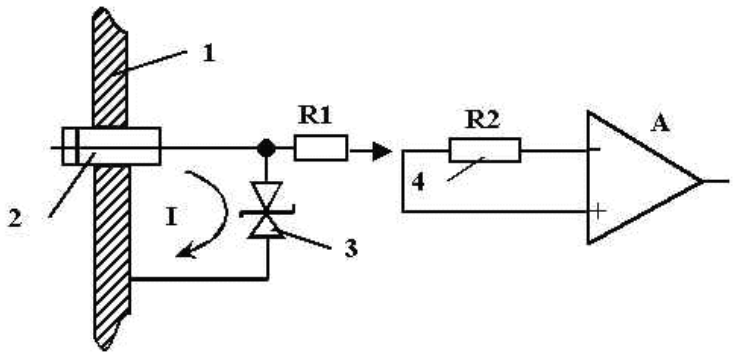


Рис. 2. Механизм образования импульсного магнитного поля. 1 - стенка блока; 2 - блочный соединитель; 3 - источник излучения; 4 - приемник излучения.

Fig. 2. The mechanism of formation of a pulsed magnetic field.
1 - wall unit, 2 - block connector 3 - radiation source 4 - radiation detector

Методика анализа и оценки влияния этого эффекта предусматривает следующие этапы: 1) Описание параметров источника тока. 2) Определение единого контура источника. 3) Определение единого контура приемника. 4) Определение связи между источником и приемником. 5) Вычисления напряжения открытой схемы приемника. 6) Испытания для проверки результатов анализа. 7) Выполнение энергии в нагрузке приемника. 8) Сравнение вычисленных уровней энергии с требованиями ТУ на элементы блока. Величина тока в контуре зависит от типа кабеля, уровня рентгеновского излучения и полного сопротивления контура. Напряженность поля находится в линейной зависимости от величины тока источника, и в гораздо большей степени от геометрических размеров реального контура.

Так как устройства защиты выполняют функции шунтирования тока, то первостепенное значение имеют магнитные поля- Магнитное поле, производимое током, который протекает через элементарный контур, определяется следующей формулой [7]:

$$H = \frac{Ia^2}{4\pi}\left(\frac{1}{r^3} + j\frac{2\pi}{\lambda r^3} - \frac{2\pi}{\lambda r}\right)e^{j2\pi O\lambda} \quad (7)$$

где I - ток в контуре в амперах; l - длина волны в метрах; *O.* - радиус контура в метрах; r - расстояние от центра контура в метрах.

Предполагается, что a << r. Так как эффект воздействия приближен к затухающей синусоиде, ток контура источника I будет определяться следующим соотношением:

$$I = Asin\left(\frac{2\pi t}{T}\right)e^{\text{вt}}, \quad (8)$$

где A - амплитуда тока (A); t - время (сек); T - период тока (сек); b - коэффициент затухания (сек $^{-1}$).

Контур приемника, определен в виде радиально связанных дуг (рис. 3), расположенных концентрически в плоскости кольца приемника. Определение контура приемника в таком виде облегчает вычисление плотности тока, сводя решение двойного интеграла по площади контура приемника к одному интегралу, умноженному на θ, где θ - угол, стягивающий крайние сегменты контура приемника. Магнитный поток через контур приемника [8] можно вычислить по формуле:

$$\Phi = \mu\theta\int_{r_1}^{r_2}|H|r\,dr, \quad (9)$$

где μ - магнитная проницаемость свободного пространства; θ - ширина контура приемника в радианах; r - радиус, проведенный от центра контура источника в метрах; r1 - внутренний радиус контура приемника в метрах; r2 - внешний радиус контура приемника в метрах.

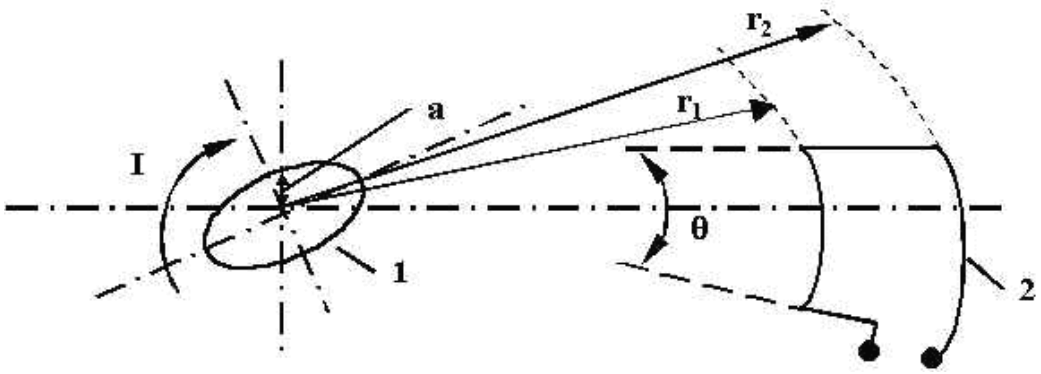


Рис. 3. Модель контура для анализа: 1 - источник; 2 - приемник; a - радиус контура; I - ток в контуре.
Fig. 3. Model for circuit analysis 1 - source 2 - receiver; a - radius of the loop; I - current in the circuit.

Используя выражение для потока Ф, для определения напряжения индуцированного в одновитковом контуре приемника, может быть использован закон Фарадея [9]. В результате получается следующее выражение:

$$U_{\text{oc}} = \left[-A\sqrt{B^2 + \frac{4\pi^2}{T}}a^{-\beta t}\cos\left(\frac{2G}{T}t + tg\frac{-1bt}{2\pi}\right)\right]\left[\frac{a^2\theta}{4}\int_{r_1}^{r_2}\left(\left(\frac{1}{r^3} - \frac{4\pi}{\lambda^2 r}\right) + \left(\frac{2\pi}{\lambda^2}\right)^2\right)\right] r\,dr \qquad (10)$$

где A - амплитуда пиковых значений тока (A); q - радиус контура источника (метры); b - коэффициент затухания (^{1}/s); r - расстояние от центра контура; r1 - расстояние от внутреннего края приемника до центра контура источника (м); q - ширина контура приемника (рад); T - период тока (сек); t - время (сек); m - магнитная проницаемость свободного пространства; l - длина волны (м).

Описанное выше уравнение решается с помощью ЭВМ с учетом изменения всех входных параметров, относящихся к физической геометрии источника и контура приемника, а также параметра сигнала тока источника. Результаты расчета - напряжение как функцию от времени H(t). Данные испытаний [10] подтверждают результаты вычислений. Указанный алгоритм может быть использован для оценки чувствительности различных типов схем. Используя коэффициент связи, можно определить энергию E в контуре приемника при помощи простой модели, изображенной на рис. 4. При определении энергии в контуре приемника важными факторами являются входное сопротивление устройства и полное сопротивление контура источника. Сравнение полученных значений энергий с энергиями, приводящими к нарушению работоспособности элементов схем, позволяет судить о возможных отказах.

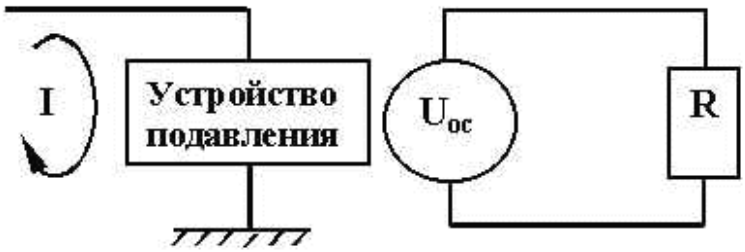


Рис. 4 Модель вычисления передачи энергии от устройства защиты к элементу схемы внутри блока.
Fig. 4. Model for calculating energy transfer from a protection device to an internal circuit element within the unit**.**

Заключение

В данной работе проведен комплексный анализ ключевых аспектов обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных систем на борту космических аппаратов. Исследование подтвердило, что специфические условия космического пространства, включая воздействие ультрафиолетового излучения, потоков заряженных частиц и накопление электростатических потенциалов, создают значительные риски возникновения помех, способных нарушить работоспособность бортовой аппаратуры.

Методы численной оценки ЭМС на основе нормирования токов помех, магнитных и электрических полей демонстрируют высокую эффективность. Установление раздельных норм для узкополосных и импульсных помех, а также учет паразитных каналов приема в трактах рецепторов позволяют минимизировать риски несовместимости. Результаты моделирования, включая анализ индуцированных напряжений и магнитных полей (формулы 7–10), подтверждают адекватность предложенных подходов. Реализованные алгоритмы численного анализа (например, расчет энергии в контуре приемника) позволяют прогнозировать устойчивость аппаратуры к импульсным помехам и корректировать проектные решения на ранних стадиях. Перспективным направлением является интеграция предложенных методов в автоматизированные системы проектирования, а также расширение экспериментальной базы для уточнения коэффициентов связи и параметров среды распространения помех. Дальнейшие исследования должны быть сосредоточены на унификации требований к ЭМС для многоразовых и малых космических аппаратов, где ограничения по массе и габаритам усложняют традиционные подходы к обеспечению помехозащищенности.

Список источников

1. *Перлстон С.В.* Genesis and Implications of MIL-STD-1541: Электромагнитные требования для космических систем // IEEE Electromagnetic Compatibility Symposium. – New York, 1975. – P. 213–214.
2. *Михайлов В.Ф., Мошкин В.И., Брагин И.В.* Системы космической связи: учебное пособие. Санкт-Петербург, 2006. – 174 с.
3. *Гальперин Ю.И., Гладышев В.А., Козлов А.И.* Электромагнитная совместимость космического научного комплекса «АРКАД-3». Москва: Наука, 1984. – 190 с.
4. *Йергенсен Д.Э.* Передовые авионики для аэрокосмических систем // Цифровые авиационные системы: Труды конференции IEEE/AIAA. – США, 1983. – С. 251–257.
5. *Курский В.И.* Космическая телеметрия. – Москва.: Наука, 1970.
6. *Адамс У.Дж.* Влияние электромагнитных импульсов (SEMP) на связь магнитного поля с экранированными цепями // Международный симпозиум IEEE по электромагнитной совместимости. – Boston, 1985. – С. 385–389.
7. *Седельников Ю.Е.* Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств. Учебное пособие. - Казань. ЗЛО «Новое знание», 2006. 304 с.
8. Князев А. Д. Элементы теории и практики обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств. М.: Радио и связь, 1984. 336 с.
9. *Малков Н.А., Пудовкин А.П.* Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств: учеб. пособие. Тамбов : Изд-во Тамбов. техн. ун-та. 88 с.
10. *Стивенс Н.Дж.* Взаимодействие космической среды с экранированными поверхностями космических аппаратов // AIAA Paper. — 1980. — № 853. — 11 с.

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY ANALYSIS OF SPACECRAFT SYSTEMS AND DEVICES

V.I. Cherenkov [1], **N.N. Grachev** [2]
[1–2] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] cherenkov@mirea.ru, [2] grachev_n@mirea.ru

Abstract

The article addresses the critical challenge of ensuring electromagnetic compatibility in spacecraft radio-electronic systems, particularly in mitigating failures caused by electromagnetic interference arising from space environment effects, such as solar UV radiation, charged particle fluxes, and surface charging phenomena. Despite rigorous ground testing, onboard equipment remains vulnerable to conductive and radiated interference, necessitating unified EMC standards and adaptive design methodologies. The study aims to analyze existing EMC frameworks, and propose methodologies for norm development, numerical EMC assessment, and validation testing tailored to spacecraft conditions. Key contributions include the establishment of separate norms for continuous narrowband and impulsive interference, the introduction of frequency-dependent thresholds for harmonic disturbances, and time-domain criteria for transient pulses. Numerical models and experimental validation techniques are employed to quantify induced voltages, magnetic field couplings, and energy transfer in onboard circuits, with emphasis on mitigating high-current arcing and high-frequency fields. Results highlight the necessity of multi-point grounding, conductive surface coatings, and shielding strategies to minimize inductive coupling between subsystems. The proposed norms and testing protocols, validated through case studies, enhance the predictability of EMC during spacecraft design phases, reducing risks of operational failures. This work underscores the importance of integrating computational analysis with physical testing to address gaps in existing technical documentation, ultimately improving the reliability of RES in next-generation space missions.

Keywords

EMC, spacecraft, RES, parasitic channels, impulse interference, numerical analysis, magnetic field, standardization of interference levels, interface protection, interference immunity.

УДК 629.78

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ЗАЩИТЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА

У. О. Шландакова [1], **Е. А. Сальников** [2]
[1 – 2] МИРЭА – Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] Ulyanashlandakova@mail.ru, [2] salnikove05@gmail.com

Аннотация

Постановка проблемы. Спутники стали неотъемлемой частью человечества и охватывают множество прикладных задач, включая космическую науку, наблюдения за звездными объектами, связь, метеорологию и навигацию. К сожалению, множество всевозможных исследований привело к новой опасной проблеме в виде орбитального космического мусора, которым считается любой объект, не выполняющий полезных функций в настоящий момент времени.

Цель. Изучить и описать современные методы и технологии активной и пассивной защит космических аппаратов от орбитального мусора.

Результаты. Проведено изучение и сравнение методов и технологий защиты космических аппаратов от космического мусора. Исследование обосновано расчетными формулами.

Практическая значимость. Полученные результаты позволяют оценить эффективность различных вариаций экранирования при защите космических аппаратов.

Ключевые слова

Космический мусор, микрометеориты, экранирование, сотовая структура, предотвращение столкновений.

A brief version in English is given at the end of the article.

Введение

Исследования в области защиты космических аппаратов появились в последние десятилетия в связи со спросом на легкие и экономичные технологии для противодействия разрушительным действиям орбитального мусора, который представляется как крупными обломками, так и мелкими осколками и микрометеоритами, в преимущественном большинстве случаев имеющими размер менее 1 сантиметра и летящими со скоростью 6 – 10 км/с на низких околоземных орбитах (НОО) и около 1 км/с на геосинхронных высотах. По общим оценкам, на данный момент на орбите находится примерно 166.000.000 (166 миллионов) объектов размером от 1 миллиметра до 1 сантиметра в диаметре и около 750.000 (750 тысяч) объектов, достигающих 1–10 сантиметров в диаметре. В представленной ниже таблице описаны размеры различных объектов, их средние скорости и носимые ими угрозы.

Таблица 1. Размеры различных объектов, их средние скорости и носимые ими угрозы

Размер	Количество на орбите	Угрозы и особенности
1–3 мм	Миллионы	• Не отслеживаемы • Локализованные повреждения
3–10 мм	Миллионы	• Не отслеживаемы • Локализованные повреждения • Предел защиты экранированием
1–5 см	Десятки тысяч	• Преимущественно не отслеживаемы • Серьезные повреждения
5–10 см	Тысячи	• Отслеживаемы в малом количестве • Критические повреждения
> 10 см	Сотни	• Отслеживаемы и каталогизированы • Критические повреждения

Современные методы защиты разделяются на активные и пассивные. Активные метода подразумевают мониторинг, каталогизацию, прогнозирование и маневрирование. Однако подобные меры также делают обязательным наличие сети датчиков, способны отслеживать изменения в элементах и их орбитах и вычислять их траектории. Подобные системы очень дороги, сложны в настройке и использовании и покрывают только часть риска. Тогда же

начались исследования в области пассивной защиты конструкций. Распространение получили варианты специального экранирования и внутренней защиты. Способ внутренней защиты подразумевает оптимальное размещение критически важных элементов по хорошо спланированной схеме, чтобы столкновение с мусором не нарушило главной функциональности аппарата. Иногда внутренняя защита предполагает увеличение толщины стенок космического аппарата, что не очень эффективно: вместе с утолщением основного корпуса, соответственно, увеличивается масса, а вследствие, и стоимость. Гораздо более экономически выгодным и практичным решением стало применение экранирования, представляющего из себя многослойную защиту из экранов-бамперов, расположенных вокруг аппарата. Проектирование Международной космической станции (МКС) в 1990-х годах в очередной раз поспособствовало дальнейшему развитию защитного экранирования. Исследования в области сверхскоростного воздействия, моделирования, проводимые NASA (от англ. National Aeronautics and Space Administration), изобретение высокопрочных и легких материалов привело к созданию многочисленных конфигураций защитных экранов. Эти защитные конструкции спроектированы для смягчения последствий сверхскоростных ударов, которые из-за чрезвычайно высокой энергии могут пробить корпусы космических аппаратов, что делает неэффективными даже варианты дублирования критически важных систем и расположения элементов в “тени”.

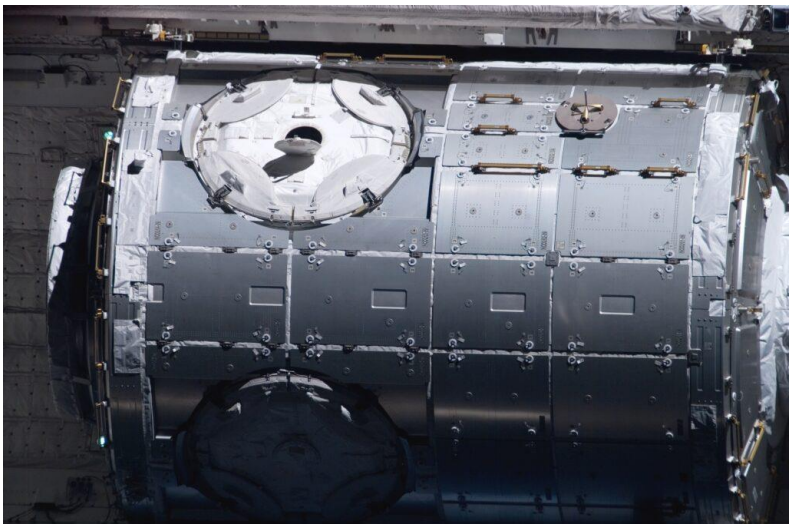


Рис. 6. Щиты на оболочке модуля Harmony на МКС
Fig. 1. Shields on the shell of the Harmony module on the ISS

Щиты Уиппла стали стандартом множества конструкций для защиты аппаратов от космического мусора. Конструкция и принцип работы такого щита представлены на рисунке 2.

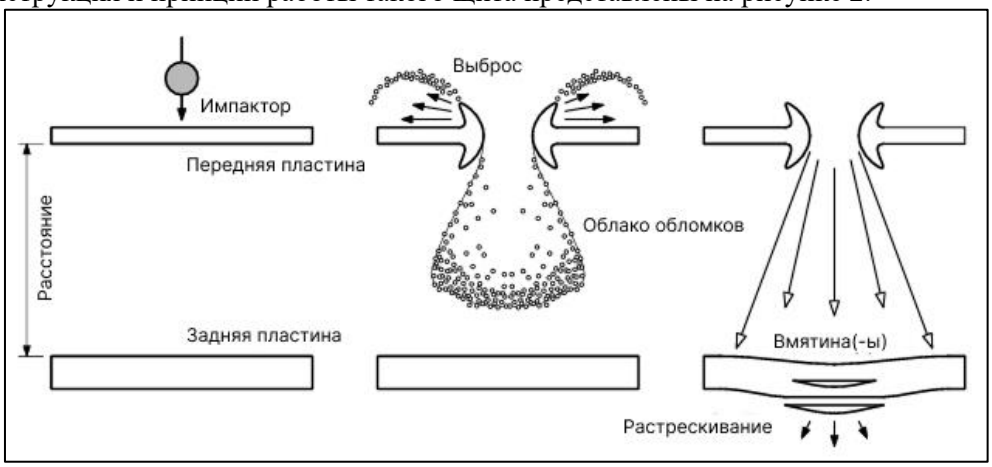


Рис.2. Устройство и принцип работы щита Уиппла
Fig. 2. The device and the principle of operation of the Whipple shield

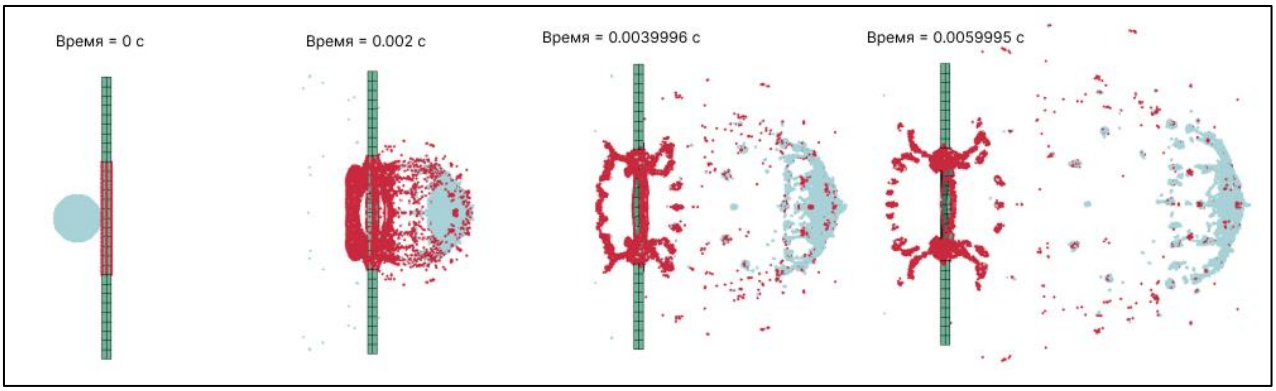


Рис.3. Анализ давления на стандартном щите Уиппла в первые 5 мкс
Fig. 3. Pressure analysis on a standard Whipple shield in the first 5 microseconds

С течением времени изобретение высокопрочных и легких материалов и дополнительные исследования поспособствовали созданию множества вариаций щитов, включая усиленные щиты Уиппла, противоударные щиты-бамперы и сэндвич-щиты. Для определения эффективности подобных разработок, учитывая последствия и скорости ударов при испытаниях, были выведены баллистические предельные уравнения (БПУ). Значения БПУ описывают диаметр частиц, вызывающий разрушение защитного экрана в различных условиях: условия удара снаряда, скорость и угол удара и плотность ударного элемента.

Сравнительная оценка

В данной работе проводится сравнение 3-х самых популярных и технологичных современных версий щитов: однослойная сотовая сэндвич-панель с алюминиевой сердцевиной, трехслойная сотовая сэндвич-панель с алюминиевой сердцевиной, гибридный противоударный экран из керамики и алюминия.

Сотовая структура - легкая ячеистая конструкция в строении щита Уиппла, защитная сердцевина между бампером и задней стенкой. Принцип работы заключается в использовании ячеек, напоминающих пчелиные соты, способствующих максимальному рассеиванию осколков и энергии, дополнительно защищая заднюю стенку.

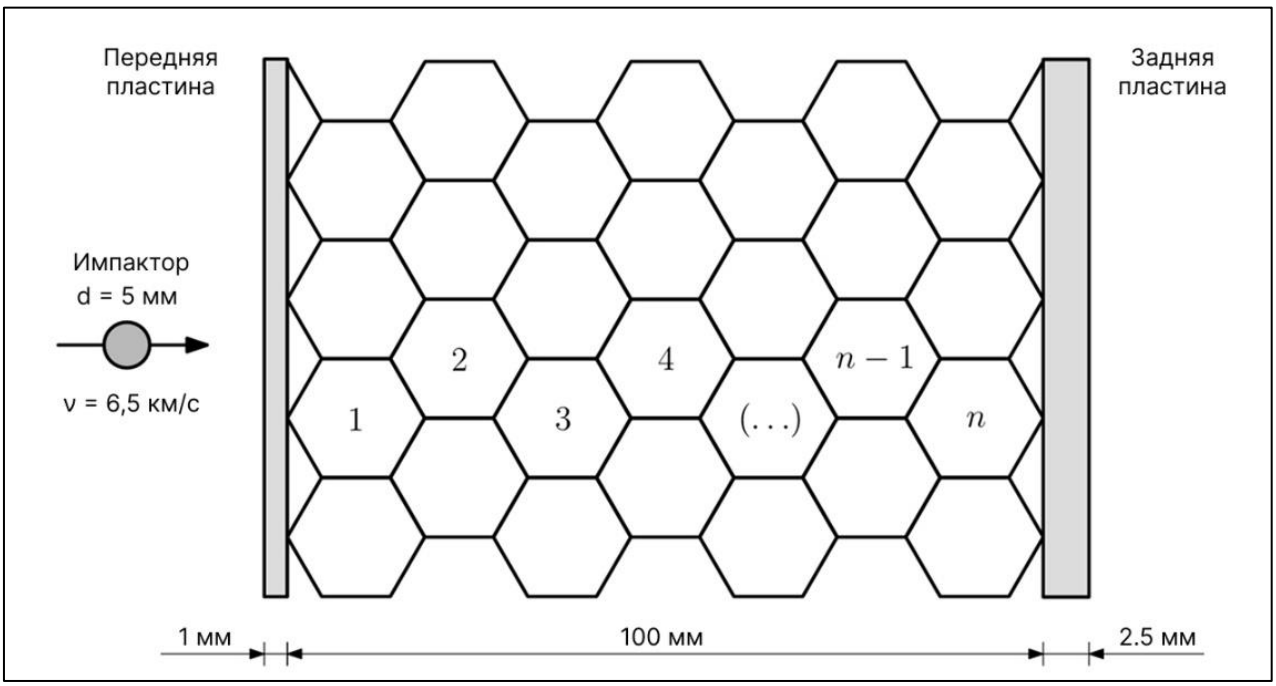


Рис. 4. Устройство сотовой структуры
Fig. 4. The device of the cellular structure

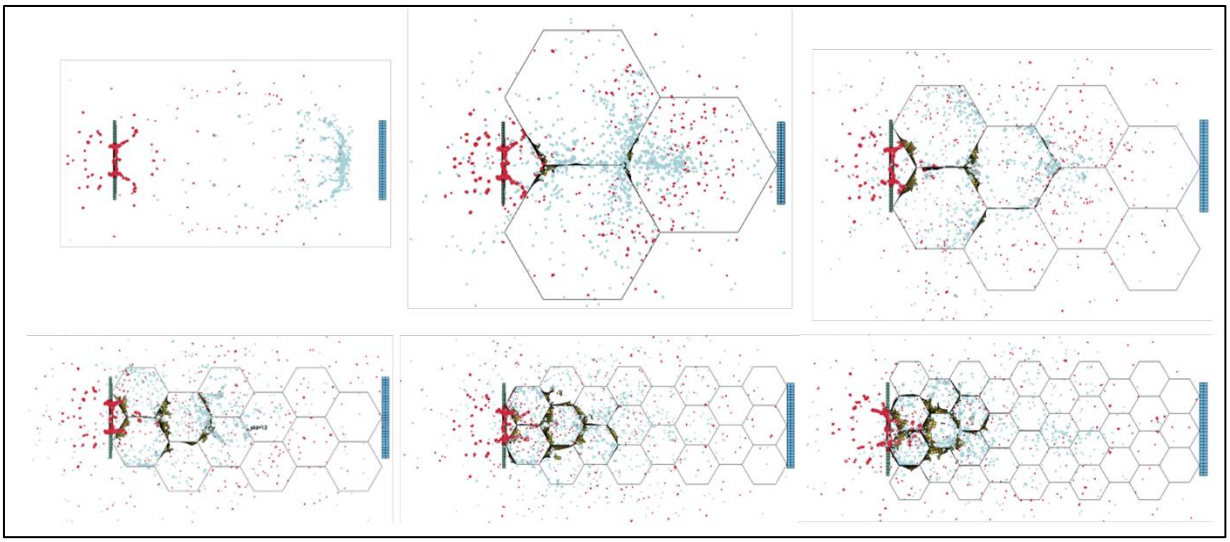


Рис. 5. Анализ давления на сотовую структуру в зависимости от количества ячеек в первые 16 мкс
Fig. 5. Analysis of the pressure on the cellular structure depending on the number of cells in the first 16 microseconds

Для анализа будут рассмотрены уравнения Шефера-Райана-Ламберта, позволяющие оценить экранирующие способности конкретной конфигурации в различных условиях воздействия. Они представлены баллистической предельной кривой, описывающей лимиты повреждения конструкции в зависимости от диаметра и скорости удара сна33ряда.

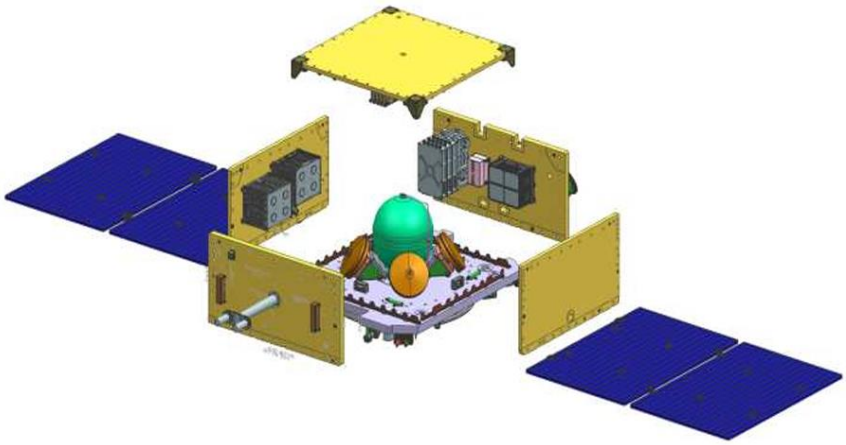


Рис. 6. Однослойная сотовая сэндвич-панель с алюминиевой сердцевиной
Fig. 6. Single-layer honeycomb sandwich panel with aluminum core

Так будет выглядеть БПУ для высокоскоростных ударов для случая выше:

$$d_c = \frac{1.155\, S^{\frac{1}{3}} t_w^{\frac{2}{3}} \left(\frac{\sigma}{70}\right)^{\frac{1}{3}}}{K_{3D}^{\frac{2}{3}}\, \rho_P^{\frac{1}{3}}\, \rho_b^{\frac{1}{9}} V^{\frac{2}{3}} (\cos\theta)^{\frac{2}{3}}}$$

Далее представлена трехслойная сэндвич-панель с алюминиевой сердцевиной, еще ниже - БПУ для описанной конструкции:

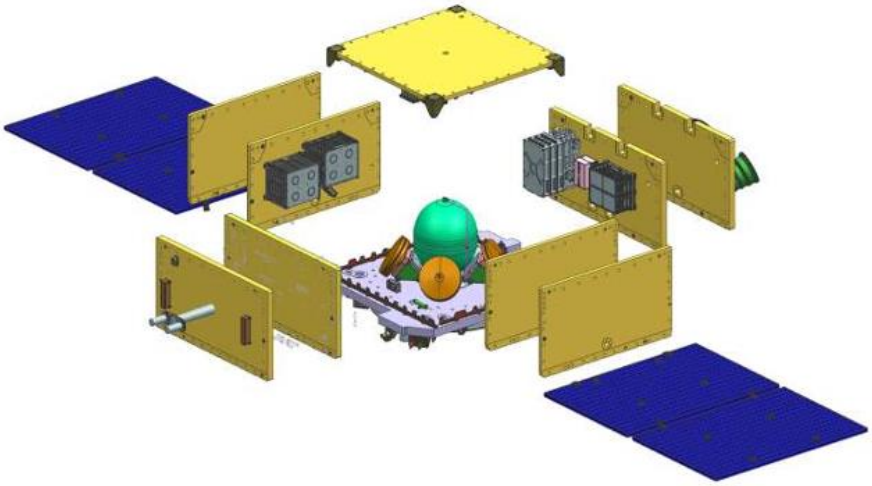


Рис. 7. Трехслойная сэндвич-панель с алюминиевой сердцевиной
Fig. 7. Three-layer sandwich panel with aluminum core

$$d_c = \frac{1.155\left(S^{\frac{1}{3}}(t_b + K_{tw}t_w)^{\frac{2}{3}} + \left(K_{s2}\, S_2^{\beta}\, t_w^{\gamma}\,(cos\theta)^{-\varepsilon}\right)\right)\left(\frac{\sigma}{70}\right)^{\frac{1}{3}}}{K_{3D}^{\frac{2}{3}}\,\rho_P^{\frac{1}{3}}\,\rho_{ob}^{\frac{1}{9}}V^{\frac{2}{3}}(cos\theta)^{\frac{2}{3}}} \quad (1)$$

Гибридный противоударный экран из керамики и алюминия с двумя алюминиевыми пластинами и одним керамическим бампером:

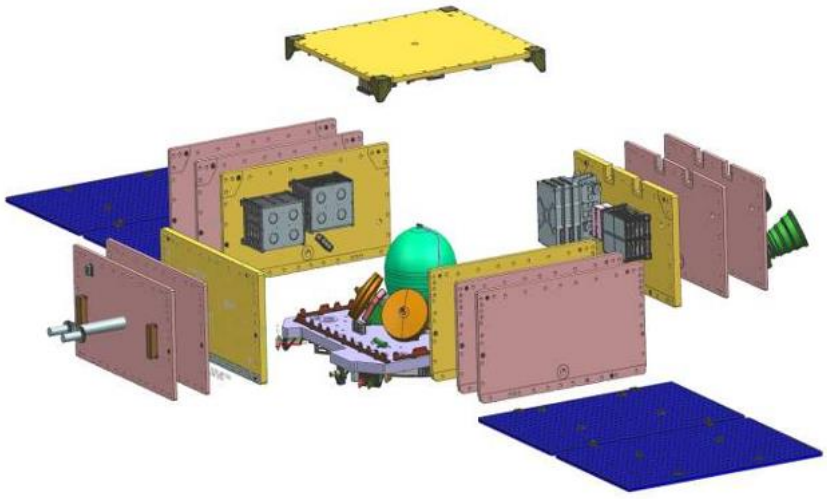


Рис. 7. Гибридный противоударный экран из керамики и алюминия
Fig. 8. Hybrid ceramic and aluminum shock shield

$$d_c = \frac{2.4\, S^{\frac{1}{3}}(t_w\,\rho_w)^{\frac{2}{3}}\left(\frac{\sigma}{40}\right)^{\frac{1}{3}}}{\rho_P^{\frac{1}{3}}\,\rho_A^{\frac{1}{9}}V^{\frac{2}{3}}(cos\theta)^{\frac{2}{3}}}, \quad (2)$$

использующиеся параметры: d_c - критический диаметр (см); S - расстояние между пластинами (см); t_w - толщина задней пластины (см); t_b - толщина передней пластины (бампера) (см); V - скорость снаряда ($\frac{км}{с}$); θ - угол удара; σ - предел текучести задней пластины

(ksi); K - коэффициент; ρ_p - плотность снаряда ($\frac{г}{см^3}$); ρ_b - плотность передней пластины ($\frac{г}{см^3}$); ρ_{ob} - плотность внешней пластины ($\frac{г}{см^3}$); ρ_w - плотность задней пластины ($\frac{г}{см^3}$); ρ_A - плотность алюминия ($\frac{г}{см^3}$)

Диаграмма содержит типичные баллистические кривые для приведенных выше случаев. Она отображает критический диаметр алюминиевого снаряда на пороге разрушения защитного экрана. Угол падения принят равным 30^o.

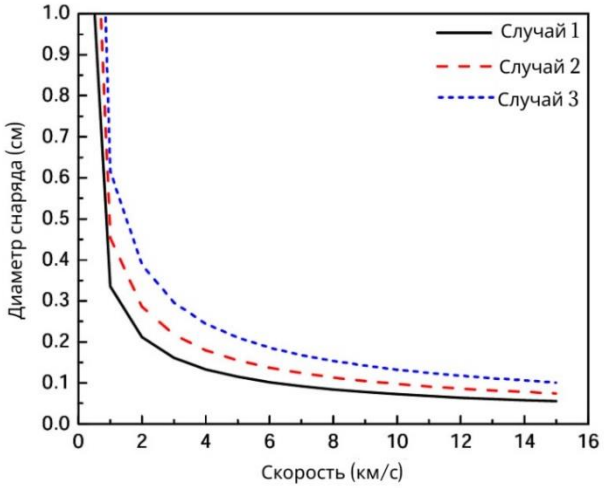


Рис. 9. Диаграмма с баллистическими предельными кривыми
Fig. 9. Diagram with ballistic limit curves

В таблице приведена расчетная масса космического аппарата для рассмотренных случаев, предполагая, что средняя **скорость удара составляет 10 м/с**.

Таблица 2. расчетная масса космического аппарата для рассмотренных случаев

Вариации	**Критический диаметр снаряда, см**	**Структурная оценка массы, кг**
Однослойная сотовая сэндвич-панель с алюминиевой сердцевиной	0.07	10.3935
Трехслойная сэндвич-панель с алюминиевой сердцевиной	0.09	18.08625
Гибридный противоударный экран из керамики и алюминия	0.13	47.8335

Характеристики материалов				
Элемент	**Материал**	**Толщина,** см	**Размеры,** см	**Плотность,** $\frac{г}{см^3}$
Лицевая пластина	Алюминий 2024 Т3	0.025	100 × 65	2.77
Сотовая структура	Алюминий для сотовой структуры	4	100 × 65	2.77
Керамический бампер	Керамика	2	100 × 65	0.24

Проведенный выше анализ показывает, что космические аппараты могут противостоять столкновениям с мелкими обломками космического мусора, используя различные методы экранирования. Экранирование обеспечивает эффективную защиту от высокоскоростных ударов небольших частиц, однако обломки размером от 1 до 10 см, как правило, слишком велики для защиты и могут привести к критическим повреждениям. Недостатками современных методов защиты является увеличение объема, массы и стоимости аппарата. Над всеми перечисленными выше проблемами в настоящий момент работают ученые и исследователи разных стран, стараясь максимально внедрить легкие и высокопрочные материалы.

Заключение

Для сведения к минимуму угрозы повреждений от космического мусора были изучены различные современные методы и технологии. Больший риск космических полетов связан с мелкими обломками, что невозможно отследить. Численный анализ различных конфигураций экранирования показывает, что подобный тип защиты космического аппарата значительно снижает воздействие небольших обломков. Экранирование, бесспорно, было и остается важным компонентом общей стратегии, но также стоит уделять должное внимание различным методам борьбы с образованием космического мусора.

Список источников

1. *Асланов В. С., Лемешко Н. В.* Защита космических аппаратов от космического мусора. - М.: Физматлит, 2018. - 256 с.
2. *Горшков А. Б., Иванов Н. М.* Современные методы защиты космических аппаратов от высокоскоростных частиц // Космические исследования. - 2020. - Т. 58, №4. - С. 312 - 325.
3. Космический мусор: угрозы и методы защиты / *под ред. С. П. Кузнецова*. - СПб.: Политехника, 2019 – 180 с.
4. NASA Orbital Debris Program Office [Электронный ресурс] // Orbital Debris Quarterly News. - 2022. - Vol. 26, No. 3. - P. 1 – 8. - URL: https://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/quarterly-news/ (Дата обращения: 23.04.2025).
5. *Симонов А. Н., Яковлев М. В.* Математическое моделирование столкновений космических аппаратов с микрометеороидами // Полет. - 2020. - №5 - С. 34 – 48.
6. Технологии экранирования космических аппаратов / *А. К. Орлов, В. Д. Семенов, П. Р. Шарапов* - Воронеж: ВГТУ, 2018. – 167 с.
7. Защита космических аппаратов от высокоскоростных частиц / *В. П. Кузнецов, Д. И. Медведев, Е. А. Федоров* - М.: Изд-во МАИ, 2020. - 198 с.
8. NASA Orbital Debris Program Office [Электронный ресурс] // ARES | Orbital Debris Program Office. - NASA, 2024. - URL: https://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/ (Дата обращения: 27.04.2025).

METHODS AND TECHNOLOGIES FOR PROTECTING SPACECRAFT FROM THE EFFECTS OF SPACE DEBRIS

U. O. Shlandakova [1], E. A. Salnikov [2]
[1 – 2] MIREA – Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] Ulyanashlandakova@mail.ru, [2] salnikove05@gmail.com

Abstract

Problem statement. Satellites have become an integral part of humanity and cover many applications, including space science, stellar object observations, communications, meteorology and navigation. Unfortunately, a lot of different kinds of research has led to new dangerous problem in the form of orbital space debris, which is considered any object that does not perform useful functions at the moment.

Goal. To study and describe modern methods and technologies of active and passive protection of spacecraft from orbital debris.

Results. The methods and technologies of spacecraft protection from space debris have been studied and compared. The study is based on calculation formulas.

Practical significance. The results obtained make it possible to evaluate the effectiveness of various variations of shielding in protecting spacecraft.

Keywords

Space debris, micrometeorites, shielding, honeycomb structure, collision avoidance.

УДК 539.3

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОДХОДОВ ОБРАТНОЙ РАЗРАБОТКИ (РЕВЕРС-ИНЖИНИРИНГА) К РЕШЕНИЮ ПРОСТЕЙШИХ ЗАДАЧ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Н.В. Шарков[1], **Е.А. Коровайцева**[2]
[1–2] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (Москва, Россия)
[1] nikita.sharcow@yandex.ru, [2] katrell@mail.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Решение задач обратной разработки в космическом машиностроении является альтернативным вариантом создания образцов ракетно-космической техники, позволяющим в том числе совершенствовать уже имеющиеся конструкторские решения. Простейшие аналитические расчеты в таких случаях дают возможность быстро исследовать влияние изменения различных параметров проектируемой конструкции на ее прочностные характеристики и выбирать допустимые с точки зрения сохранения несущей способности конструкции значения этих параметров.

Цель. Построить балочную модель корпуса ракеты-носителя «Союз 2.1а» для начальной стадии подъема из горизонтального в вертикальное положение при установке ракеты-носителя на пусковом устройстве, изучить напряженное состояние и провести расчеты на прочность корпуса ракеты в зависимости от расположения нижней опоры стрелы установщика для моделей различных степеней точности с помощью подходов реверс-инжиниринга, проанализировать полученные результаты.

Результаты. Разработана расчетная схема, параметры которой максимально соответствуют реальным условиям нагружения и закрепления корпуса ракеты-носителя в рассматриваемом случае наземной эксплуатации, получены значения и построены эпюры внутренних силовых факторов, численно найдены максимальные значения напряжений.

Практическая значимость. Полученные результаты показывают, что для расчетов на прочность корпуса ракеты-носителя в случае подъема ее из горизонтального в вертикальное положение перед стартом для инженерной практики будет достаточно использования схемы нагружения с приложенными к корпусу распределенными массовыми силами с постоянным коэффициентом перегрузки. Установлен допустимый с точки зрения обеспечения прочности корпуса диапазон изменения расположения одной из опор стрелы установщика ракеты на пусковом устройстве.

Ключевые слова

Расчет на прочность, расчетная схема, реверс-инжиниринг, ракета-носитель, балочная модель.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Изучение принципов работы того или иного технического устройства проще всего осуществлять при наличии соответствующей технической документации. Однако по различным причинам такая документация может отсутствовать или содержать недостаточно данных. В таких случаях необходимо составление качественной расчетной схемы исследуемой конструкции, основанное на имеющихся ее изображениях и общих характеристиках (габаритные размеры, масса, условия закрепления, условия эксплуатации). Уточнение тех или иных параметров конструкции становится возможным при применении аналитических методов расчета на прочность, жесткость и устойчивость. В отличие от широко распространенного использования конечно-элементных программных комплексов, аналитические методы позволяют быстро проанализировать большое количество расчетных схем и выбрать наиболее рациональные их параметры, исходя из требований к эксплуатации будущей конструкции.

Отработку принципов обратной разработки технических устройств проще всего проводить на примере уже эксплуатируемых конструкций, для которых возможна схематизация математическими моделями, описываемыми простейшими алгебраическими и/или дифференциальными уравнениями. В частности, таковой является модель балки,

применимая в рамках космического машиностроения для построения расчетной схемы корпуса ракеты-носителя.

Целью настоящей работы является построение балочной модели ракеты-носителя «Союз-2.1а» для одного из случаев наземной эксплуатации, позволяющей подобрать место расположения одной из опор корпуса ракеты на основании обеспечения выполнения условия его прочности.

Рассмотрение случая нагружения

В данной работе построение расчетной схемы и анализ нагруженного состояния проводится для корпуса ракеты-носителя «Союз 2.1а» – российской трехступенчатой ракеты-носителя среднего класса, предназначенной для запусков различных космических аппаратов, в том числе кораблей и спутников [1].

Корпус ракеты-носителя «Союз 2.1а» состоит из трех ступеней: первая ступень – блоки Б, В, Г, Д, которые крепятся ко второй ступени – блоку А, и третья ступень – блок И. К блоку третьей ступени пристыковывается космическая головная часть. Корпус блоков первой ступени представляет собой полый конус с радиусом $R_1 = 1{,}34$ м и длиной $L_1 = 19{,}6$ м. Корпус центрального блока второй ступени представляет собой полую трубу переменного радиуса, а корпус блока третьей ступени – полую трубу постоянного радиуса $R_3 = 1{,}33$ м и длины $L_3 = 6{,}70$ м. Величина большего радиуса блока А составляет $R_2 = 1{,}475$ м, длина – $L_2 = 27{,}1$ м. Сухая масса блоков первой ступени составляет $M_1 = 3784$ кг, блока второй ступени – $M_2 = 6545$ кг, блока третьей ступени – $M_3 = 2355$ кг. Тогда погонная сухая масса блоков будет $m_1 = \frac{M_1}{L_1} = 193\ \frac{\text{кг}}{м}$, $m_2 = \frac{M_2}{L_2} = 242\ \frac{\text{кг}}{м}$, $m_3 = \frac{M_3}{L_3} = 352\ \frac{\text{кг}}{м}$ соответственно. Толщину стенки корпусов примем $\delta = 5$ *мм*.

Корпус ракеты-носителя изготовлен из алюминиевого сплава АМг6М, который имеет следующие механические свойства при комнатной температуре: модуль упругости $E = 70$ ГПа, временное сопротивление $\sigma_в = 340$ МПа [2].

В качестве расчетного случая рассматривается поворот ракеты-носителя из горизонтального положения в вертикальное при установке ее на пусковом устройстве (рис. 1). В процессе подъема на ракету-носитель действуют массовые силы – силы тяжести и инерционные силы, обусловленные неравномерностью вращения стрелы установщика, а также аэродинамические силы, обусловленные действием приземного ветра. Коэффициенты перегрузки n_x и n_y, от которых зависят массовые силы, действующие на корпус ракеты-носителя, зависят от угла поворота φ следующим образом:

$$n_x(\varphi) = \sin\varphi,$$
$$n_y(\varphi, x) = \cos\varphi + \frac{\ddot{\varphi}}{g}[(L + a) - x], \quad (1)$$

где L – длина корпуса ракеты-носителя, $a = 1$ м – расстояние от края стрелы установщика до нижней части ракеты-носителя, g – ускорение свободного падения [3].

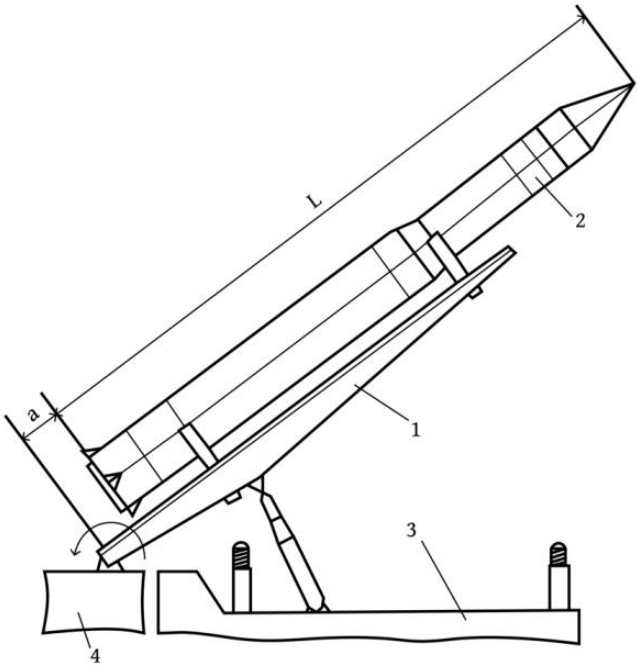


Рис. 1. Схема поворота ракеты-носителя из горизонтального положения в вертикальное при установке ее на пусковом устройстве: 1 — стрела установщика, 2 — ракета-носитель, 3 — платформа установщика, 4 — пусковое устройство

Fig. 1. The scheme of the rocket rotation from horizontal to vertical position during launch vehicle installation on the launch pad: 1 – erector arm, 2 – launch vehicle, 3 – erector platform, 4 – launch pad

Данная зависимость записана в системе координат, начало которой совпадает с вершиной корпуса, а ось x направлена вдоль оси симметрии к хвостовой части ракеты-носителя. Далее будет использоваться система координат, начало которой совпадает с хвостовой частью, а ось x направлена также вдоль оси симметрии, но к вершине ракеты-носителя. В этом случае (1) примет следующий вид:

$$n_x(\varphi) = \sin\varphi,$$
$$n_y(\varphi, x) = \cos\varphi + \frac{\ddot{\varphi}}{g}(x + a). \quad (2)$$

Максимальное нагружение корпуса ракеты-носителя поперечными массовыми силами соответствует начальной стадии подъема стрелы установщика из горизонтального в вертикальное положение ($\varphi = 0$) при максимальном значении начального углового ускорения в момент подъема $\ddot{\varphi}_{max}$. Тогда (2) преобразуется в

$$n_y(x) = 1 + \frac{\ddot{\varphi}_{max}}{g} \quad (3)$$

Ориентировочно можно считать, что предельная величина углового вращательного ускорения не должна превышать значений $\ddot{\varphi}\ \text{с}^{-2}{}_{max}$ [3]. При моделировании нагружения в данной работе в последующем будет использовать максимальное значение $\ddot{\varphi}\ \text{с}^{-2}{}_{max}$. Тогда (3) можно переписать в виде

$$n_y(x) = 1 + k(x + a), \quad (4)$$

где $k = \frac{\ddot{\varphi}}{g} = \frac{0{,}3\ \text{с}^{-2}}{9{,}81\ \text{м/с}^2} \approx 0{,}0306\ \text{м}^{-1}$ – коэффициент пропорциональности.

Схематизация конструкции ракеты-носителя

Поскольку в качестве расчетного случая рассматривается подъем корпуса ракеты-носителя «Союз-2.1а» из горизонтального положения в вертикальное при установке ее на пусковом устройство, то корпус схематизируется двухопорной балкой постоянного сечения в

виде тонкостенного кольца с радиусом $R = 1{,}475$ м и толщиной $\delta = 5$ мм, нагруженной поперечной переменной по длине погонной массовой силой $q_y^{(m)}(x)$, а также сосредоточенными в некоторых поперечных сечениях массовыми силами и сосредоточенными силами-реакциями $R_i, i = I, II$. Согласно нормам прочности, принятым для проектирования ракетно-космической техники [4], необходимо задать внешнюю массовую нагрузку как

$$q_y^{(m)}(x) = n_y(x) n_Б m(x) g, \tag{5}$$

где $n_y(x)$ – коэффициент перегрузки, определяемый в первой модели константой, а во второй модели формулой (4), $n_Б = 1{,}5$ – коэффициент безопасности, $m(x)$ – распределенная масса корпуса ракеты-носителя «Союз 2.1а», определяемая как

$$m(x) = \begin{cases} m_2, \text{ если } 0 \le x \le 27{,}1a, \\ m_3, \text{ если } 27{,}1a \le x \le 33{,}8a. \end{cases}$$

Для максимального приближения модели к реальным данным расположения координаты креплений опор определялись с помощью фото- и видеоматериалов [5-7]. Заменим действие массовой силы четырех блоков первой ступени сосредоточенными силами в местах крепления этих блоков к центральному корпусу блока А. При изучении фото- и видеоматериалов было определено, что боковые блоки крепятся к центральному в 4-х местах, но, для упрощения модели и во избежание необходимости решения статистически неопределимой системы, будем считать, что корпуса блоков Б, В, Г, Д соединены с корпусом второй ступени двумя креплениями: подвижным шарниром с координатой $3{,}6a$ и неподвижным шарниром в вершине конуса бокового блока с координатой $19{,}6a$.

Определим величины этих сосредоточенных сил. Рассмотрим сечения ракеты-носителя в местах крепления. Для первого крепления (рис. 2) в силу симметрии проекции сил $\boldsymbol{R}_1, \boldsymbol{R}_2, \boldsymbol{T}_{j1}, \boldsymbol{T}_{j2}, j = 1{,}2{,}3{,}4$ на ось z взаимно уничтожаются и остаются только проекции сил на ось y, которые по закону равенства сил действия и противодействия равны соответствующим компонентам сил реакции опоры для боковых блоков, равнодействующую которых обозначим как $\boldsymbol{S}_1^*$. Заметим, что при параллельном переносе сил в центр сечения, аналогичным образом, из-за симметрии системы, возникающие моменты сил сокращаются, так что можно рассматривать действие равнодействующей массовых сил четырех боковых блоков $\boldsymbol{S}_{1_y} = -\boldsymbol{S}_{1_y}^*$ в центре сечения центрального блока. Аналогично первому креплению, у второго крепления в виде неподвижного шарнира (рис. 3) также остаются только проекции сил на ось y, равнодействующая которых $\boldsymbol{S}_{2_y}$ равна по модулю и противоположна по направлению равнодействующей сил реакции опоры для боковых блоков $\boldsymbol{S}_{2_y}^*$, и проекция на ось x: $\boldsymbol{S}_{2_x} = -\boldsymbol{S}_{2_x}^*$. Таким образом, задача свелась к нахождению сил реакций опор для боковых блоков.

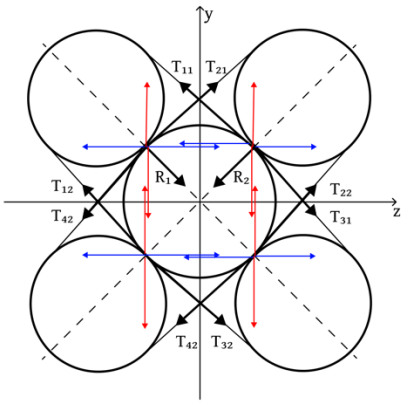


Рис. 2. Нижнее крепление боковых блоков к центральному
Fig. 2. Lower attachment of strap-on boosters to the core stage

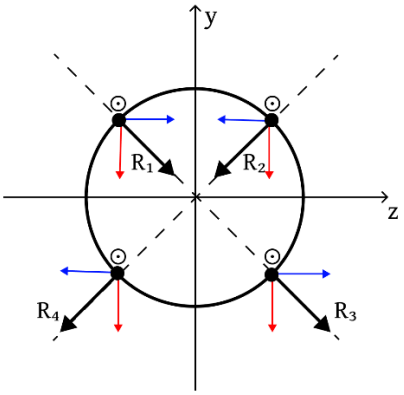


Рис. 3. Верхнее крепление боковых блоков к центральному
Fig. 3. Upper attachment of strap-on boosters to the core stage

Корпуса блоков первой ступени ракеты-носителя при подъеме также нагружены внешней массовой нагрузкой $q_y^{(4m_1)}(x)$, определяемой формулой (5). Для упрощения расчетов будем считать коэффициент нагрузки постоянным $n_y^* = 1{,}5$:

$$q_y^{(4m_1)}(x) = 4n_y^* n_Б m_1 g = const.$$

Для данной расчетной схемы (рис. 4) определяемые из уравнений равновесия силы реакции опор составляют

$$\begin{aligned} S_{1y}^* &= \frac{19{,}6 q_y^{(4m_1)} a \cdot 9{,}8a}{(19{,}6 - 3{,}6)a} = 12{,}005 q_y^{(4m_1)} a, \\ S_{2x}^* &= 0, \\ S_{2y}^* &= \frac{19{,}6 q_y^{(4m_1)} a \cdot (9{,}8 - 3{,}6)a}{(19{,}6 - 3{,}6)a} = 7{,}595 q_y^{(4m_1)} a. \end{aligned} \qquad (6)$$

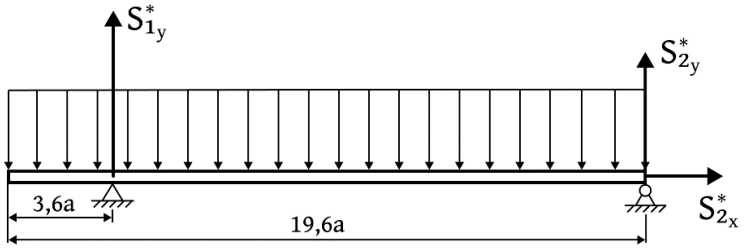


Рис. 4. Расчетная схема для боковых блоков
Fig. 4. Calculation diagram for strap-on boosters

Для дальнейших расчетов введем величину $q = 2000$ Н/м и будем выражать величины сил через $qa = 2000$ Н. Тогда силы (6) преобразуются в следующий вид:

$$\begin{aligned} S_{1y}^* &= 102qa, \\ S_{2x}^* &= 0, \\ S_{2y}^* &= 64{,}7qa. \end{aligned}$$

Таким образом, в сечениях с координатами $3{,}6a$ и $19{,}6a$ на балку действуют сосредоточенные силы величиной $102qa$ и $64{,}7qa$ соответственно.

Координаты расположения опор, аналогично определенные с помощью фото- и видеоматериалов, составляют $19{,}6a$ для подвижного шарнира и $33{,}1a$ для неподвижного

шарнира. Далее в работе будет изучаться напряженное состояние корпуса ракеты-носителя «Союз 2.1а» в зависимости от расположения первой опоры с координатой αa и выбор оптимального расстояния между опорами.

Модель равномерно распределенной нагрузки

Сначала рассмотрим модель равномерно распределенной нагрузки: согласно (4) коэффициент перегрузки n_y изменяется от $n_y(x=0)=1+ka\approx 1{,}03$ до $n_y(x=33{,}8)=$ $=1+k(33{,}8+1)a\approx 2{,}07$. Следовательно, примем $n_y(x)=n_y^*=\frac{1{,}03+2{,}07}{2}=1{,}55=const$.

Выразим величины поперечной нагрузки (5) через величину$q=2000$ Н/м. На участке при $x<27{,}1a$:

$$q_y^{(m_2)}=q_2^{(1)}=2{,}76q.$$

На участке $27{,}1a\le x\le 33{,}8a$:

$$q_y^{(m_3)}=q_3^{(1)}=4q.$$

Расчетная схема для данной модели и случая расположения первой опоры до нижнего крепления боковых блоков представлена на рис. 5. Римскими цифрами обозначены участки расчетной схемы. Здесь β – коэффициент полезной нагрузки:

$$\beta(M)=\frac{n_y(33{,}8)n_Б Mg}{qa}=2{,}07\frac{n_Б Mg}{qa},$$

где M – масса космической головной части в килограммах. Далее все расчеты будут приведены для коэффициента $\beta=\beta(7000)=106{,}6$.

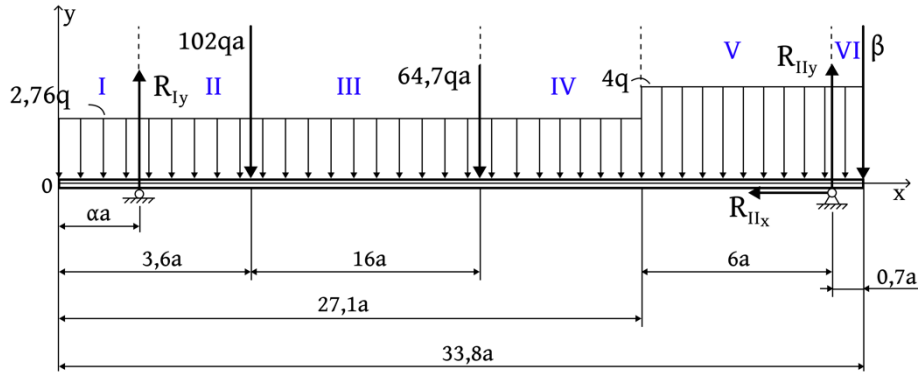


Рис. 5. Расчетная схема для равномерно распределенной нагрузки
Fig. 5. Calculation diagram for uniformly distributed load

Из условий равновесия получаем следующие величины силы реакции нижней и верхней опоры соответственно:

$$\begin{aligned} R_I^{(1)} &= \frac{5416-0{,}7\beta}{33{,}1-\alpha}qa=R_1^{(1)}(\alpha,\beta)qa,\\ R_{II}^{(1)} &= \frac{3465+33{,}8\beta-(268+\beta)\alpha}{33{,}1-\alpha}qa=R_2^{(1)}(\alpha,\beta)qa. \end{aligned} \qquad (7)$$

Заметим, что при других расположениях первой опоры величины сил не будут меняться, поскольку при изменении положения опоры проекции моментов сил, координаты точки приложения которых станут меньше координаты α, поменяют свой знак дважды, так как изменится вращение, следовательно, знак у момента, и знак у плеча силы сменится на противоположный. Таким образом, формулы (7) определяют величину сил реакции опор при $\alpha\in 0;\ 33{,}1a)$.

Определим величины поперечной силы и изгибающего момента с помощью метода сечений для случая, когда первая опора расположена до точки приложения первой сосредоточенной силы. Для участка I имеем

$$Q_y^I = -\int_0^x q_2^{(1)}(\xi)d\xi = -2{,}76xqa,$$
$$M_z^I = -\int_0^x q_2^{(1)}(\xi)(x-\xi)d\xi = -1{,}38x^2qa^2.$$

На участке II появляется сосредоточенная сила, которая создаст разрыв в точке ее приложения поперечной силы и излом изгибающего момента:

$$Q_y^{II} = -\int_0^x q_2^{(1)}(\xi)d\xi + R_{I_y} = \left[-2{,}76x + R_1^{(1)}\right]qa,$$
$$M_z^{II} = -\int_0^x q_2^{(1)}(\xi)(x-\xi)d\xi + R_{I_y}(x-\alpha) = \left[-1{,}38x^2 + R_1^{(1)}(x-\alpha)\right]qa^2.$$

Аналогично для участка III:

$$Q_y^{III} = -\int_0^x q_2^{(1)}(\xi)d\xi + R_{I_y} + 102qa = \left[-2{,}76x + R_1^{(1)} - 102\right]qa,$$
$$M_z^{III} = -\int_0^x q_2^{(1)}(\xi)(x-\xi)d\xi + R_{I_y}(x-\alpha) - 102qa(x-3{,}6)a =$$
$$= \left[-1{,}38x^2 + (R_1^{(1)} - 102)x + 367 - R_1^{(1)}\alpha\right]qa^2.$$

Внутренние силовые факторы на участке IV:

$$Q_y^{IV} = -\int_0^x q_2^{(1)}(\xi)d\xi + R_{I_y} + 167qa = \left[-2{,}76x + R_1^{(1)} - 167\right]qa,$$
$$M_z^{IV} = -\int_0^x q_2^{(1)}(\xi)(x-\xi)d\xi + R_{I_y}(x-\alpha) - 167xqa^2 - 1635qa^2 =$$
$$= \left[-1{,}38x^2 + (R_1^{(1)} - 167)x + 1635 - R_1^{(1)}\alpha\right]qa^2.$$

Для участков V и VI удобнее применить метод сечений для правой отсеченной части. Так, для участка VI получаем

$$Q_y^{VI} = \int_0^x q_3^{(1)}(\xi)d\xi + \beta qa = [4x + \beta]qa,$$
$$M_z^{VI} = -\int_0^x q_3^{(1)}(\xi)(x-\xi)d\xi - \beta xqa^2 = [-2x^2 - \beta x]qa^2. \quad (8)$$

Для удобства, в частности численного построения эпюр, перепишем (8) в системе координат, аналогичной участкам I-IV. Для этого мы должны сделать замену $x \to 33{,}8 - x$:

$$Q_y^{VI} = [4(33{,}8 - x) + \beta]qa,$$
$$M_z^{VI} = [-2(33{,}8 - x)^2 - \beta(33{,}8 - x)]qa^2.$$

Наконец, найдем внутренние силовые факторы для участка V:

$$Q_y^V = \int_0^x q_3^{(1)}(\xi)d\xi + \beta qa - R_{II_y} = \left[4x + \beta - R_2^{(1)}\right]qa,$$
$$M_z^V = -\int_0^x q_3^{(1)}(\xi)(x-\xi)d\xi - \beta xqa^2 + R_{II_y}(x-0{,}7) =$$
$$= \left[-2x^2 + \left(R_2^{(1)} - \beta\right)x - 0{,}7R_2^{(1)}\right]qa^2.$$

Также сделаем замену $x \to 33{,}8 - x$:

$$Q_y^{VI} = \left[4(33{,}8 - x) + \beta - R_2^{(1)}\right]qa,$$
$$M_z^{VI} = \left[-2(33{,}8 - x)^2 + \left(R_2^{(1)} - \beta\right)(33{,}8 - x) - 0{,}7R_2^{(1)}\right]qa^2.$$

Аналогично находится зависимость внутренних силовых факторов от координаты x и для остальных случаев расположения первой опоры.

Модель линейно распределенной нагрузки

Теперь рассмотрим модель с коэффициентом перегрузки, определяемым по формуле (4). Выразим величины поперечной нагрузки (5) через величину $q = 2000$ Н/м. На участке при$x < 27{,}1a$:

$$q_y^{(m_2)} = q_2^{(2)} = 1{,}78(1 + k[x + a])q.$$

На участке $27{,}1a \le x \le 33{,}8a$:

$$q_y^{(m_3)} = q_3^{(2)} = 2{,}6(1 + k[x + a])q.$$

Расчетная схема для одного из вариантов расположения первой опоры представлена на рис. 6. Римскими цифрами обозначены участки расчетной схемы.

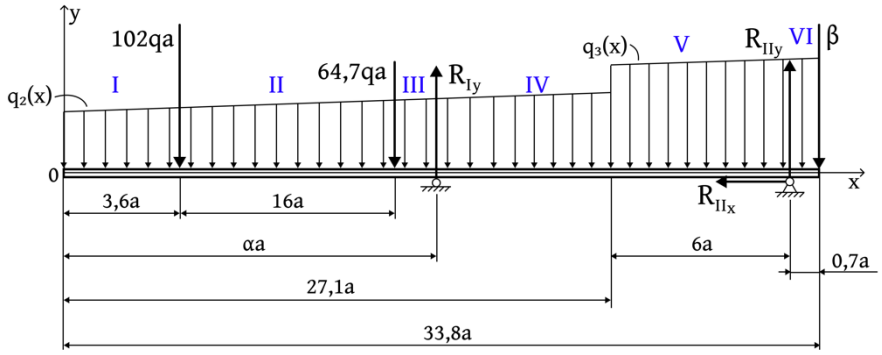


Рис. 6. Расчетная схема для линейно распределенной нагрузки
Fig. 6. Calculation diagram for linearly distributed load

Также, как и для первой модели, для нахождения величин сил реакции опор необходимо записать условия равновесия. Тогда величины сил реакции опор будут равны

$$R_I^{(2)} = \frac{5244 - 0{,}7\beta}{33{,}1 - \alpha}qa = R_1^{(2)}(\alpha, \beta)qa,$$
$$R_{II}^{(2)} = \frac{3679 + 33{,}8\beta - (236 + \beta)\alpha}{33{,}1 - \alpha}qa = R_2^{(2)}(\alpha, \beta)qa.$$

Аналогично модели равномерно распределенной нагрузки поперечная сила и изгибающий момент определяются методом сечений из условий равновесия.

Определение максимального напряжения

При поперечном изгибе возникают нормальные и касательные напряжения. Для нашей модели – трубчатого стержня с сечением в виде тонкостенного кольца – максимальные касательные напряжения определяются как [8, 9]

$$\tau \frac{Q_y}{\pi R \delta_{max}}.$$

Поскольку нормальные напряжения распределены по сечению линейно, то максимальное значение оно будет достигать в наиболее удаленных от центральной оси z сечения волокнах. Получаем, что максимальное нормальное напряжение будет равно

$$\sigma \frac{M_z}{\pi R^2 \delta_{max}}$$

Для нашего случая нагружения можно считать балку прочной, если выполняется условие прочности [10]:

$$\sigma \frac{|M_z|_{max}}{\pi R^2 \delta [\sigma]_{в max,max}}.$$

Численно построим график максимальных напряжений в зависимости от координаты расположения первой опоры стрелы установщика α (рис. 7). Максимальные нормальные напряжения имеют минимум, который достигается при значении координаты опоры примерно $7a$ для схемы равномерно распределенной нагрузки и при значении примерно $7{,}21a$ для схемы линейно распределенной нагрузки.

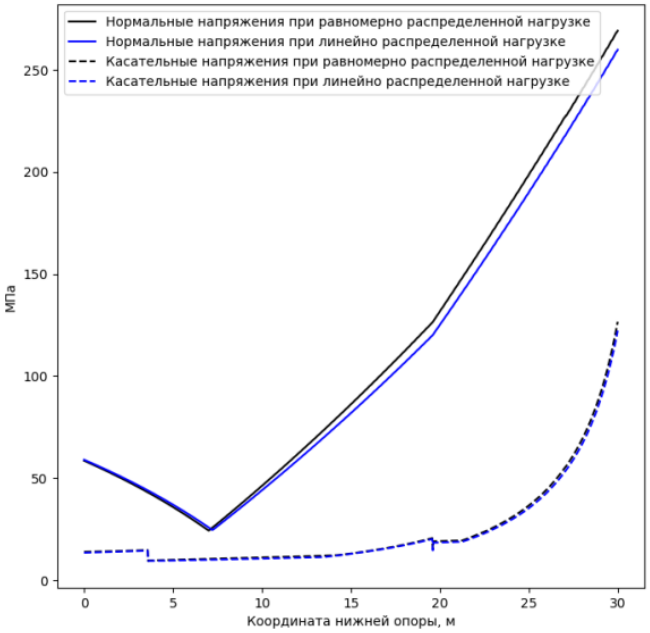


Рис. 7. График максимальных напряжений в зависимости от α
Fig. 7. Graph of maximum stresses versus α

Посчитаем коэффициент запаса прочности:

$$n = \frac{\sigma_в}{\sigma_{max}}$$

Коэффициент (рис. 8) при любом расположении нижней опоры больше единицы. Если принять $[n] = 1{,}5$, то коэффициент запаса прочности больше этого значения при расположении опоры до примерно 27,1 м для равномерно распределенной нагрузки и до примерно 27,7 м для линейно распределенной нагрузки. Таким образом, полученные расчеты подтверждают, что при истинном расположении нижней опоры, координата которой находится на расстоянии примерно 19,6 м от хвоста ракеты-носителя, корпус ракеты-носителя «Союз 2.1а» удовлетворяет условиям прочности в случае подъема из горизонтального положения в вертикальное.

Проанализируем, насколько отличаются максимальные значения величин внутренних силовых факторов между рассмотренными моделями нагружения (рис. 9). Максимальная разница относительно внутренних силовых факторов, посчитанных по схеме равномерно распределенной нагрузки, составляет чуть больше 6%. Таким образом, для инженерных расчетов линейно распределенную нагрузку можно приближенно заменить равномерно распределенной нагрузкой.

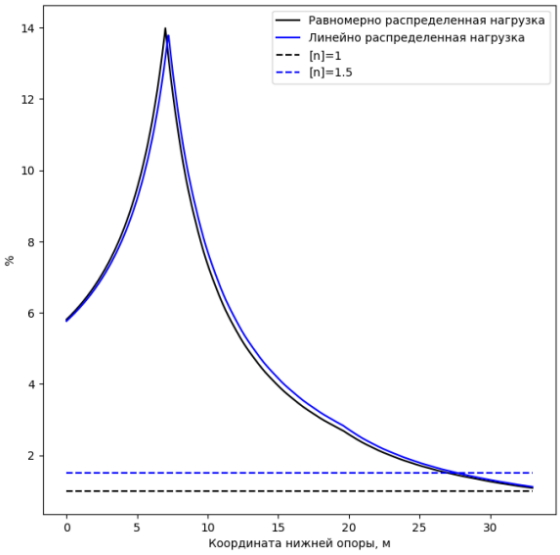


Рис. 8. График коэффициент запаса прочности в зависимости от α
Fig. 8. Factor of safety plot versus α

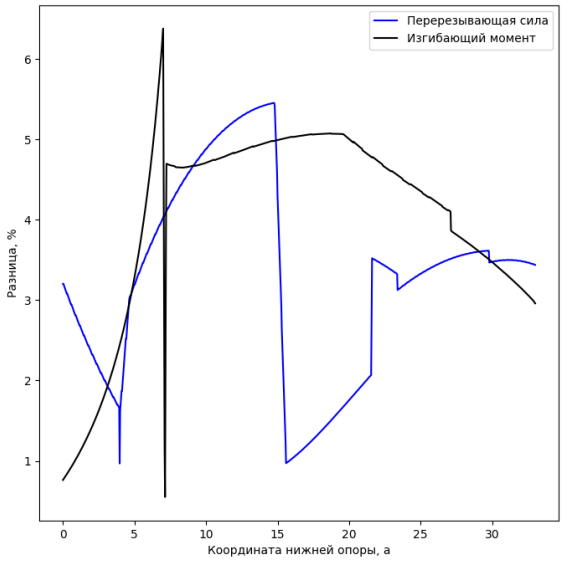


Рис. 9. Разница величин внутренних силовых факторов между моделями
Fig. 9. Difference in internal force factors between models

На рис. 10 представлены эпюры поперечной силы для модели равномерно распределенной нагрузки при оптимальном расположении ($\alpha = 7a$) и истинном расположении ($\alpha = 19{,}6a$) нижней опоры. Аналогичные эпюры изгибающего момента представлены на рис. 11.

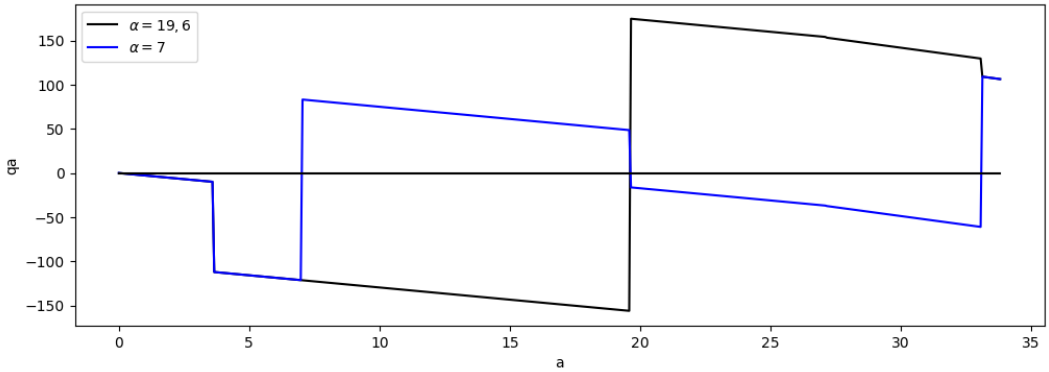


Рис. 10. Эпюры поперечной силы для модели равномерно распределенной нагрузки
Fig. 10. Shear force diagrams for uniformly distributed load model

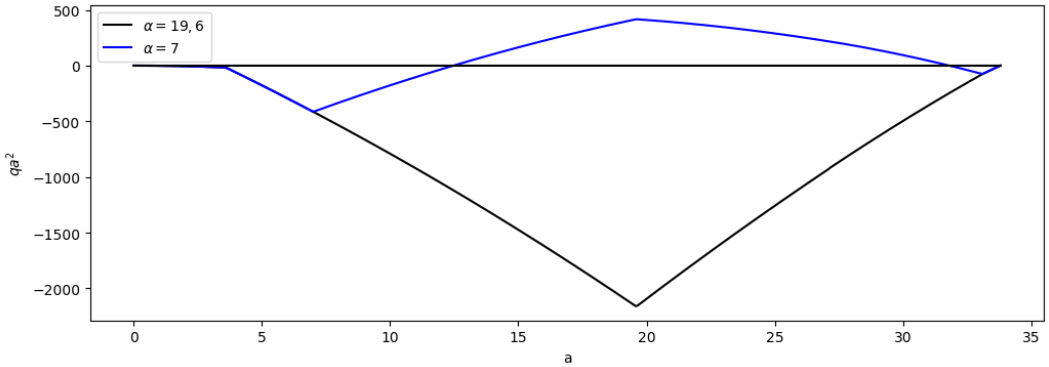


Рис. 11. Эпюры изгибающего момента для модели равномерно распределенной нагрузки
Fig. 11. Bending moment diagrams for uniformly distributed load model

Заключение

В работе продемонстрирован подход к проектированию ракетно-космической техники, основанный на использовании минимума доступной информации об уже эксплуатируемом образце техники. Преимуществом такого подхода является простота, независимость от наличия ЭВМ и программного обеспечения, сочетающиеся с эффективностью оценки как наиболее опасных с точки зрения потери несущей способности областей конструкции, так и допустимых величин тех или иных параметров конструкции.

Список источников

1. Союз-2.1а. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Союз-2.1а.
2. Промышленные деформируемые, спеченные и литейные алюминиевые сплавы. Справочное руководство / Под ред. *Ф.И. Квасов, И.Н. Фридляндер*. М.: Металлургия, 1972. – 552 с.
3. *Волчков О.Д.* Прочность ракет-носителей. Ч. 1. М.: Изд-во МАИ, 2007. – 781 с.
4. ГОСТ Р 56514-2015. Нормы прочности автоматических космических аппаратов.
5. Ракета-носитель «Союз-2.1а». – URL: https://www.roscosmos.ru/36315/.
6. Сборка "пакета" РН «Союз-2.1а». – URL: https://rutube.ru/video/9024b1ad62f98a5466cb23298610b56e/?t=0.
7. Установка на стартовую систему РКН «Союз-2.1а». – URL: https://rutube.ru/video/744872602f4490192ee84afecf5f77d5/?r=wd.
8. Прочность, устойчивость, колебания. Справочник в трех томах. Том 1 / Под ред. *И. А. Биргер, Я. Г. Пановко*. – М.: Машиностроение, 1968. – 831 с.
9. *Долинский Ф.В., Михайлов М.Н.* Краткий курс сопротивления материалов. – М.: Высшая школа, 1988. – 432 с.
10. *Горшков А.Г., Трошин В.Н., Шалашилин В.И.* Сопротивление материалов: Учеб. пос. 2-е изд., испр. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 544 с.

ON REVERSE ENGINEERING APPROACHES USING IN SOLUTION OF SIMPLEST PROBLEMS OF SPACE-ROCKET EQUIPMENT DESIGNING

N.V. Sharkov[1], **E.A. Korovaytseva**[2]
[1–2] Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)
[1] nikita.sharcow@yandex.ru, [2] katrell@mail.ru

Abstract

Reverse engineering problems solution is an alternative variant of developing space-rocket equipment in space machinery. Such an approach allows also improving existing engineering solutions. In such cases simple analytical calculations allow quickly investigating influence of varying different parameters of designed structure on its strength characteristics and choosing values of these parameters, allowable from the point of view of structural-load capacity keeping.

The best way of practicing technical devices reverse engineering approaches is using examples of already operating structures which can be schematized by mathematical models described by the simplest algebraic and/or differential equations. In particular, such is a beam model applied in space machinery for modeling launch vehicle airframe.

The main purpose of this work is development of beam model of the rocket «Soyuz-2.1a» for one of the cases of ground operation, which is initial stage of rising from horizontal to vertical position when installing the rocket on the launch pad. The model should allow studying stress state and carrying out rocket airframe strength calculations in dependence of location of the lower support of the erector beam for the models of different levels of accuracy with the help of reverse engineering approaches.

With the help of photo- and videomaterials, as well as knowledge of the main geometry and mass characteristics of the rocket, a design scheme with maximum correspondence to the real conditions of loading and fixing was developed. Two variants of rocket loading were considered – with constant and linear distribution along the rocket airframe. Components of stress state were obtained by means of strength of material methods, including method of sections. Maximum values of stress state parameters and stress factor were calculated in dependence of the location of the left support. It was shown that approximate model of loading assuming constant distribution of load along the rocket airframe is sufficient for calculations. It was found out that tangential stresses are lower than normal ones, but not significantly lower, as it is usually accepted by default when dealing with long beam models. A range of erector beam left support locations acceptable from the point of view of airframe strength assurance was specified.

Keywords

Strength analysis, design scheme, reverse engineering, launch vehicle, beam model.

УДК 621.396.6

СОЗДАНИЕ МАКЕТА ПРИЕМОПЕРЕДАЮЩЕГО КАНАЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ GNU RADIO и HACKRF ONE

Э.М. Акимов[1], **М.Ю. Конышев**[2]
[1–2] ФГУП «НТЦ «Орион» (Москва, Россия)
[1] Akimov.emil.muratovich@gmail.com, [2] misha-kon@mail.ru

Аннотация

Постановка проблемы. В современном мире вопрос создания макетов радиосистем остается актуальным, особенно с точки зрения возможности использования программных модулей. Существует большое количество программного обеспечения для работы с проводной или беспроводной передачей данных, но не все обладают достаточным встроенным функционалом, что бы с их помощью можно было создать приемник и передатчик с различными типами модуляции.

Цель. Оценить возможность и эффективность использования GNU Radio и HackRF One в качестве программируемого макета приемника и передатчика данных, использующих проводную или беспроводную среду передачи.

Результаты. Проведена оценка возможности создания макета приемопередающего канала связи, предложена реализация канала с использованием частотной модуляции, получены визуальное подтверждение работоспособности макета.

Практическая значимость. Полученные результаты позволяют оценить применимость программно-аппаратного обеспечения при работе с файлами.

Ключевые слова

Цифровая модуляция, канал связи, GNU Radio, HackRF One, GMSK-модуляция, Программно-определяемое радио, передача текстового файла.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Для проведения экспериментов по использованию радиосвязи часто приходится создавать макет канала связи. Как правило для этого подходят модульные сборки из программ и технических средств. Одним из вариантов такой сборки является, набор из обработчика сигналов с открытым исходным кодом «GNU Radio» (Далее - GR) и программно-определяемого радио «HackRF One» (Далее - HRF)[1,2].

GR мощный программный инструмент, позволяющий человеку не имеющего навыков программирования, но знающего методы обработки сигналов, создавать программы для обработки сигналов. Из минусов в базовой версии программы могут не оказаться некоторые необходимые компоненты, но их можно добавить из сборок сообщества GR.

HRF это широкополосный программно-определяемый радиоприемник/передатчик (software define radio) полудуплексного типа. HRF способен принимать и передавать сигналы в диапазоне частот от 1 МГц до 6 ГГц с максимальной выходной мощностью до 15 дБм. Изначально данное устройство создавалось для анализа защищенности связи: перехват сообщений их подмена или повторная отправка. Но ввиду низкой цены и широкой совместимости с большим набором гибкого программного обеспечения оно может использоваться в самых разных исследованиях в области связи.

В данной статье будут рассмотрена сборка из базовых модулей GR необходимых для отправки и приема файлов и дополнительного модуля «osmosdr», а также показан пример работы таких сборок через HRF

Первоначальная установка и настройка «GNU Radio» и «HackRF One»

Для работы GR его предварительно установить на операционную систему. Проще всего это сделать на операционной системе Ubuntu (при написании статьи использовалась версия Ubuntu 24.04.02). Для установки и запуска в терминале вводим последовательность команд на подключенной к интернету системе:

sudo apt update
sudo apt upgrade
sudo apt install gnuradio
sudo apt install gr-osmosdr
gnuradio companion &

Update и upgrade обновят данные по доступному к скачиванию ПО и обновят установленный. Install gnuradio устанавливает основное ПО, а install gr-osmosdr устанавливает дополнительные блоки необходимые для связи с HRF. После ввода «gnuradio companion &» должно открыться окно программы с пустым графическим проектом. Версия GR: 3.10.9.2. Данные операции необходимо провести на 2х персональных компьютерах, один из которых будет передатчиком, а другой приемником.

В качестве программно-определяемого радио используются HRF с оболочкой Portapack. Версия прошивки HRF: 2.0.1. Для работы в режиме HRF в оболочке Portapack необходимо выбрать соответствующий пункт в меню устройства.

По итогу получаем аппаратную часть приемопередающего макета (рис. 1). В качестве среды передачи будут использованы кабель или радиоканал (если подключить антенны).

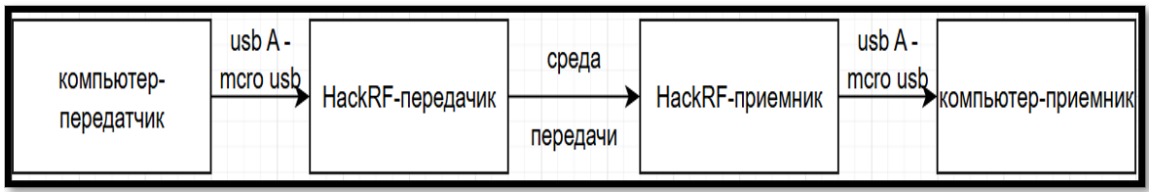


Рис.1. Схема приемопередающего макета
Fig. 1. The scheme of the transceiver layout

Создание передающего и принимающего ПО

Для выполнения отправки и приема сообщений соберем из блоков GR необходимые программы. Передающее ПО преобразует данные из файла при помощи Гауссовской частотной модуляции с минимальным сдвигом (GMSK)[3,4] и передает модулированный сигнал на HRF (рис.2 - 9).

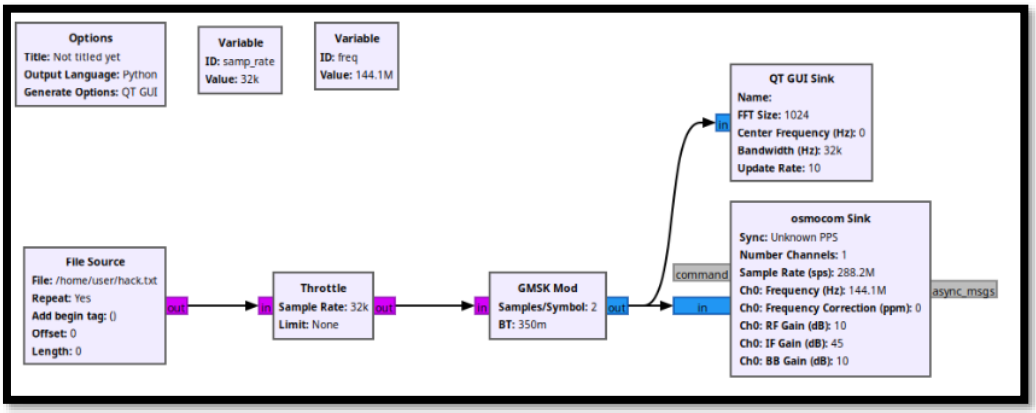


Рис. 2. Общий вид блоков GR программы для отправки файла.
Fig. 2. The general view of the GR blocks of the program for sending the file

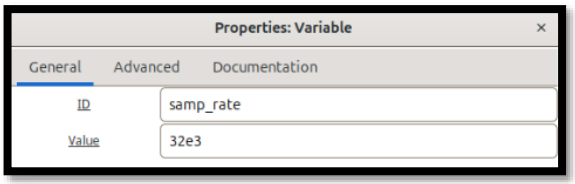


Рис. 3. Значение переменной samp_rate
Fig. 3. The value of the samp_rate variable

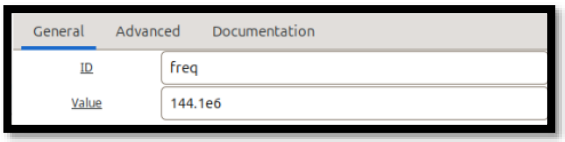


Рис. 4. Значение переменной freq
Fig. 4. The value of the freq variable

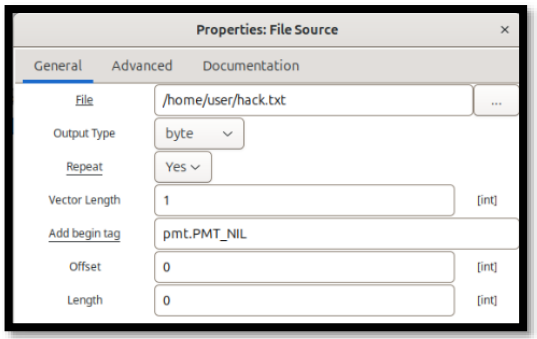


Рис. 5. Настройки блока «File Source»
Fig. 5. Settings of the “File Source” block

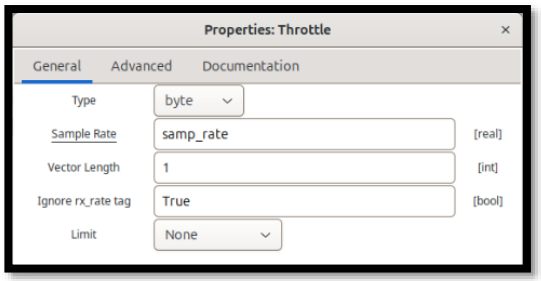


Рис. 6. Настройки блока «Throttle»
Fig. 6. Settings of the “Throttle” block

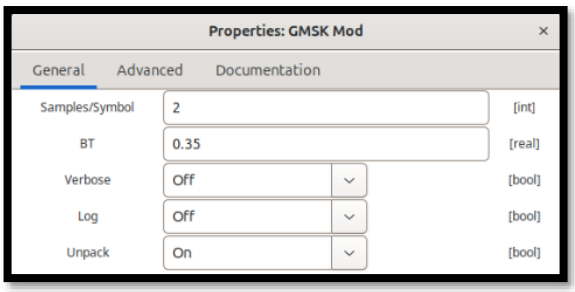


Рис. 7. Настройки блока «GMSK Mod»
Fig. 7. Settings of the “GMSK Mod” block

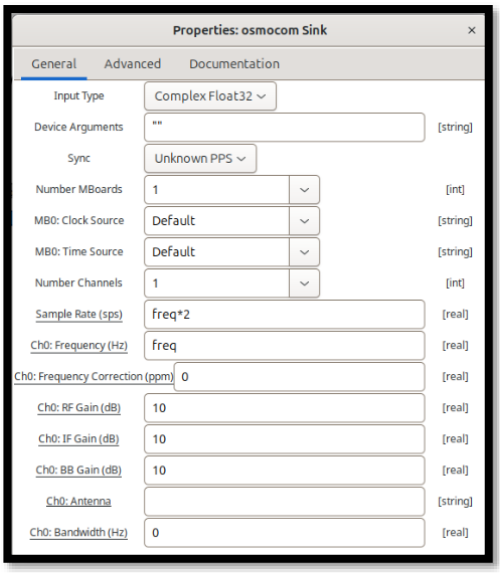


Рис. 8. Настройки блока «osmocom Sink»
Fig. 8. “Osmocom Sink” Block Settings

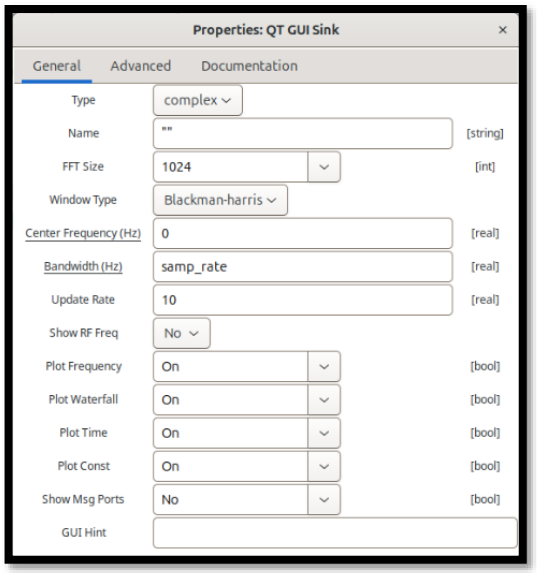


Рис. 9. Настройки блока «QT GUI Sink»
Fig. 9. Settings of the "QT GUI Sink" block

Принимающее ПО демодулирует принятый модулированный сигнал при помощи GMSK после чего собирает его в байты (поскольку на выходе из демодулятора он выходит по одному биту) и записывает полученные данные в файл (рис.10 – 18).

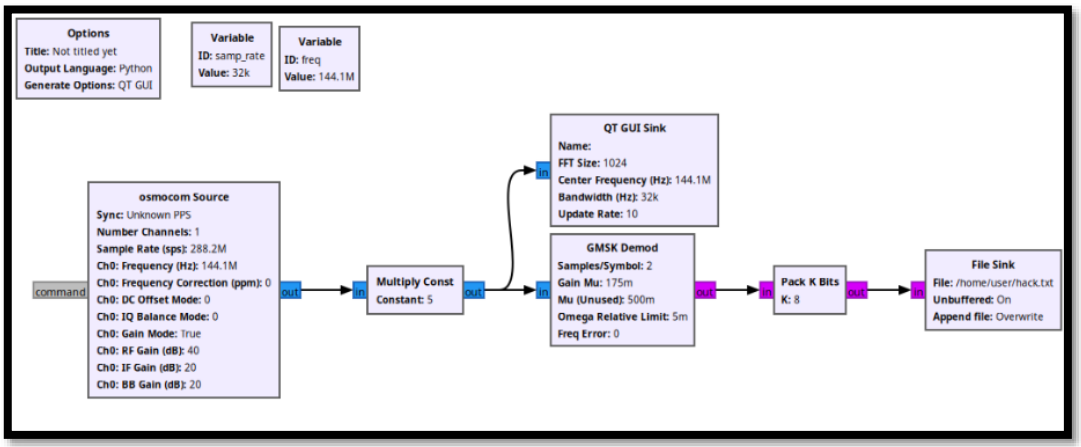


Рис. 10. Общий вид блоков GR программы для приема файла.
Fig. 10. The general view of the GR program blocks for receiving the file.

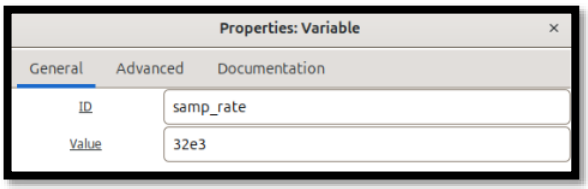


Рис. 11. Значение переменной samp_rate
Fig. 11. The value of the samp_rate variable

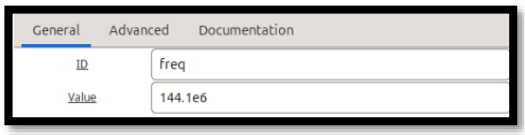


Рис. 12. Значение переменной freq
Fig. 12. The value of the freq variable

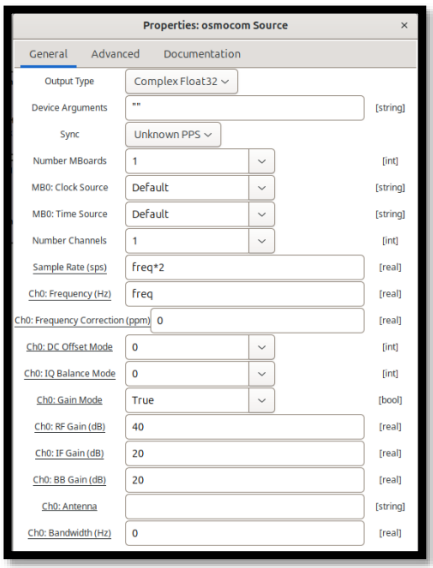


Рис. 13. Настройки блока «osmocom Source»
Fig. 13. "Osmocom Source" Block Settings

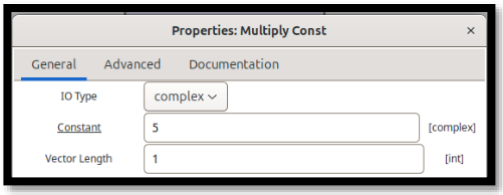


Рис. 14. Настройки блока «Multiply Const»
Fig. 14. «Multiply Const» Block Settings

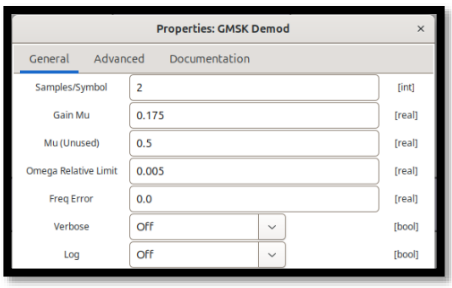


Рис. 15. Настройки блока «GMSK Demod»
Fig. 15. Settings of the "GMSK Demod" block

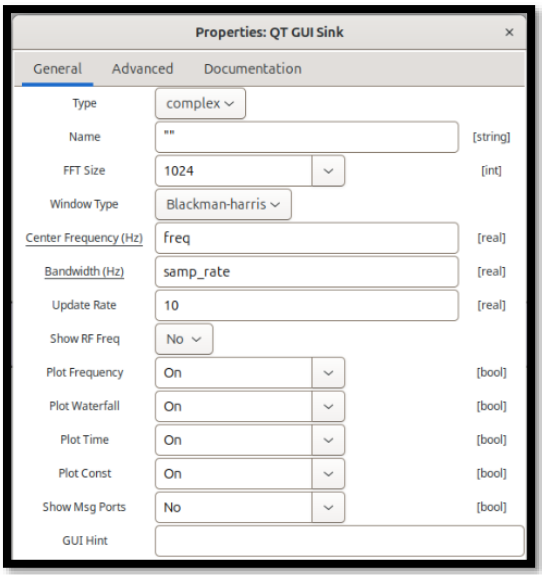


Рис. 16. Настройки блока «QT GUI Sink»
Fig. 16. Settings of the "QT GUI Sink" block

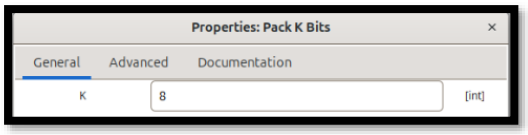


Рис. 17. Настройки блока «Pack K Bits»
Fig. 17. "Pack K Bits" Block Settings

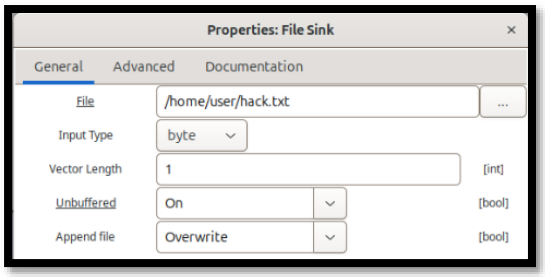
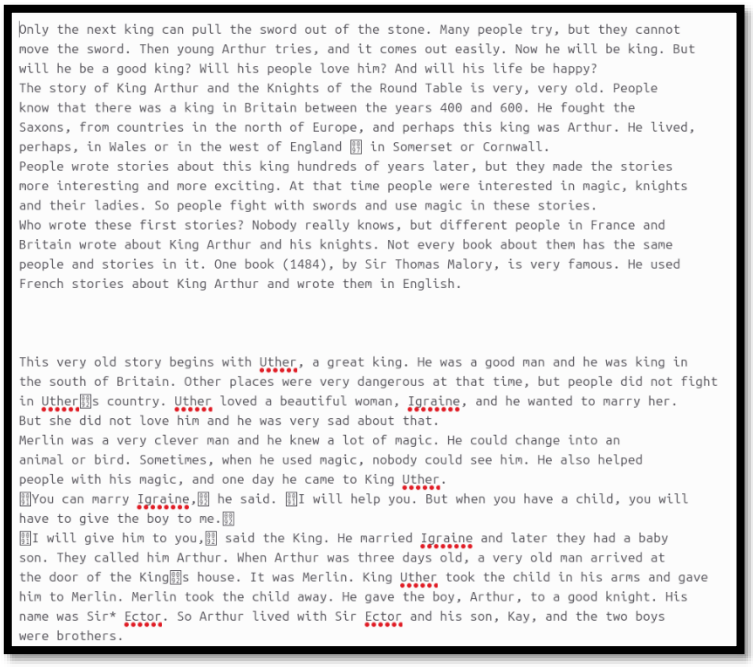


Рис. 18. Настройки блока «File Sink»
Fig. 18. Settings of the "File Sink" block

Прием и передача текстового файла

Для проверки работоспособности данного макета, отправим и примем текстовый файл. Осуществим это с разными средами передачи, в первом случае при помощи кабеля, соединяющего два HRF, во втором случае при помощи двух антенн с диапазоном рабочих частот 40 МГц-860 МГц [5,6]. В качестве отправляемого файла используется текст на английском языке длинной 94 КБ (Рис 19).



Only the next king can pull the sword out of the stone. Many people try, but they cannot move the sword. Then young Arthur tries, and it comes out easily. Now he will be king. But will he be a good king? Will his people love him? And will his life be happy?
The story of King Arthur and the Knights of the Round Table is very, very old. People know that there was a king in Britain between the years 400 and 600. He fought the Saxons, from countries in the north of Europe, and perhaps this king was Arthur. He lived, perhaps, in Wales or in the west of England in Somerset or Cornwall.
People wrote stories about this king hundreds of years later, but they made the stories more interesting and more exciting. At that time people were interested in magic, knights and their ladies. So people fight with swords and use magic in these stories.
Who wrote these first stories? Nobody really knows, but different people in France and Britain wrote about King Arthur and his knights. Not every book about them has the same people and stories in it. One book (1484), by Sir Thomas Malory, is very famous. He used French stories about King Arthur and wrote them in English.

This very old story begins with Uther, a great king. He was a good man and he was king in the south of Britain. Other places were very dangerous at that time, but people did not fight in Uther's country. Uther loved a beautiful woman, Igraine, and he wanted to marry her. But she did not love him and he was very sad about that.
Merlin was a very clever man and he knew a lot of magic. He could change into an animal or bird. Sometimes, when he used magic, nobody could see him. He also helped people with his magic, and one day he came to King Uther.
"You can marry Igraine," he said. "I will help you. But when you have a child, you will have to give the boy to me."
"I will give him to you," said the King. He married Igraine and later they had a baby son. They called him Arthur. When Arthur was three days old, a very old man arrived at the door of the King's house. It was Merlin. King Uther took the child in his arms and gave him to Merlin. Merlin took the child away. He gave the boy, Arthur, to a good knight. His name was Sir* Ector. So Arthur lived with Sir Ector and his son, Kay, and the two boys were brothers.

Рис. 19. Отправляемый текстовый файл
Fig. 19. The text file being sent

При запуске передающей программы наблюдаются следующие изображения (Рис 20-23)[7,8].

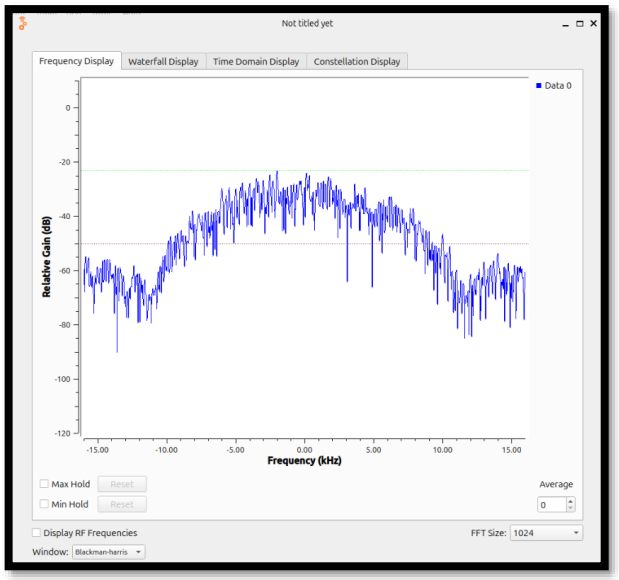


Рис. 20. Спектрограмма сигнала, поступающего на Osmosdr sink
Fig. 20. Spectrogram of the Osmosdr sink signal

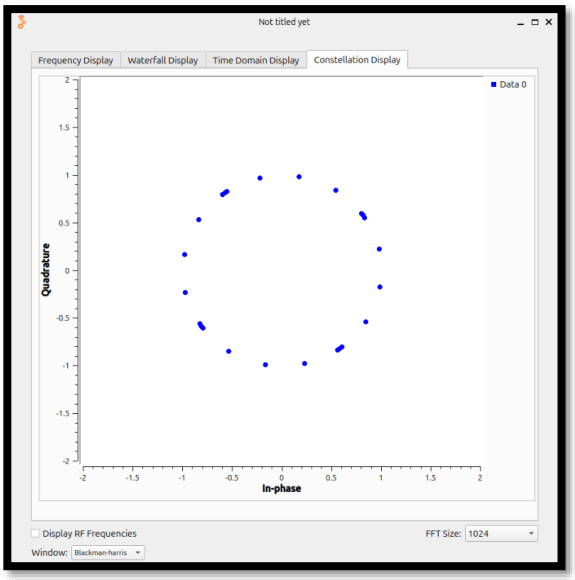


Рис. 21. Сигнальное созвездие сигнала, поступающего на Osmosdr sink
Fig. 21. The signal constellation of the Osmosdr sink signal

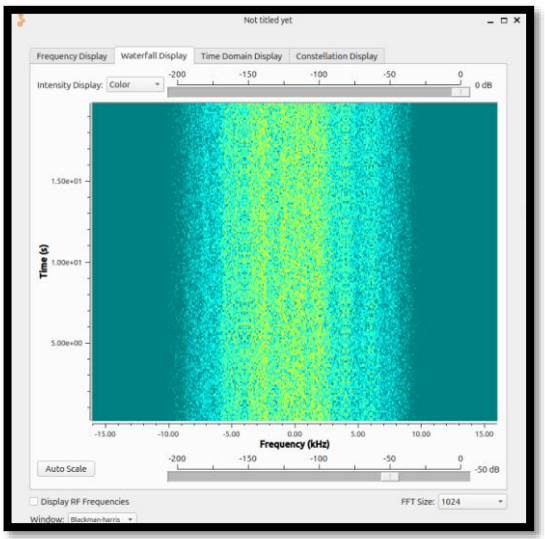


Рис. 22. «Водопад» спектра сигнала, поступающего на Osmosdr sink
Fig. 22. The "waterfall" of the signal spectrum coming to Osmosdr sink

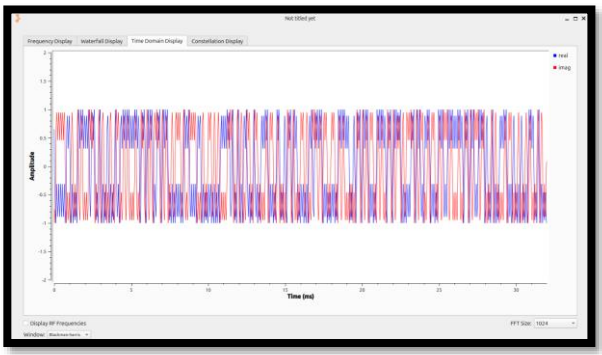


Рис. 23. Временная диаграмма сигнала, поступающего на Osmosdr sink
Fig. 23. Time diagram of the Osmosdr sink signal

При запуске принимающей, если запущен передатчик наблюдаем следующие изображения (24-27) после получения сигнала по кабелю.

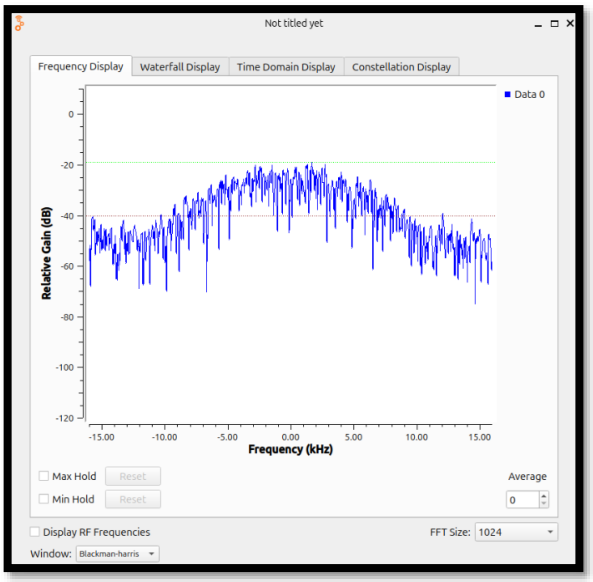


Рис. 24. Спектрограмма сигнала, поступающего на Osmosdr source
Fig. 24. Spectrogram of the Osmosdr sink source

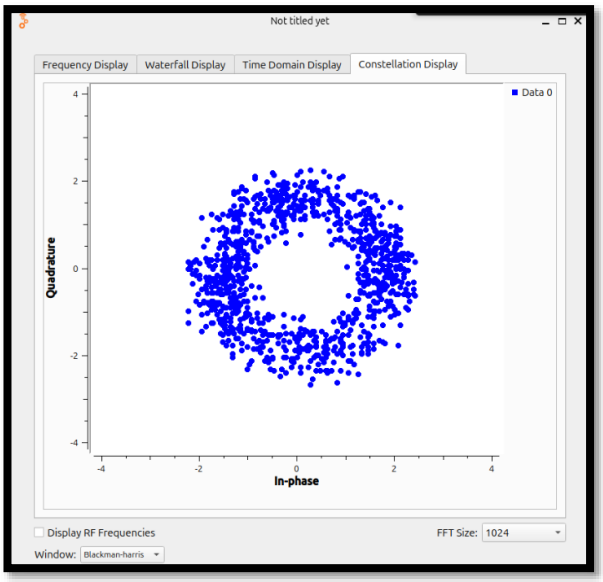


Рис. 25. Сигнальное созвездие сигнала, поступающего на Osmosdr source
Fig. 25. The signal constellation of the Osmosdr source signal

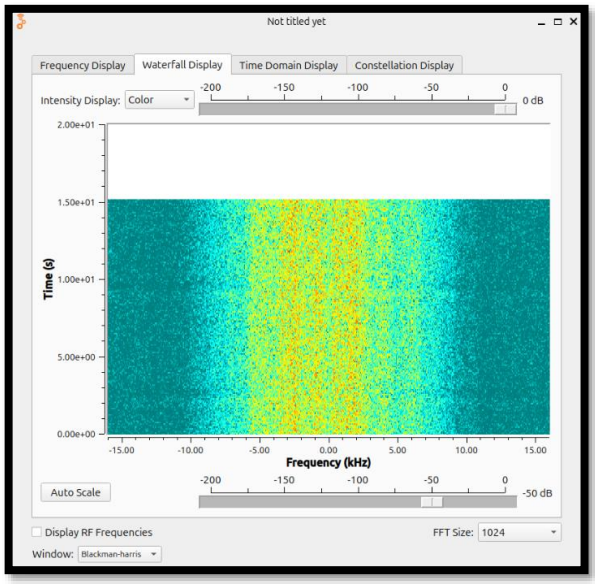


Рис. 26. «Водопад» спектра сигнала, поступающего на Osmosdr source
Fig. 26. The "waterfall" of the signal spectrum coming to Osmosdr source

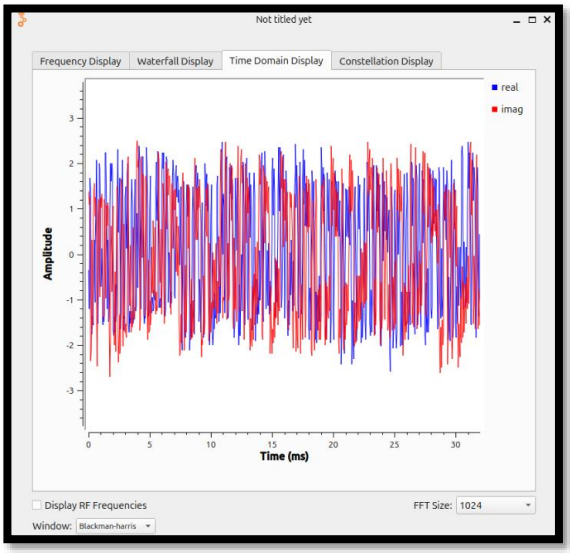


Рис. 27. Временная диаграмма сигнала, поступающего на Osmosdr source
Fig. 27. Time diagram of the Osmosdr sink source

После прохождения демодуляции и записи в файл получаем текст, представленный на рисунке 28. Он состоит на большую часть из ошибок, но встречаются большие части правильно детектированного и демодулированного сигнала[9,10]. Основными проблемами в данном случае является отсутствие синхронизации между передатчиком и приемником, поскольку сигнал на приёмнике на высоком уровне, порядка -20 Дб, а сам сигнал передается по кабелю, то влияние помех должно быть минимально.

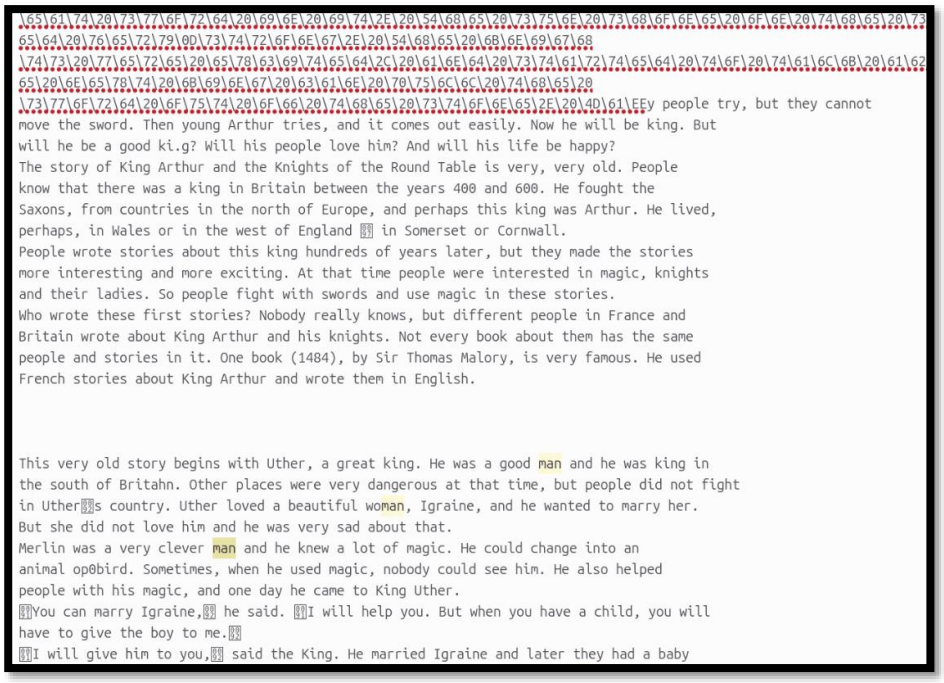


Рис. 28. Принятый текстовый файл
Fig. 28. the resulting text file

Так же проверим работу макета с использованием радиоканала в качестве среды передачи. Переключим HRF с кабеля на две антенны и запустим ПО на передачу и прием. Наблюдаем следующие изображения на приемной стороне (рис 29-32).

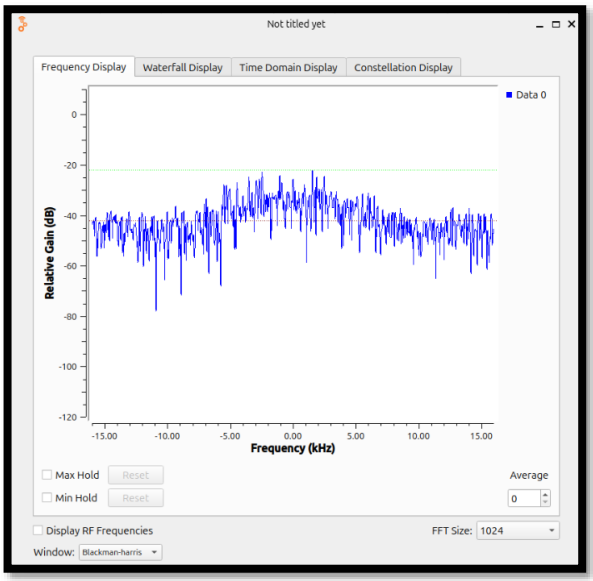


Рис. 29. Спектрограмма сигнала, поступающего на Osmosdr source
Fig. 29. Spectrogram of the Osmosdr sink source

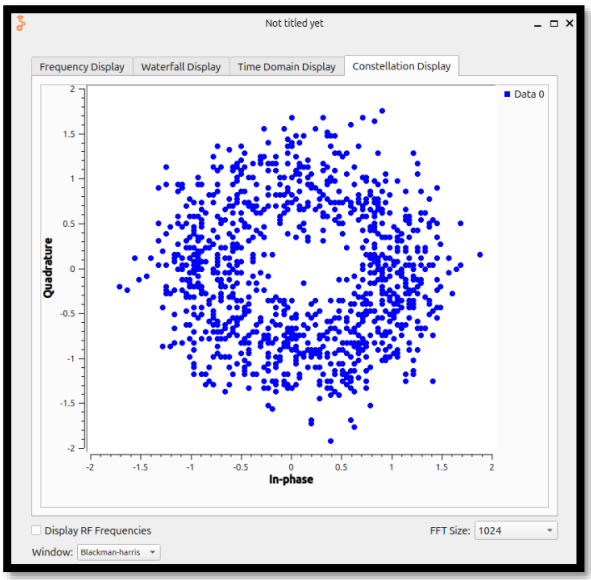


Рис. 30. Сигнальное созвездие сигнала, поступающего на Osmosdr source
Fig. 30. The signal constellation of the Osmosdr source signal

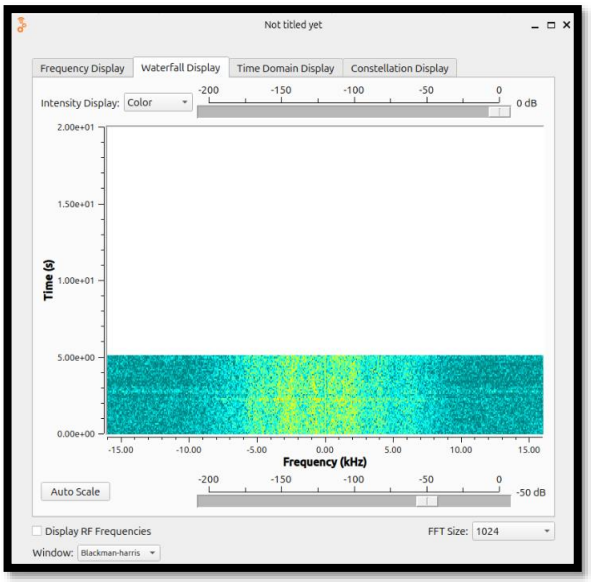


Рис. 31. Спектрограмма сигнала, поступающего на Osmosdr source
Fig. 31. Spectrogram of the Osmosdr sink source

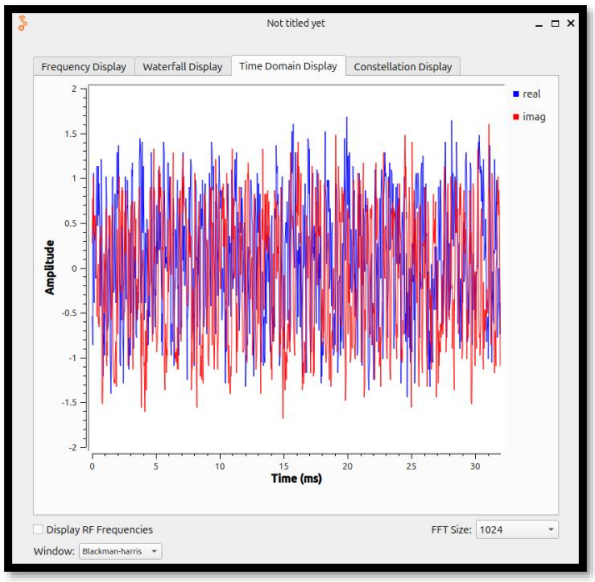


Рис. 32. Сигнальное созвездие сигнала, поступающего на Osmosdr source
Fig. 32. The signal constellation of the Osmosdr source signal

После того как программа отработала, можно просмотреть текстовый файл и увидеть схожий результат. Большая часть файла состоит из ошибок, но существуют участки с правильно принятым и демодулированным сигналом как изображено на рисунке 33.



Рис. 33. Принятый текстовый файл
Fig. 33. the resulting text file

Заключение

В работе рассмотрен метод создания макета канала цифровой связи с использование GMSK модуляции в программной среде GNU Radio и программно-определяемого радио HACK RF ONE с передачей текстового файла в эфир через модулированный сигнал, а также прием этого сигнала из эфира и обратное его преобразование в файл. Описаны параметры блоков, необходимых для построения макета передатчика и приемника GMSK-сигналов.

Получен демодулированный сигнал отправленного в эфир модулированного сигнала, проверена передача и прием с HackRF One через разные среды передачи.

Список источников

1. *Ю. А. Полевода, А. Е. Троицкая, Г. А. Бурень, Э. А. Рядинская, Г. В. Коняшкин.* Разработка каналов связи с цифровой модуляцией в GNU radio. Москва: Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ Т. 189 № 4 2022. 41-48 с.
2. *Ганигин С.Ю., Нечаев А.С., Кияценко В.В., Голубева М.М., Журавлева Е.С.* Применение технологии SDR для повышения помехозащищенности: экспериментальное исследование канала с OFDM модуляцией в GNU RADIO. Москва: Журнал радиоэлектроники 11. 2023.
3. *Дереча, Е. В., Д. Д. Привалов.* Исследование системы частотно-фазовой синхронизации несущей GMSK-сигнала .Омск: Радиотехника, электроника и связь. 2017.
4. *Меркутов, А. С.* Исследование возможности создания цифровой радиостанции на основе когерентного приема GMSK-сигналов. Известия высших учебных заведений. Приборостроение 55.8 (2012): 7-11.Коптев Д.С. Теория радиотехнических сигналов: учебное пособие. Курск: ЮЗГУ, 2019. 239 с.
5. *Шахгильдян, В. В.* Проектирование радиопередающих устройств. Москва: издательство «Связь».1976
6. *Зачатейский Д. Е.,Шадрин Б.Г.* Выбор оптимальных рабочих частот на коротковолновых радиолиниях малой дальности. Омск: Техника радиосвязи 12 (2007): 50-63 с.
7. *Дворников, С. В., Погорелов, А. А., Пшеничников, А. В., Литкевич, Г. Ю.* Теоретические положения трансформации констелляционных диаграмм сигнальных конструкций. Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения 6 (2016), 119-126 с.
8. *Дворников, С. В.,А. В.* Пшеничников. Формирование спектрально-эффективных сигнальных конструкций в радиоканалах передачи данных контрольно-измерительных комплексов. Санкт-Петербург: Известия высших учебных заведений. Приборостроение 60.3 (2017) 221-228с.
9. Ванюков, А. Ю. Определение вероятности ошибки в канале связи. Москва: Т-Comm-Телекоммуникации и Транспорт 6 (2008): 38-40 *с.*
10. *Куприянова, О. В., Левенец А. В., Ен У. Ч.* Оценка состояния канала связи по статистике декодирования помехоустойчивых кодов. Хабаровск: Вестник Тихоокеанского государственного университета 3 (2015): 110-120 с.

METHODS OF ADAPTIVE REJECTION OF SIGNAL AUDIO INTERFERENCE

E.M. Akimov [1], **M.Y. Konyshev** [2]
[1–2] FSUE “NTC “Orion” (Moscow, Russia)
[1] Akimov.emil.muratovich@gmail.com, [2] misha-kon@mail.ru

Abstract

In the modern world, the issue of creating mockups of radio systems remains relevant, especially from the point of view of the possibility of using software modules. There is a large amount of software for working with wired or wireless data transmission, but not all have sufficient built-in functionality to create a receiver and transmitter with different types of modulation. To evaluate the possibility and effectiveness of using GNU Radio and HackRF One as a programmable data receiver and transmitter layout using a wired or wireless transmission medium. An assessment of the possibility of creating a model of a transceiver communication channel has been carried out, an implementation of the channel using frequency modulation has been proposed, and visual confirmation of the model's operability has been obtained. The results obtained make it possible to evaluate the applicability of software and hardware when working with files.

Keywords

Digital modulation, communication channel, GNU Radio, HackRF One, GMSK modulation, Software-defined radio, text file transfer.

УДК 621.37

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ИСКАЖЕНИЙ СВЧ СИГНАЛА ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ПО ОПТОВОЛОКНУ

А.А. Емельянов[1], **Т.Н. Легкий**[1], **Е.С. Тюренков**[1]
[1] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
legki@rambler.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Провести исследование фазовых задержек в системах передачи сигнала по оптоволокну.

Цель. Показать, что фазовые задержки имеют аналитическое выражение и могут быть учтены при вычисление фазовых искажений в системах передачи СВЧ сигнала по оптоволокну.

Результаты. Проведенные в процессе исследования результаты сведены в таблицу.

Практическая значимость. Исследование фазовых искажений позволит обеспечить более высокую точность обработки сигналов, поступающих по оптоволокну.

Ключевые слова

СВЧ сигнал, передача СВЧ сигнала по оптоволокну, фазовые задержки, искажение сигнала.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

В контексте разработки радиоэлектронной приемо-передающей аппаратуры, где критически важна точная обработка входящих сигналов, проблема синхронизации между разнесенными приемными устройствами приобретает первостепенное значение. Дефекты синхронизации могут существенно повлиять на генерацию радиосигналов, внутреннюю коммуникацию и точность обработки принятых сигналов, что, в свою очередь, может привести к деградации качества связи и снижению эффективности системы.

Одним из наиболее перспективных решений данной проблемы является использование единого высокостабильного источника тактовых сигналов, распределяемых по волоконно-оптическим линиям связи (ВОЛС). Этот метод позволяет минимизировать влияние внешних электромагнитных помех на сигнал, обеспечивая его высокую устойчивость к наводкам и дрейфу. ВОЛС, обладая высокой пропускной способностью и низким уровнем потерь, представляет собой оптимальное средство для передачи эталонных тактовых сигналов с минимальными искажениями.

Применение единого источника тактовых сигналов, синхронизируемых через ВОЛС, позволяет достичь высокой степени когерентности между приемными устройствами, что является ключевым фактором для обеспечения стабильной и надежной работы радиоэлектронной аппаратуры. Этот подход также способствует повышению общей производительности системы, снижению уровня шумов и улучшению качества обработки сигналов, что особенно важно в условиях современных требований к качеству и надежности радиосвязи.

Анализ источников фазовых искажений

Наиболее критическими аспектами для функционирования волоконно-оптических синхронизированных сетей являются фазовый шум лазерного источника, нелинейные характеристики фазо-частотных преобразований в электрооптических и оптико-электрических модуляторах, дисперсионные эффекты, временная задержка радиосигналов, поляризационные флуктуации, изменения длины и показателя преломления волокна, нелинейные явления в одномодовых оптических волокнах, а также воздействие окружающей среды на волоконно-оптические кабели (ВОК) в условиях эксплуатации, включая температурные колебания, вибрационные нагрузки и акустические шумы. В таблице 1 ниже представлены результаты анализа известных источников фазовых искажений в волоконно-оптических линиях передачи (ВОЛП) аналогового типа, работающих в С-диапазоне длин волн

(1530-1565 нм).

Таблица 1. Источники фазовых искажений в оптоволоконных линиях связи

№ п/п	Эффект	Расчетная формула	Нормированный показатель	Источник
1	Задержка	$t_d = nL/c$	4,9 нс/м	[1]
2	Изменение длины	$\Delta\varphi = \omega_r n \Delta L/c$	17,6 °/(см·ГГц)	[2]
3	Температура	$\frac{d\varphi}{dT} = \frac{\omega_r L}{c}\left(\frac{n}{L}\frac{dL}{dT} + \frac{dn}{dT}\right)$	15°/(км·ГГц·°С)	[3]
4	Вибрации и акустика	$\frac{d\varphi}{d\sigma} = \frac{\omega_r L}{c}\left(\frac{n}{L}\frac{dL}{d\sigma} + \frac{dn}{d\sigma}\right)$	1,3°/(км·ГГц·кПа)	[4]
5	Хроматическая дисперсия	$\Delta\varphi = \omega_r DL\Delta\lambda$	6,5°/(ГГц·нм·км)	[5]
6	Поляризационная модовая дисперсия	$\Delta\varphi = \omega_r D_{pmd} L^{1/2}$	0,036°/(ГГц·км$^{1/2}$)	[6]
7	Переходные помехи	$\Delta\varphi = arctg\left(10^{A_c/20}\right)$	-	[7]

Примечание:

В данном контексте n представляет собой эффективный групповой показатель преломления кварцевого оптического волокна, который для стандартного одномодового волокна SMF-28 имеет типичное значение n=1,468. Параметр L обозначает длину оптического волокна, c — скорость света в вакууме. Угловая частота генератора тактовой частоты обозначена как ω_r. Температура окружающей среды выражается символом T в градусах Цельсия (°C).

Коэффициент термического расширения волокна, обозначаемый как (1/L) dL/dT, имеет типичное значение $5{,}6\cdot10^{-7}$/°C, а температурный коэффициент показателя преломления dn/dT составляет $1{,}2\cdot10^{-5}$/°C. Модули Юнга по длине волокна и показателю преломления, обозначенные как (1/L) dL/dσ^{-1} dn/dσ, имеют типичные значения $7{,}2\cdot10^{10}$ Па и $-3{,}4\cdot10^{-12}$/Па соответственно.

Коэффициент хроматической дисперсии D имеет типичное значение 18 пс/(нм·км). Разность длин волн Δλ между оптической несущей и составляющими боковых полос первого порядка в спектре модулированного оптического сигнала определяется для C-диапазона по частоте тактового радиосигнала в ГГц в пропорции 10 ГГц ≈ 80 пм.

Коэффициент поляризационной модовой дисперсии обозначается как DPM и имеет типичное значение 0,1 пс/км1/2. Относительный уровень переходной помехи Ac выражается в децибелах (дБ) и проявляется при передаче сигнала по мультиплексному каналу на расстояния более 10 км [2].

В контексте рассматриваемой системы синхронизации, несмотря на наличие множества факторов, способных вызвать фазовые искажения, можно с высокой степенью уверенности пренебречь влиянием пунктов 2-4 таблицы на исследуемой частоте в силу ограниченной протяженности распределительных линий. Более того, учитывая, что оптические волоконно-оптические линии (ВОЛС) функционируют в идентичных температурных условиях, можно исключить влияние температурных флуктуаций на фазовую стабильность приемо-передающей системы.

Следует отметить, что несмотря на многообразие факторов, влияющих на фазовые искажения, в условиях коротких распределительных линий, характерных для рассматриваемой сети приема и передачи данных, хроматическая дисперсия, являющаяся основным источником искажений в традиционных аналоговых волоконно-оптических линиях связи (ВОЛС), может быть проигнорирована вплоть до тактовых частот 20 ГГц. В таких системах полный фазовый шум на входе синхронизации приемных устройств определяется исключительно фазовыми шумами лазерного излучателя. Данный параметр, в свою очередь, зависит от ширины линии излучения. Для современных динамически одночастотных лазеров этот показатель может быть точно рассчитан на основе лоренцева профиля интенсивности.

Заключение

Представленные в таблице формулы и нормированные параметры предоставляют возможность предварительной оценки фазовых искажений, вносимых волоконно-оптическим трактом, на этапе проектирования конкретной системы приема и передачи сообщений. Это существенно сокращает объем необходимых последующих экспериментальных исследований, например при построении радиолокационных пеленгаторов [8, 9] .

Список источников

1. *Гауэр Дж.* Оптические системы связи // Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1989. - 500 с.
2. *Урик В.Д., МакКинни Д.Д., Вилльямс К.Д.* Основы микроволновой фотоники. – Пер. с англ. под ред. С.Ф. Боева, А.С. Сигова. - М.: Техносфера, 2016. - 376 с.
3. *Campillo A. L., et al*. Phase performance of an eight-channel wavelength-division-multiplexed analog-delay line. Journal of Lightwave Technology, 2004, v.22 No 2, p. 440–447.
4. *Sun C. K., et al.* Phase and amplitude stability of broadband fiber optic links. In Proceedings of SPIE, 1995, v. 2560, p. 50–56.
5. *Urick V. J., et al.* Long-haul analog photonics. Journal of Lightwave Technology, 2011, v. 29 No 8, p. 1182–1205.
6. *Shen P., et al.* Polarization Mode Noise in Ultra-low Drift Phase Reference Distribution System over a Fiber Network. In Proceedings of MWP, 2005, p. 297-300.
7. *Campillo A. L.*, et al. RF Phase Distortion Due to Crosstalk in an 8-Channel Wavelength Division Multiplexed Analog Delay Line. In Proceedings of OFC, 2003, v. 2, p. 729-730.
8. *Легкий Н.М., Унченко И.В.* Оптоволоконные устройства в системах ближней радиолокации: монография. ООО «Сам Полиграф, 2023. – 164 с.
9. *Легкий Н.М., Унченко И.В.* Математическое моделирование сверхвысокочастотных каналов полуактивной радиолокационной головки самонаведения / Russ. Technol. J. (РТЖ) 2024;12(2):48−56. https://doi.org/10.32362/2500-316X-2024-12-2-48-56 9 с.

INVESTIGATION OF PHASE DISTORTIONS OF THE MICROWAVE SIGNAL DURING OPTICAL FIBER TRANSMISSION

A.A. Yemelyanov[1], **T.N. Legkiy**[1], **E.S. Tyurenkov**[1]
[1]MIREA - Russian Technological University (Moscow, Russia)
legki@rambler.ru

Abstract

Problem statement. To conduct a study of phase delays in optical fiber signal transmission systems.
Goal. To show that phase delays have an analytical expression and can be taken into account when calculating phase distortions in microwave signal transmission systems over optical fiber.
Results. The results of the study are summarized in a table.
Practical significance. The study of phase distortions will allow for higher accuracy in processing signals coming through optical fiber.

Keywords

Microwave signal, transmission of microwave signal over optical fiber, phase delays, signal distortion.

УДК 621.396.13

МОБИЛЬНАЯ ГРУППИРОВКА БПЛА ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ СВЯЗИ

В.С. Иванов[1], В.О. Скрипачев[2], Е.А. Чистяков[3]
[1–3] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] ivanomirea1@yandex.ru, [2] skripachev@mirea.ru, [3] chistyakov@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Для покрытия связью новых территорий разрабатываются альтернативные, классическим наземным базовым станциям, способы организации связи. При проведении поисково-спасательных работ, исследовательских и других работ важным фактором является оперативное развертывание связи на заданной территории. Для покрытия связью территории в кратчайшие сроки применяются беспилотные летательные аппараты (БПЛА). Применение роя БПЛА позволяет оперативно обеспечить связью абонентов, находящихся на большом удалении друг от друга. При этом необходимо определить места размещения и количество БПЛА, а также способы взаимодействия друг с другом.

Цель. Автоматизировать процесс развертывания роя БПЛА для организации связи на заданной территории.

Результаты. Представлены существующие алгоритмы, позволяющие покрыть заданную территорию связью, используя наименьшее количество БПЛА. Рассмотрена возможность использования спутниковой связи для ретрансляции сигнала между роями БПЛА. Разработан алгоритм оперативного развертывания БПЛА, позволяющий в кратчайшие сроки покрыть заданную территорию связью.

Практическая значимость. Снижение трудозатрат оперативного развертывания связи путем внедрения полученных результатов в разработку программного обеспечения для моделирования развертывания роя БПЛА.

Ключевые слова

Беспилотные летательные аппараты, обеспечение связи, кластерная сеть, ретрансляция связи, развертывание БПЛА, рой БПЛА.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Многие интересные технические решения люди подсмотрели у животных и растений. Для поиска наилучших решений различных задач учеными используются алгоритмы и модели, позаимствованные у природы, среди которых можно выделить: муравьиный алгоритм, алгоритм пчелиной колонии, жадный алгоритм. Рассмотрим подробнее каждый.

Долгое время ученые наблюдали за поведением муравьев и не могли понять, каким образом муравьи находят кратчайший путь между двумя объектами, допустим, между домом и местом, на котором найдена еда – упавшая на землю груша. Проводились различные исследования, строились гипотезы и в 1992г. итальянский ученый Марко Дориго представил в своей докторской диссертации математическую модель, описывающую процесс поиска муравьями кратчайшего пути. Модель получила название Ant Colony Optimization (ACO) и впоследствии имела несколько модификаций [1]. Кратчайший путь между объектами муравьи определяют благодаря оставленным феромонам – пахучим выделениям, которыми насекомые отмечают свой путь. Рассмотрим процесс в общем виде. Муравей обследует прилегающую к дому территорию на предмет нахождения еды. Обнаружив еду, муравей возвращается домой, тем самым оставляя феромоны на данном пути. Затем по этому пути начинают следовать другие муравьи, тем самым повышая уровень феромонов на нем. Муравьи следуют простому правилу – следовать по пути с наиболее сильным запахом. При этом небольшое количество муравьев случайно отклоняется от заданного пути и прокладывает новый путь до еды, который может быть, как длиннее, так и короче. За единицу времени по короткому маршруту пройдет больше муравьев, чем по длинному. Феромоны, оставленные на путях, не вечны и испаряются за определенное время. Таким образом, на коротком пути будет оставлено больше феромонов и этот путь будет более привлекательным. Остальные пути, со временем, исчезнут из-за испарения феромонов. Математически вероятность перехода муравья из одной вершины, обозначим её i, в другую – j, можно выразить следующим выражением:

$$P_{ij} = \frac{\tau_{ij}^{\alpha} \cdot \eta_{ij}^{\beta}}{\sum_{i=0}^{m} \tau_{im}^{\alpha} \cdot \eta_{im}^{\beta}}; \quad (1)$$

где:

τ_{ij} – количество феромонов на пути между двумя вершинами;

η_{ij} – величина, обратная расстоянию между двумя вершинами;

$\tau_{ij}^{\alpha} \cdot \eta_{ij}^{\beta}$ – желание муравья перейти из одной вершины в другую;

$\tau_{im}^{\alpha} \cdot \eta_{im}^{\beta}$ – желание муравья перейти из одной вершины в другую любую доступную;

β – константа, влияющая на учитывание расстояния между вершинами, с увеличением β значение близости при последующем выборе растет;

α – константа, влияющая на учитывание количества феромонов.

Величина добавки феромона между двумя вершинами i и j муравьем k на итерации t, если данный путь попал в маршрут муравья, выражается следующим образом:

$$\Delta\tau_{ij,k,(t)} = \frac{Q}{L_{k(t)}}. \quad (2)$$

Если данный путь не попал в маршрут муравья, то величина добавки феромона будет равна:

$$\Delta\tau_{ij,k,(t)} = 0; \quad (3)$$

где:

k – индекс текущего муравья;

t – номер текущей итерации;

Q- величина постоянная, определяемая опытным путем.

Количество феромонов между двумя вершинами на новой итерации определяется из следующей формулы:

$$\tau_{ij(t+1)} = (1-p) \cdot \tau_{ij(t)} + \sum_{i=0}^{m} \Delta\tau_{ij(t)}; \quad (4)$$

где:

$\Delta\tau_{ij(t)}$ – количество феромонов на старой итерации;

$(1-p)$ – коэффициент испарения;

$\sum_{i=0}^{m} \Delta\tau_{ij(t)}$ – сумма всех порций феромона, которые отложили все муравьи на данном участке.

Долгое время никто не мог определить каким образом пчёлы передают информацию о скоплениях цветов. В середине XX века ученый Карл Фриш определил способ, с помощью которого пчёлы обмениваются информацией друг с другом – это танцы. Пчёлы способны передавать друг другу информацию с «географическими координатами» посредством ритмических движений. При этом по интенсивности танца сородичей пчёлы делают выводы о количестве цветов в указанной точке пространства (чем больше цветов — тем активнее движения). В 2005 году профессор Дервис Карабога опубликовал научную статью, в которой описал «алгоритм пчелиной колонии». Рассмотрим его в общем виде. Рой пчёл можно разделить на 3 вида – разведчики, наблюдатели и рабочие. Первые вылетают на поиск нектара в случайных направлениях. Обнаружив его, они возвращаются в улей и с помощью танца рассказывают наблюдателям о находках, которые по интенсивности танца определяют наиболее богатый нектаром площадки. Генерацию начальных положений (j=1) разведчиков можно записать следующим образом [2]:

$$X_i = rand\big(G(X)\big), i = 1, \ldots\ldots, n^s; \quad (5)$$

где n^s – количество пчел-разведчиков.

После формирования списков лучших и перспективных, найденных на (j–1)-й итерации (N_{ij}^b, N_{kj}^g), в окрестности позиций отправляются пчелы-рабочие. В окрестность каждой лучшей позиции отправляется c^b пчел, в окрестность каждой перспективной c^g пчел. В некоторых вариантах алгоритма число отправляющихся в окрестность участка пчел зависит от его качества с точки зрения целевой функции, но в данном описании это не используется [8]. Таким образом, позиции всех пчел-рабочих определяются следующим образом:

$$X_{(i-1)c^b+kj} = N^b_{ij-1} + Rnd * rad, i = 1, \ldots\ldots, n^b; k = 1, \ldots\ldots, c^b; \quad (6)$$

$$X_{n^b c^b+(i-1)c^b+kj} = N^g_{ij-1} + Rnd * rad, i = 1, \ldots\ldots, n^g; k = 1, \ldots\ldots, c^g; \quad (7)$$

Пчелы-разведчики отправляются в случайные позиции, координаты которых являются случайными величинами, равномерно распределенными на всем допустимом диапазоне значений:

$$X_{n^b c^b+n^g c^g+ij} = rand\big(G(X)\big), i = 1, \ldots\ldots, n^s; \quad (8)$$

Коэффициенты, представленные в алгоритме и упомянутые в формулах (6) и (7), формируют вектор параметров P = {n^s, n^b, n^g, c^b, c^g, rad, rx}. Коэффициент rad отвечает за рассеяние агентов при перемещении к наиболее эффективным и многообещающим позициям, в то время как коэффициент rx устанавливает минимальные допустимые расстояния между этими позициями. Сумма выражения $n^s + n^b c^b + n^g c^g$ равняется общему числу агентов в рою |S|. Качество решений, получаемых от алгоритма, во многом зависит от выбора его параметров, поэтому для увеличения эффективности необходимо адаптировать эти параметры. Данный процесс осуществляется многократно.

Жадный алгоритм строит решение пошагово, выбирая на каждом шаге локально оптимальное решение (максимально выгодное в текущий момент), не пересматривая сделанных ранее выборов. Существует большое количество вариантов реализации алгоритмов данного типа, рассмотрим алгоритм, разработанный авторами и применяющийся для поиска наилучших мест для размещения наземных базовых станций [3]. Исходными данными являются территория, которую необходимо покрыть связью с базой данных (БД) высот над уровнем моря, и технические характеристики приемопередающего оборудования. На выбранную территорию накладывается сетка с n-количеством узлом. Выбор размера сетки зависит от времени, отведенного на расчет пользователем. Для каждого узла сетки рассчитывается эмпирически выведенная переменная S, которая зависит от количества узлов, которые покрывает зона покрытия данной базовой станции (БС) (R), количества узлов (N), которые покрываются данной зоной покрытия и которые не покрыты зонами покрытия других БС и количества узлов (C), которые покрываются зоной покрытия БС за пределами выделенной территории. При этом, если зона покрытия не выходит за пределы выделенной территории, то C принимается равной 1.

$$S = \frac{R^3 + N^5}{C^2}; \quad (9)$$

На каждом шаге алгоритма производится сравнение значения переменной S в текущем узле с лучшим значением этой переменной в предыдущих узлах. Если значение S в первом узле, то оно сравнивается с нулевым значением. Если текущее значение S превышает максимальное значение S в предыдущих узлах, то координаты данного узла сохраняются, и алгоритм переходит к следующему узлу. Подобные действия повторяются до тех пор, пока не будут посещены все узлы. Затем определяется узел с наибольшим значением переменной S, и в этом узле устанавливается базовая станция с рассчитанной зоной покрытия. Если одной базовой станции недостаточно для покрытия всей территории, то процесс повторяется до тех пор, пока все участки территории не будут покрыты связью.

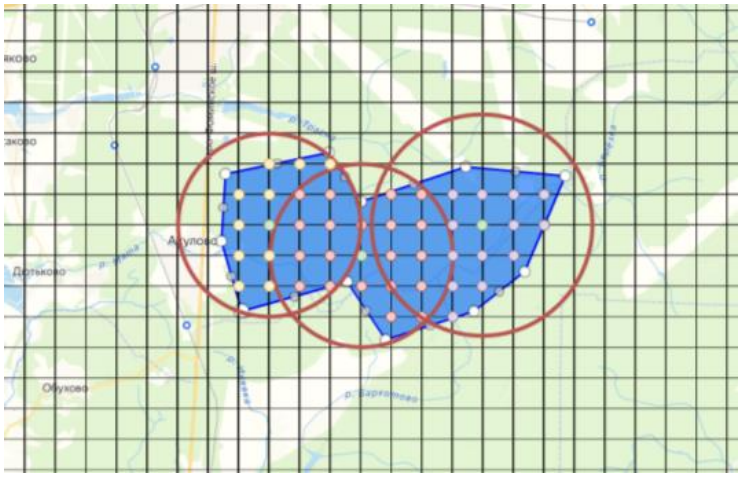


Рис. 1. Пример зон покрытия базовых станций, установленных в найденных по жадному алгоритму точках
Fig. 1. An example of the coverage areas of base stations installed at points found using a greedy algorithm

Ц е л ь р а б о т ы – разработать алгоритм развертывания роя БЛПА, который позволит оперативно обеспечить связь на заданной территории.

Алгоритм оперативного развертывания роя БПЛА

Одним из ограничений использования квадракоптеров является небольшая зона управления. Современные квадракоптеры способны удаляться на расстояния до 10км от оператора. Расширить зону полетов для квадракоптеров возможно, используя наземные ретрансляторы связи, которые должны быть установлены в заранее определенных точках. Данный вариант не позволит оперативно развернуть систему связи в требуемом районе. ГК «Роскосмос» занимается разработкой спутниковой системы «Гонец 2.0», которая позволит обеспечить беспрерывную связь для беспилотных летательных аппаратов на всей территории России [6]. В марте 2025г. был представлен малогабаритный спутниковый модем «Гонец», вес которого составляет 89г., он будет устанавливаться на БПЛА. Использование спутниковой системы «Гонец 2.0» позволит расширить зоны полета БПЛА без применения дополнительных наземных ретрансляторов.

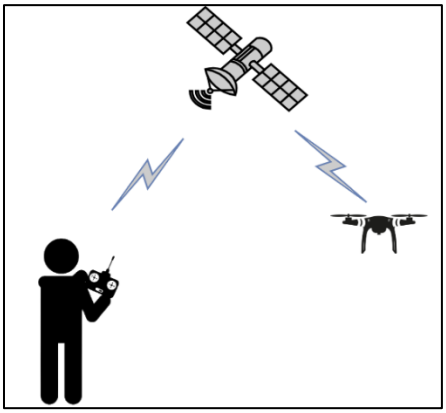


Рис. 2. Управление квадракоптером через спутник
Fig. 2. Quadcopter control via satellite

Использование квадракоптеров позволяет размещать ретранслятор связи на различных высотах, тем самым изменяя зону покрытия связью. Уже функционирующая система «Гонец» – низкоорбитальная спутниковая система, предназначенная для передачи данных и предоставления услуг связи мобильным и стационарным абонентам, обмена сообщениями, мониторинга инфраструктуры и объектов, в первую очередь, в районах с отсутствующим покрытием наземными сетями связи. В настоящее время орбитальная группировка включает 15 космических аппаратов «Гонец-М» и обеспечивает 100% покрытие Земли. Новая группировка «Гонец-М1» обеспечит абонентов, находящихся в определенном районе, транкинговой связью через спутниковый канал [7]. Это особенно важно для компаний и групп,

которые находятся вне зоны обслуживания наземных сетей. Взаимодействие абонентов будет осуществляться с помощью базовых станций, которые будут распределять каналы связи между ними. Новая спутниковая группировка будет использовать многолучевые антенны и более высокий диапазон частот, что позволит увеличить пропускную способность системы и обеспечить покрытие всей территории России. Важным остается вопрос о возможности использования спутников в качестве ретрансляторов сигнала для абонентов, находящихся друг от друга на больших расстояниях (больше 100км). Предполагается, что наземный центр принятия решений сможет связываться напрямую с абонентами, используя спутник и рои БПЛА для ретрансляции сигналов.

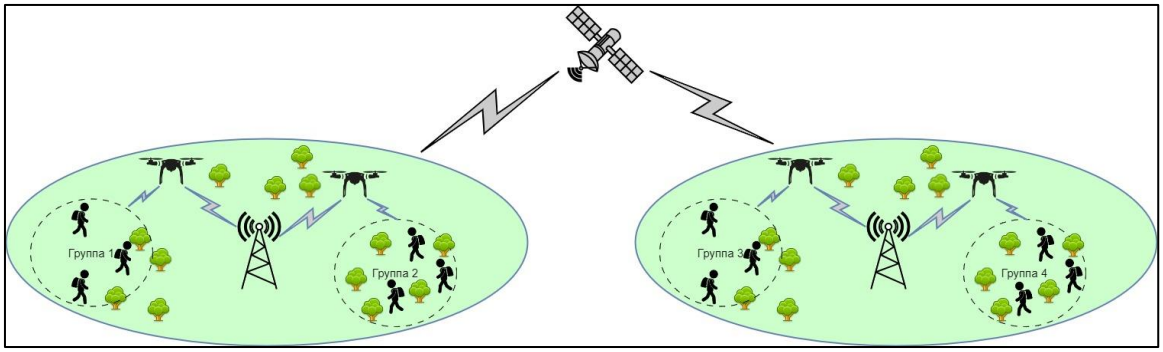


Рис. 3. Установление соединения между двумя удаленными друг от друга областями
Fig. 3. Establishing a connection between two remote areas

Зона покрытия связью квадракоптером, при нахождении на высоте 50м, составляет 30км. Но это расстояние применимо для идеальных условий – отсутствие препятствий на линии распространения радиосигнала [5].

$$R = 3{,}6 * (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}); \quad (10)$$

где h_1 и h_2 высоты подвеса антенн базовой и портативной станций.

Для уточненного значения зоны покрытия можно воспользоваться статистическими или детерминированными методами. Первые не учитывают индивидуальные особенности конкретных трасс распространения радиоволн, а позволяют оценить средние или медианные уровни сигналов для территории, где проводились испытания. Детерминированные методы расчёта зон обслуживания основаны на использовании физических моделей распространения радиоволн [4].

Рассмотрим конкретную ситуацию: в лесной местности проводится спасательная операция по ликвидации очагов возгораний. С разных точек к очагам возгораний выдвигаются пожарно-спасательные группы. Необходимо обеспечить прямую связь между портативными радиостанциями различных групп, при этом группы могут быть удалены друг от друга на 20км и более.

Использование одного БПЛА с установленным ретранслятором позволяет связать между собой лишь несколько групп, находящихся друг от друга на расстоянии до 10км. Для полного покрытия связью всех групп необходимо использовать 2 и более БПЛА. Для успешного функционирования роя БПЛА необходимо определить места размещения БПЛА, чтобы использовать минимальное количество квадракоптеров, позволяющее покрыть заданную территорию связью. Также требуется определиться со способом взаимодействия квадракоптеров в рое, будет это размещение роя коптеров без взаимодействия или с взаимодействием, для второго варианта необходимо выбрать главный БПЛА в кластере, который будет связываться с наземной базовой станцией. Рассмотрим разработанный вариант алгоритма оперативного размещения роя БПЛА, который в процессе дальнейшей работы может быть модернизирован:

На первом этапе определяются координаты мест нахождения абонентов. Затем возможны два варианта:

– маршрут абонентов известен, границы зоны покрытия рассчитываются вначале единожды. Это более простой вариант;

– маршрут абонентов неизвестен, границы зоны покрытия будут перерасчитаны в зависимости от перемещений абонентов.

Исходя из полученных данных проводится расчет приблизительной территории, которую необходимо покрыть связью. Затем определяются места размещения БПЛА, которые покроют связью заданную территорию. Рой БПЛА отправляется на место и размещается в заданных точках. Раз в минуту передается информация о местонахождении БПЛА и определяется не покинули ли абоненты указанную зону. Если абоненты покинули указанную зону, то проводится перерасчет зоны и БПЛА меняют положение. Возможен вариант, когда используемого количества квадракоптеров недостаточно и требуется добавить в рой n-количество БПЛА. Также необходимо следить за зарядом батарей питания, если заряд становится равным 20%, то на место старого БПЛА отправляется новый, который размещается над старым и встает на его место после того, как разрядившийся БПЛА отправляется на базу. Покрытие заданной территории обеспечивается до тех пор, пока это требуется. После окончания работ рой БПЛА отправляется на базу.

Для моделирования оперативного развертывания роя БПЛА необходима разработка программного обеспечения. За основу будет взято программное обеспечение, разработанное одним из авторов для проектирования транкинговых систем связи. В данном программном обеспечении проводился поиск наилучших мест установки базовых станций по жадному алгоритму, описанному в этой статье, и расчет зон покрытия на основе статистической и детерминированной моделей. Зоны покрытия базовых станций моделируются не окружностью, а сложной геометрической формой, так как расчет ведется по нескольким направлениям «абонент с портативной станцией – базовая станция» с привязкой к конкретной местности. Крайние точки зон покрытия соединяются двумя способами:

– соединение между собой крайних точек зон покрытия прямыми отрезками;

– соединение между собой точек зон покрытия сглаживаемыми линиями.



Рис. 4. Способы соединения крайних точек
Fig. 4. Ways to connect extreme points

Второй способ соединений увеличивает время расчета на 10%. Время, затраченное на выбор мест установки базовых станций высотой 30м, определения зон покрытия, на территории площадью 200км^2, составляет до 2 минут.

Для адаптации данного программного обеспечения планируется изменить алгоритм поиска мест размещения БПЛА в воздухе на алгоритм пчелиного роя, с целью провести сравнение по времени расчета и качества полученных результатов. Под качеством результатов понимается количество используемых БПЛА для покрытия связью заданной территории и места их размещения.

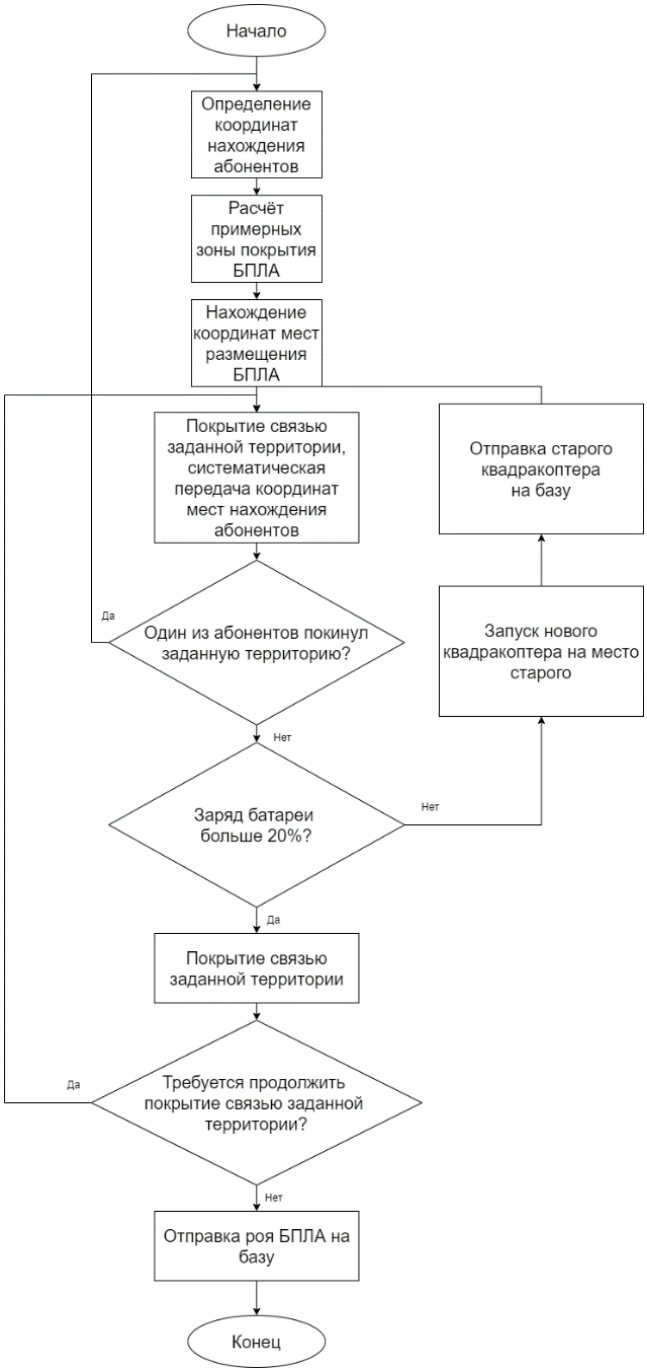


Рис. 5. Алгоритм оперативного развертывания роя БПЛА
Fig. 5. The algorithm of operational deployment of a swarm of UAVS

Заключение

Оперативное покрытие связью заданной территории является актуальной задачей для спасательных служб, геологических подразделений, добывающих компаний. Применение роя БПЛА позволяет в наикратчайшие сроки решить данную задачу, при условии существования автоматизированных средств проектирования. Важной задачей является использование наименьшего количества БПЛА, покрывающих заданную территорию связью. Для решения этой задачи необходимо модернизировать и адаптировать под данную задачу один из алгоритмов оптимизации, при этом необходимо в кратчайшие сроки найти качественное решение. В связи с этим требуется провести исследование по определению времени расчета мест размещения БПЛА разными алгоритмами.

Список источников

1. *Телегин В.А.* Муравьиные алгоритмы для решения задачи коммивояжера// Международный научно-исследовательский журнал,2024,№7(145), С. 1-19. https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.145.64
2. *Матренин П.В.* Описание и реализация алгоритмов роевого интеллекта с использованием системного подхода // Программная инженерия, 2015, №3, С. 27-34.
3. *Иванов В.С., Увайсов С.У., Иванов И.А.* Алгоритм автоматического размещения базовых станций транкинговых систем связи. Труды учебных заведений связи. 2023;9(5):25-34. https://doi.org/10.31854/1813-324X-2023-9-5-25-34
4. *Клочковская Л.П., Коньшин С.В.* Технологии беспроводной связи. Расчет параметров мобильной связи: Учебное пособие. Алматы: АИЭС, 2007. – 75 с.
5. *Бабков В. Ю., Вознюк М. А., Михайлов П. А.* Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование. -Изд. 2-е, испр. - М.: Горячая линия-Телеком, 2007. — 224с.
6. Система «Гонец 2.0» обеспечит онлайн связь для БПЛА— Текст : электронный // АО «Спутниковая система «Гонец» : сайт. — URL: https://clck.ru/3Laadd (дата обращения:08.04.2025).
7. Группировка «Гонец-М1» обеспечит абонентов спутниковой рацией— Текст : электронный // ixbt.com : сайт. — URLhttps://clck.ru/3LadgV (дата обращения:08.04.2025).
8. *Фроловский, В. Д.* Применение бионических моделей и методов для решения оптимизационных задач проектирования агротехнических систем полива / В. Д. Фроловский, Л. Ю. Забелин, С. Л. Забелин // Вестник СибГУТИ. – 2018. – № 4(44). – С. 20-29.

MOBILE GROUPING OF UAVS FOR COMMUNICATION

V.S. Ivanov [1], **V.O. Skripachev** [2], **E.A. Chistyakov**[3]
[1–3] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] ivanomirea1@yandex.ru, [2] skripachev@mirea.ru, [3] chistyakov@mirea.ru

Abstract

The article discusses the actual problem of operational provision of a communication system in a given area using a swarm of quadrocopters.. When conducting search and rescue operations, research and other activities, an important factor is the rapid deployment of communications in a given area. Unmanned aerial vehicles (UAVs) are used to cover the territory as soon as possible. The use of a swarm of UAVs makes it possible to quickly provide communication to subscribers located at great distances from each other. At the same time, it is necessary to determine the locations and number of UAVs, as well as ways to interact with each other. The purpose of the work is to automate the process of deploying a swarm of UAVs to organize communications in a given area. The results of the work are the existing algorithms presented, which make it possible to cover a given area with communications using the least number of UAVs. The possibility of using satellite communications to relay the signal between swarms of UAVS is considered. An algorithm has been developed for the operational deployment of UAVs, which makes it possible to cover a given area with communications in the shortest possible time.

Keywords

Unmanned aerial vehicles, communications support, cluster network, communications relay, UAV deployment, UAV swarm.

УДК 621.391.1

РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ПРИЕМОПЕРЕДАЧИ OFDM СИГНАЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ SDR

Г.В. Коняшкин[1]
[1] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] konyashkin@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. В современных системах цифровой связи все чаще возникает необходимость предварительной отладки и тестирования трактов приемопередачи для оценки эффективности алгоритмов цифровой обработки сигналов различного профиля. Реализация вариативной программной модели канального тракта OFDM сигналов по беспроводному каналу может.

Цель. Реализовать программную системы приемопередачи OFDM сигнала с использованием аппаратной SDR.

Результаты. Реализованна программно – аппартная модель приемопердачи OFDM сигнала с механизмами модуляции, формирования пакетов, эквализацией, частотной коррекцией и расчетом вероятности битовой ошибки.

Практическая значимость. Полученные результаты позволяют проводить оценку эффективности алгоритмов ЦОС в реальной системе приемопередачи.

Ключевые слова

OFDM, SDR, приемопередача, программная модель.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Современные системы беспроводной связи предъявляют высокие требования к эффективности передачи данных, особенно в условиях многолучевого распространения сигналов и ограниченного спектра частот. Одним из ключевых методов, обеспечивающих высокую скорость и устойчивость передачи, является ортогональное частотное разделение каналов (OFDM). Этот метод широко применяется в таких стандартах, как Wi-Fi, LTE и 5G, благодаря своей способности эффективно бороться с межсимвольной интерференцией (ISI) и адаптироваться к условиям замираний [1,2[.

Однако разработка и тестирование алгоритмов обработки OFDM-сигналов требуют гибких инструментов, позволяющих моделировать различные сценарии передачи. Технология программно-определяемого радио (SDR) предоставляет такую возможность, заменяя традиционные аппаратные компоненты программируемыми решениями [3]. Это открывает новые перспективы для исследований в области цифровой обработки сигналов (ЦОС), включая модуляцию, синхронизацию, эквализацию и оценку качества связи [4].

Цель работы — реализация системы приёма и передачи OFDM-сигналов с использованием SDR-платформы на базе AD9361 (FMCOMMS3) и ZedBoard [5].

Теоретические основы OFDM и SDR

Метод OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) основан на разделении широкополосного сигнала на множество узкополосных ортогональных поднесущих, что позволяет эффективно бороться с межсимвольной интерференцией (ISI) в условиях многолучевого распространения. Математически OFDM-сигнал может быть представлен в виде:

$$s(t) = \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{j2\pi f_k t} \quad (1)$$

где X_k – символ, передаваемый на k-й поднесущей, $f_k = f_0 + k \cdot \Delta f$– частота поднесущей, а $\Delta f = \frac{1}{T}$– шаг между поднесущими (T – длительность OFDM-символа).

Принцип формирования OFMD сигнала представлен на рисунке 1.

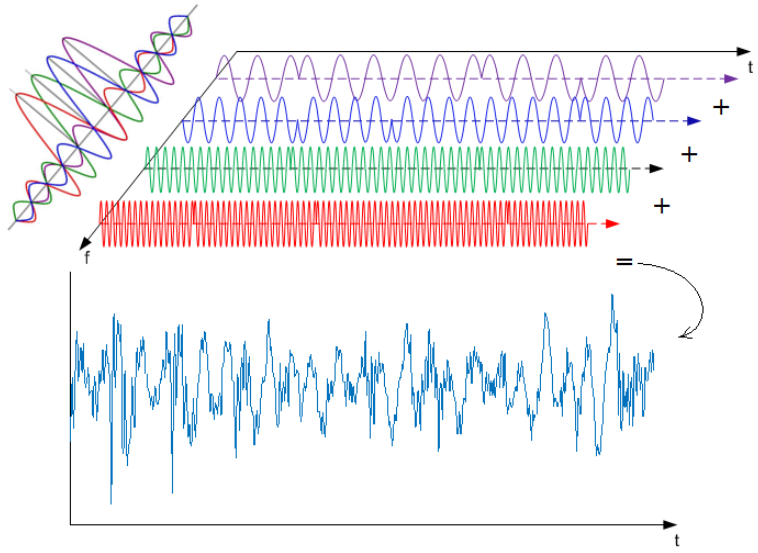


Рис. 1. Принцип формирования OFDM
Fig. 1. Principle of OFDM formation

SDR (Software-Defined Radio) – технология, в которой традиционные аппаратные компоненты радиосистем заменяются программными алгоритмами. Это позволяет гибко настраивать параметры передачи.

Типовая функциональная схема AD9361 использованного в данной работе представлена на рисунке 2

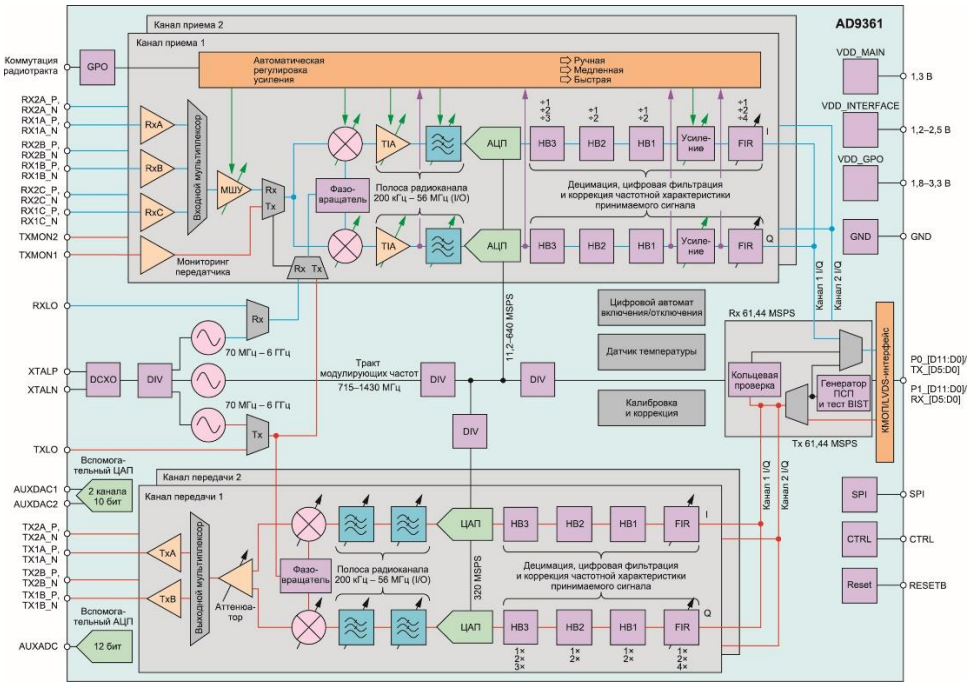


Рис. 2. Блок схема AD9361
Fig. 2. AD9361 Block Diagram

Программная реализация

Реализация модели приемопередачи OFDM сигнала с 16 КАМ (квадратурно ампилтудная модуляция) поднесущими была реализованна с использованием инструментария Matlab для программной части и с использованием Zedboard и платы расширения FMCOMMS3 для аппаратной части [3,5]. Функицональная блок схема алгоритма приведена на рисунке 3.

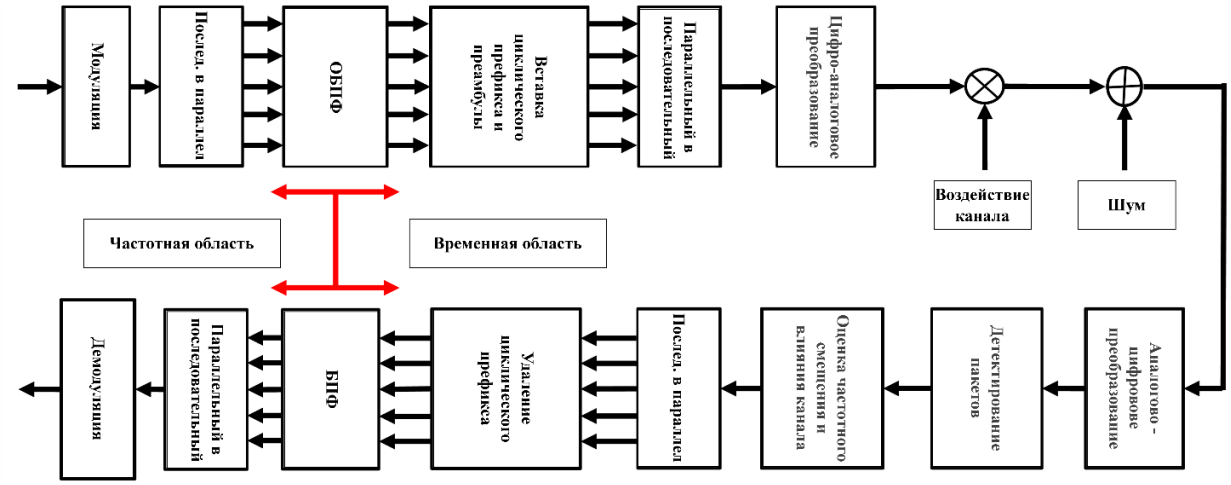


Рис. 3. Блок схема работы алгоритма
Fig. 3. Block diagram of the algorithm operation

В рамках реализованной программной модели пакеты данных передаваемых на модулятор разбиваются на фреймы содержащие короткую и дилнную преамбулу, и полезную нагрузку, содержание пакета данных представлено на рисунке 4.

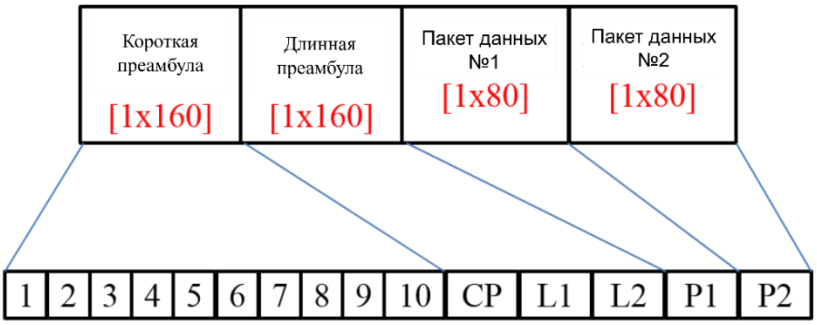


Рис. 4. Содержание передаваемого пакета
Fig. 4. Contents of the transmitted packet

Коммутация приемопередающих устройств осуществлялась по Ethernet кабелю напрямую к компьютеру, далее в программной среде создавались ip объекты для подключения и осуществлялся последовательный запуск системы передачи и приема. Схема работы установки представленна на рисунке 5.

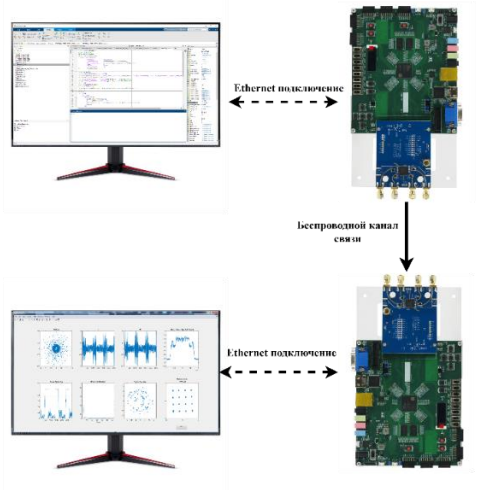


Рис. 5. Схема работы макета
Fig. 5. Layout operation diagram

Параметры системы при которых осуществлялась приемопередача OFDM сигнала представлена в таблице 1.

Таблица 1. Параметры системы

Центральная частота	5 GHz
Частота дискретизации основной полосы (пропускная способность)	20 MHz
Ts (Время выборки)	50 ns
Выборок на кадр	3000

При запуске програмы на приемной части происходит обращение к объекту приемника по ip доступу с шагом выборки Ts, последовательно принимаются OFDM кадры размером 3000, после чего происходит декодирование, синхронизация и демодуляция в соответсвии со схемой представленной на рисунке 3. Также был сформирован и настроен графический интерфейс отображения представленный на рисунке 6.

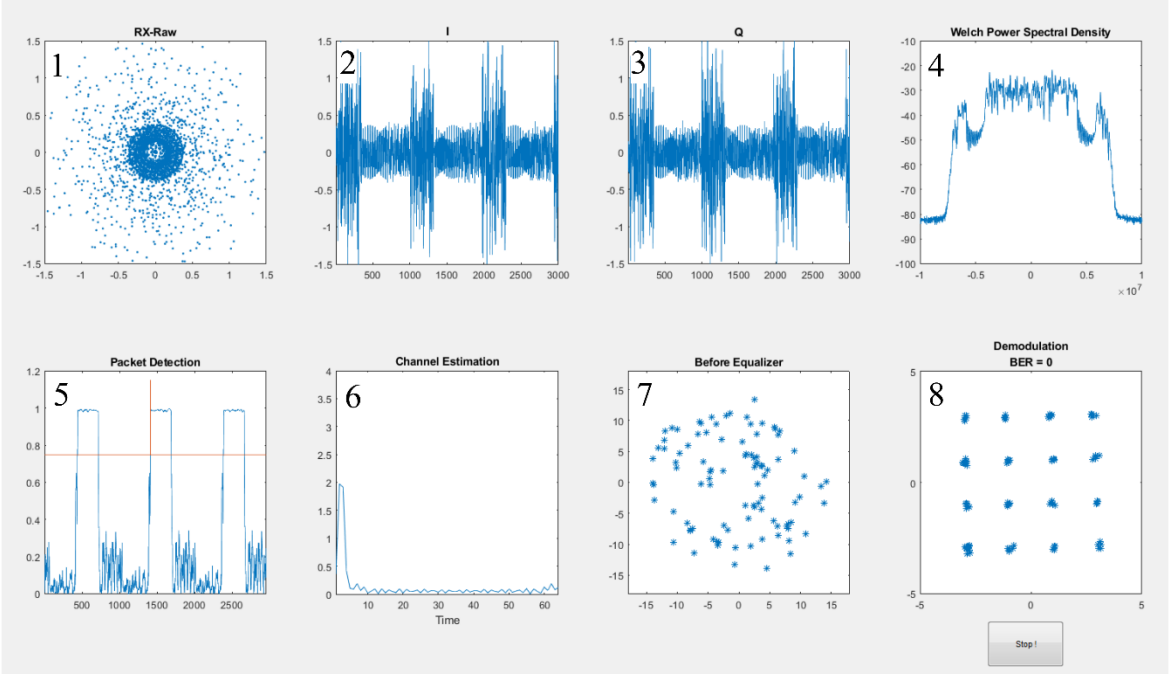


Рис. 6. Графический интерфейс приемной части, где:
1 – Необработанное фазовое созвездие; 2 – Синфазная часть; 3 – Квадратурная часть; 4 – Спектр сигнала; 5 – Детектированные пакеты; 6 – Оценка канала; 7 – Фазовое созведие до эквализации; 8 – Фазовое созведие после эквализации.

Fig. 6. Receiving part of the graphical interface, where:
1 – Raw phase constellation; 2 – In-phase part; 3 – Quadrature part; 4 – Signal spectrum; 5 – Detected packets; 6 – Estimated channel; 7 – Phase awareness before equalization; 8 – Phase awareness after equalization.

Заключение

В данной работе была успешно реализована программно-аппаратная система приёмо-передачи OFDM-сигнала с использованием SDR-технологии. Основные этапы работы включали модуляцию, формирование пакетов, эквализацию, частотную коррекцию и оценку вероятности битовой ошибки [4,7]. Результаты демонстрируют эффективность предложенного подхода для тестирования и отладки алгоритмов цифровой обработки сигналов в реальных условиях [1,6].

Практическая значимость исследования заключается в возможности применения разработанной системы для оценки и оптимизации параметров беспроводных каналов связи. Использование SDR обеспечивает гибкость настройки и адаптацию к различным сценариям передачи данных, что особенно актуально для современных телекоммуникационных систем.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на расширение функциональности системы, например, включение поддержки MIMO-технологий или адаптацию для работы в условиях сильных помех.

Список источников

1. *Коптев Д.С.* Теория радиотехнических сигналов: учебное пособие. Курск: ЮЗГУ, 2019. 239 с.
2. *Савватеева Ю.И.* Оптимальный прием сигналов на фоне помех и шумов. Москва: Радиотехника, 2011.423 с.
3. *Куликов Г.В., Коняшкин Г.В.* Режекция узкополосной помехи при приеме сигналов с квадратурной амплитудной модуляцией. Актуальные проблемы и перспективы развития радиотехнических и инфокоммуникационных систем ("Радиоинфоком-2023"): Сборник научных статей по материалам VII Международной научно-практической конференции, Москва, 2023. – Москва: МИРЭА-Российский технологический университет, 2023. – 343-346 с.
4. *Костин М.С., Шадинов С.С., Латышев К.В., Коняшкин Г.В., Корчагин А.С.* Векторное формирование сигнальных радиоизображений методом сканирующей спектрально-временной развертки. Оборонный комплекс - научно-техническому прогрессу России. – 2023. – № 2(158). – 56-63 с.
5. Патент на полезную модель № 232764 U1 Российская Федерация, МПК H03H 21/00, H03H 17/02, H04B 1/12. адаптивный режекторный фильтр для подавления нефлуктуационных помех : заявл. 28.11.2024 : опубл. 19.03.2025 / Г. В. Коняшкин, Г. В. Куликов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "МИРЭА - Российский технологический университет". – EDN OEPIPT.
6. *Mitola J.* Software Defined Radio: Architectures, Systems and Functions – Wiley, 2000. – 372 p.
7. *Proakis J.G., Salehi M.* Digital Communications – 5th ed. – McGraw-Hill, 2008. – 1152 p.

IMPLEMENTATION OF AN OFDM SIGNAL RECEPTION AND TRANSMISSION SYSTEM USING SDR

G.V. Konyashkin [1]
[1] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] konyashkin@mirea.ru

Abstract

Problem statement. In modern digital communication systems, it is increasingly necessary to pre-debug and test the transceiver paths to evaluate the effectiveness of digital signal processing algorithms of various profiles. The implementation of a variable software model of the channel path of OFDM signals over a wireless channel can. **Goal.** Implement a software-based OFDM signal reception and transmission system using hardware SDR. **Results.** A software‑based hardware model of OFDM signal reception is implemented with mechanisms for modulation, packet generation, equalization, frequency correction, and calculation of the probability of a bit error. **Practical significance.** The results obtained make it possible to evaluate the effectiveness of DSP algorithms in a real transmission reception system.

Keywords

OFDM, SDR, transmission and reception, software model.

УДК 621.391.1

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ ДАННЫХ БОЛЬШОГО ОБЪЕМА

Г.В. Коняшкин[1]
[1] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] konyashkin@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. В современных исследованиях, связанных с анализом спектроскопических данных, возникает необходимость обработки и визуализации больших объемов информации, получаемых от спектроанализаторов. Традиционные методы обработки данных часто оказываются недостаточно эффективными из-за высокой нагрузки и сложности интерпретации результатов.

Цель. Разработать программное обеспечение для конвертации данных спектроанализатора FSH13, их обработки и визуализации в виде графиков спектра, обеспечивающее высокую производительность и удобство использования.

Результаты. Реализовано программное обеспечение, позволяющее конвертировать данные спектроанализатора FSH13, обрабатывать их и строить графики спектра с возможностью настройки параметров отображения. Программа поддерживает работу с большими объемами данных и обеспечивает высокую скорость обработки.

Практическая значимость. Разработанное программное обеспечение может быть использовано в научных и промышленных приложениях для анализа спектроскопических данных, что упрощает процесс интерпретации результатов и повышает эффективность исследований.

Ключевые слова

Спектроскопия, обработка данных, визуализация, FSH13, программное обеспечение.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Современные спектроанализаторы, такие как FSH13, генерируют большие объемы данных, которые требуют эффективной обработки и визуализации для последующего анализа [1]. Однако существующие инструменты часто не справляются с высокой нагрузкой или предоставляют ограниченные возможности для настройки графиков [2]. Это создает необходимость в разработке специализированного программного обеспечения, способного обрабатывать и визуализировать спектроскопические данные с высокой точностью и производительностью [3].

Цель работы — создание программы, которая конвертирует данные спектроанализатора FSH13, обрабатывает их и строит графики спектра с возможностью гибкой настройки параметров отображения [4].

Методы и реализация

Для реализации поставленной задачи использовалось программное обеспечение разработано на языке Python с использованием библиотек для обработки данных (NumPy, Pandas) и визуализации (Matplotlib, Plotly) [5]. Основные этапы работы программы включают:

1. Конвертация данных:

Чтение данных из формата, используемого спектроанализатором FSH13 [6];

Преобразование данных в структурированный формат для дальнейшей обработки.

2. Обработка данных:

Нормализация данных для улучшения визуализации [7].

3. Визуализация:

Построение графиков спектра с возможностью настройки масштаба, цвета и других параметров.

Сохранение графиков в различных форматах (PNG, PDF, SVG).

Блок схема реализации алгоритма представлена на рисунке 1.

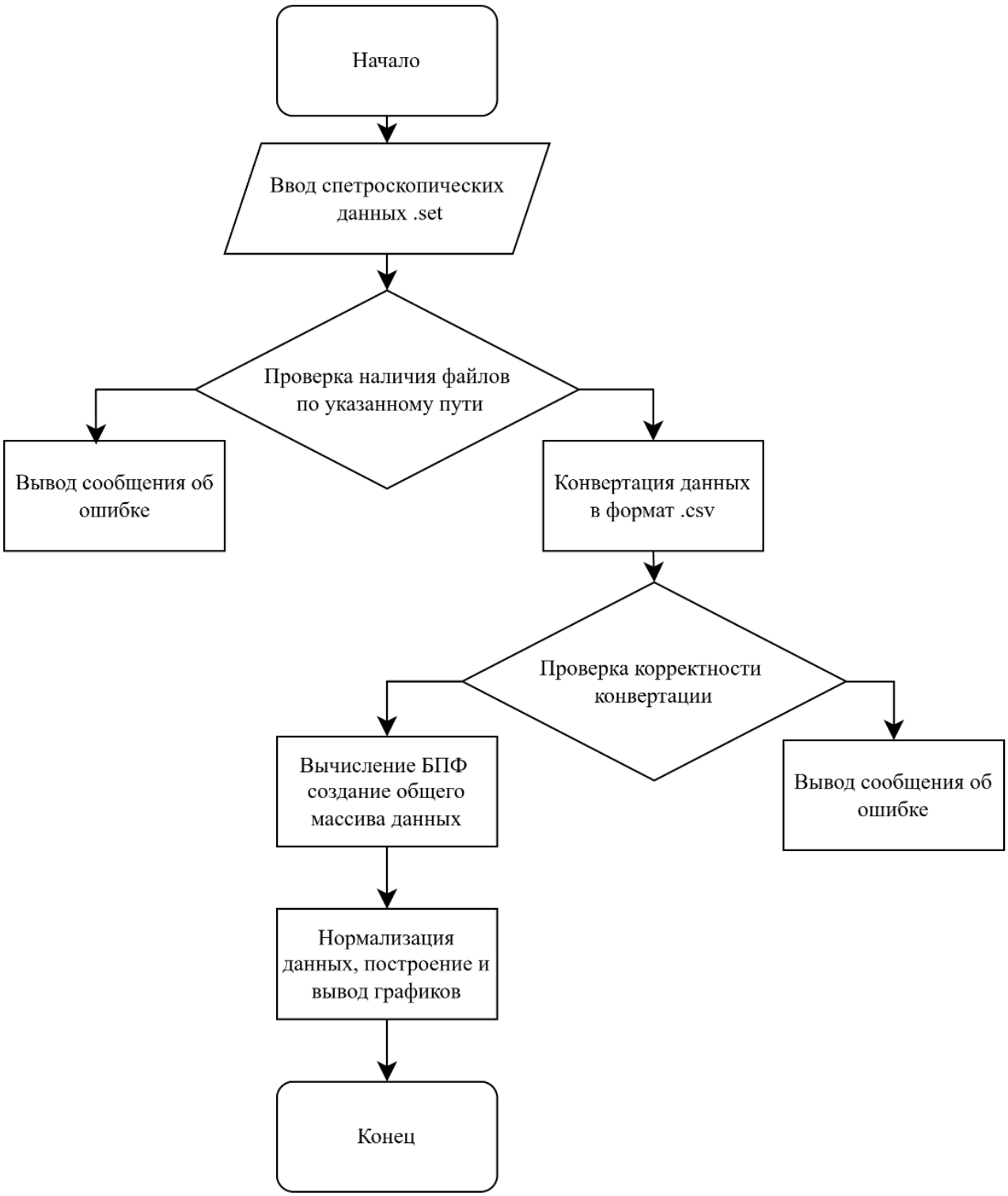


Рис. 1. Блок схема работы алгоритма
Fig. 1. Block diagram of the algorithm operation

В рамках тестирования было проведено исследование получения спектроскопических данных большого объема для этого на использованном спектроанализаторе FSH13 с подключенной всенаправленной антенной была выставлена настройка фиксации спектра в диапазоне от 1 ГГц до 3 ГГц циклично каждые 10 секунд, после чего данные передавались на ПК и обрабатывались в разработанной программе. Весь процесс отражен на рисунке 2.

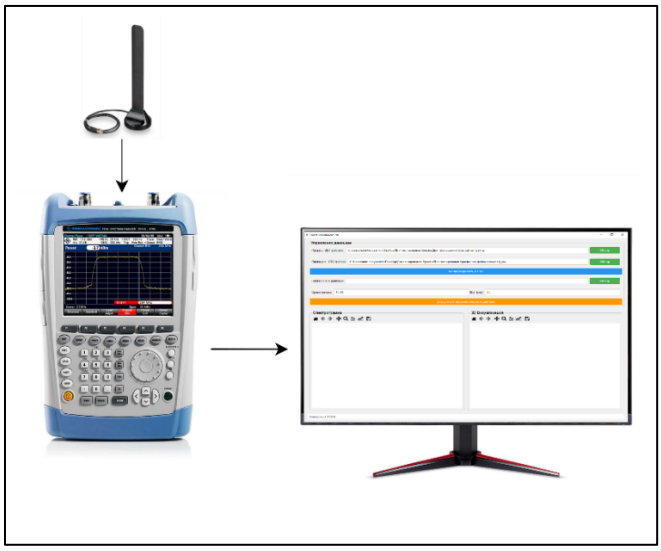


Рис. 2. Схема сбора данных
Fig. 2. Data collection scheme

Программная реализация

По описанному в предыдущем пункте методу было реализованно программное обеспечение, внешний вид которого представлен на рисунке 3.

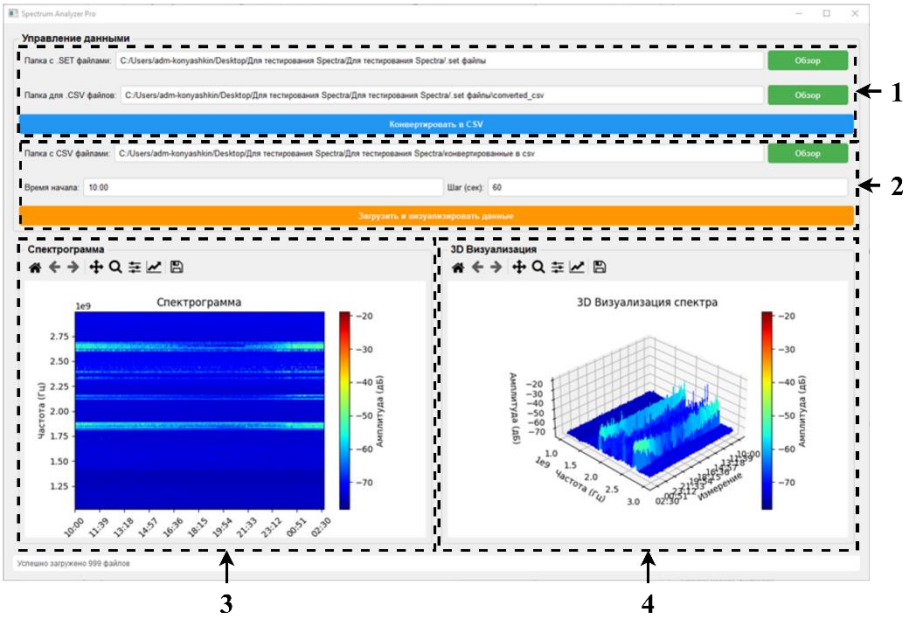


Рис. 3. Внешний вид окна программы
Fig. 3. Appearance of the program window

Под цифрой 1 на рисунке 3 представлена реализация выбора пути хранения выгруженного массива данных в формате .set, и опция выбора пути для сохранения конвертированных файлов. По цифрой 2 представлена опция выбора папки с данным, в который автоматически добавляется путь содержания конвертированных файлов, опции указания времени начала сбора данных и шаг фиксации спектра. Под цифрой 3 представлена выводимая водопадная спектрограмма сигнала. Под цифрой 4 представлена выводимая 3D визуализация спектра.

Также реализована опция отображения основных параметров точки массива визуализированных данных при наведении на нее, как показано на рисунке 4.

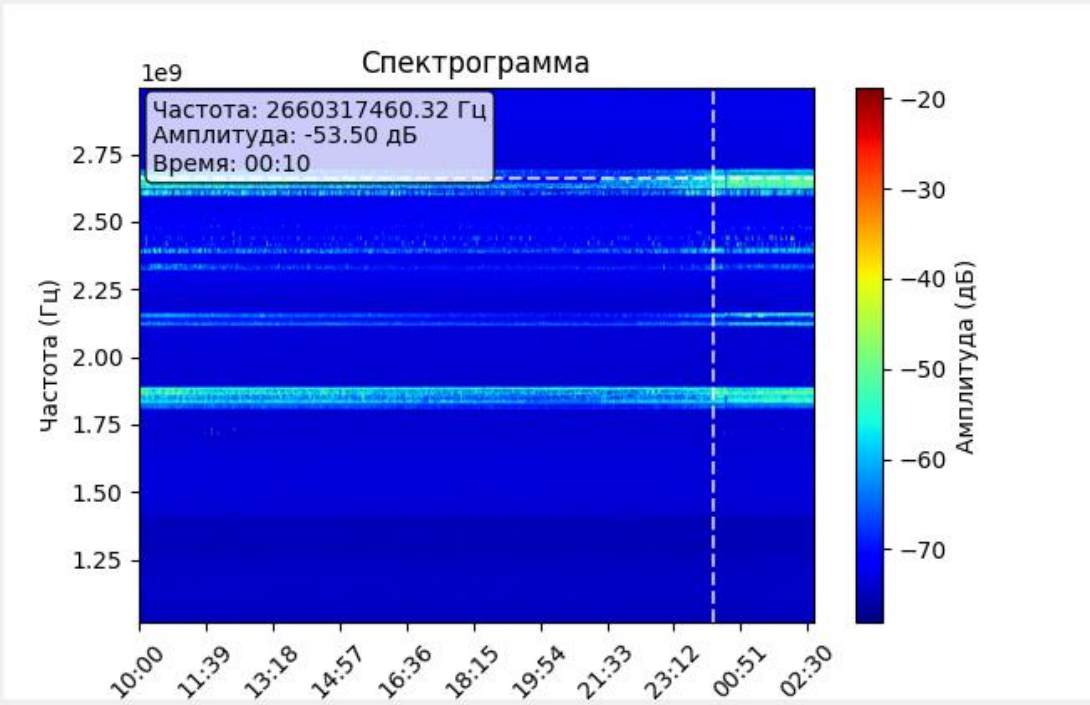


Рис. 4. Визуализация спектра с отображением информации
Fig. 4. Spectrum visualization with information display

В рамках тестирования был выполнен сбор данных в течение 8 часов, после чего массивы данных были обработанны в программе и визуализированны с помощью соответсвующих библиотек. Результаты тестирования подтвердили корректность работы программы.

Заключение

В данной статье представлена разработка программного обеспечения для обработки и визуализации спектроскопических данных, полученных от спектроанализатора FSH13. Реализованное ПО позволяет эффективно конвертировать, обрабатывать и визуализировать большие объемы данных, обеспечивая высокую производительность и удобство интерпретации результатов. Использование современных библиотек Python, таких как NumPy, Pandas, Matplotlib и Plotly, позволило создать гибкий инструмент с широкими возможностями настройки графиков и сохранения результатов в различных форматах.

Практическая значимость работы заключается в возможности применения разработанного программного обеспечения в научных и промышленных исследованиях, что значительно упрощает анализ спектроскопических данных и повышает эффективность работы. Дальнейшее развитие проекта может включать расширение функционала для поддержки других форматов данных и интеграцию с облачными сервисами для обработки данных в режиме реального времени.

Список источников

1. *Коптев Д.С.* Теория радиотехнических сигналов: учебное пособие. Курск: ЮЗГУ, 2019. 239 с.
2. *Савватеева Ю.И.* Оптимальный прием сигналов на фоне помех и шумов. Москва: Радиотехника, 2011.423 с.
3. *Куликов Г.В., Коняшкин Г.В.* Режекция узкополосной помехи при приеме сигналов с квадратурной амплитудной модуляцией. Актуальные проблемы и перспективы развития радиотехнических и инфокоммуникационных систем ("Радиоинфоком-2023"): Сборник научных статей по материалам VII Международной научно-практической конференции, Москва, 2023. – Москва: МИРЭА-Российский технологический университет, 2023. – 343-346 с.
4. *Костин М.С., Шадинов С.С., Латышев К.В., Коняшкин Г.В., Корчагин А.С.* Векторное формирование сигнальных радиоизображений методом сканирующей спектрально-временной развертки. Оборонный комплекс - научно-техническому прогрессу России. – 2023. – № 2(158). – 56-63 с.
5. Патент на полезную модель № 232764 U1 Российская Федерация, МПК H03H 21/00, H03H 17/02, H04B 1/12. адаптивный режекторный фильтр для подавления нефлуктуационных помех : заявл. 28.11.2024 : опубл. 19.03.2025 / Г. В. Коняшкин, Г. В. Куликов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное

образовательное учреждение высшего образования "МИРЭА - Российский технологический университет". – EDN OEPIPT.
6. *Mitola J.* Software Defined Radio: Architectures, Systems and Functions – Wiley, 2000. – 372 p.
7. *Proakis J.G., Salehi M.* Digital Communications – 5th ed. – McGraw-Hill, 2008. – 1152 p.

DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR PROCESSING AND VISUALIZING LARGE-VOLUME SPECTROSCOPIC DATA

G.V. Konyashkin [1]
[1] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] konyashkin@mirea.ru

Abstract

Problem statement. In modern research related to the analysis of spectroscopic data, it becomes necessary to process and visualize large amounts of information received from spectroanalysts. Traditional data processing methods often prove to be insufficiently effective due to the high workload and complexity of interpreting the results.

Goal. To develop software for converting FSH13 spectrum analyzer data, processing and visualizing it in the form of spectrum graphs, providing high performance and ease of use.

Results. Software has been implemented that allows converting FSH13 spectrum analyzer data, processing it, and plotting the spectrum with the ability to adjust display parameters. The program supports working with large amounts of data and provides high processing speed.

Practical significance. The developed software can be used in scientific and industrial applications for analyzing spectroscopic data, which simplifies the process of interpreting the results and increases the efficiency of research.

Keywords

Spectroscopy, data processing, visualization, FH13, software.

УДК 004.4`2

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПЕРЕДАЧИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПО ЦИФРОВОМУ КАНАЛУ С ПОМЕХАМИ

Г.В. Светлов[1], Б.В. Костров[1], А.А. Вьюгина[2], С.Н. Баранова[3], М.А. Лобачев[4]
[1, 3, 4] - «РПТП «Гранит» (Рязань, Россия)
[2] РГРТУ – Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина (Рязань, Россия)
[2] vyuginaa@mail.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Современные технологии дистанционного зондирования находят широкое применение в различных сферах – от экологического мониторинга до оборонных задач. Однако передача видеоданных часто сопровождается искажениями из-за технических сбоев или внешних помех. Особую сложность представляют групповые ошибки, которые могут повреждать значительные участки данных, делая их восстановление стандартными методами малоэффективным. Актуальной проблемой является сохранение качества передаваемых изображений, подверженных воздействию технических и природных помех.

Цель. Оценить эффективность применения разработанного программного комплекса, включающего этапы предварительной обработки изображений (помехоустойчивое кодирование методом Рида-Соломона), моделирования зашумленного канала связи и постобработки принятых данных (алгоритмами восстановления анализа соседних бит и восстановления по тренду) к изображениям, представленных в виде битовых плоскостей и оптимизацию вычислительных процессов за счет параллелизации операций.

Результаты. Проведена оценка эффективности работы программного комплекса, который включает в себя: преобразование изображений в пространственно-спектральное представление и разбиение на битовые плоскости, реализацию помехоустойчивого кодирования методом Рида-Соломона и алгоритмов восстановления. Проведена оценка эффективности распараллеливания, получены численные значения ускорения обработки и подтверждена эффективность системы.

Практическая значимость. Полученный комплекс позволяет оценить применимость в каналах связи с высоким уровнем шумов для повышения надежности передачи изображений.

Ключевые слова

Обработка изображений, помехоустойчивое кодирование, параллельные вычисления, программный комплекс.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Анализ и обработка изображений играют ключевую роль в системах дистанционного мониторинга и цифровой связи. Особую актуальность приобретает задача передачи графических данных с последующим восстановлением их к приближенному исходному качеству.

Проблема коррекции искажений, возникающих при передаче изображений по зашумленным каналам, усложняется разнообразием типов помех – от групповых ошибок до случайных битовых искажений. Эффективным решением становится разработка программного комплекса, в котором будет применен комбинированный подход, сочетающий этап помехоустойчивого кодирования битовых плоскостей пространственно-спектрального изображения, моделирование помех и этап восстановления искажений.

Ц е л ь р а б о т ы – оценить эффективность применения разработанного программного комплекса, включающего этапы предварительной обработки изображений (помехоустойчивое кодирование методом Рида-Соломона), моделирования зашумленного канала связи и постобработки принятых данных (алгоритмами восстановления анализа соседних бит и восстановления по тренду) к изображениям, представленных в виде битовых плоскостей и оптимизацию вычислительных процессов за счет параллелизации операций.

Архитектура программного обеспечения

Разработанный программный комплекс, созданный в среде MATLAB, направлен на моделирование процесса передачи графических данных через каналы с помехами. Система решает следующие задачи:

1. Преобразование изображения в векторную форму с использованием битовых плоскостей в пространственно-спектральной области.
2. Применение корректирующих кодов для защиты отдельных битовых слоев.
3. Имитация различных типов шумов в канале передачи.
4. Декодирование принятого сигнала с исправлением ошибок.
5. Восстановление поврежденных данных с помощью специальных алгоритмов.
6. Обратное преобразование в визуальный формат.

Программный комплекс имеет модульную структуру, где каждый блок выполняет определенную функцию. Это позволяет гибко настраивать систему под конкретные требования к скорости и качеству обработки [1].

Структура программного комплекса моделирования процесса передачи изображений по цифровому каналу с помехами представлена на рисунке 1.

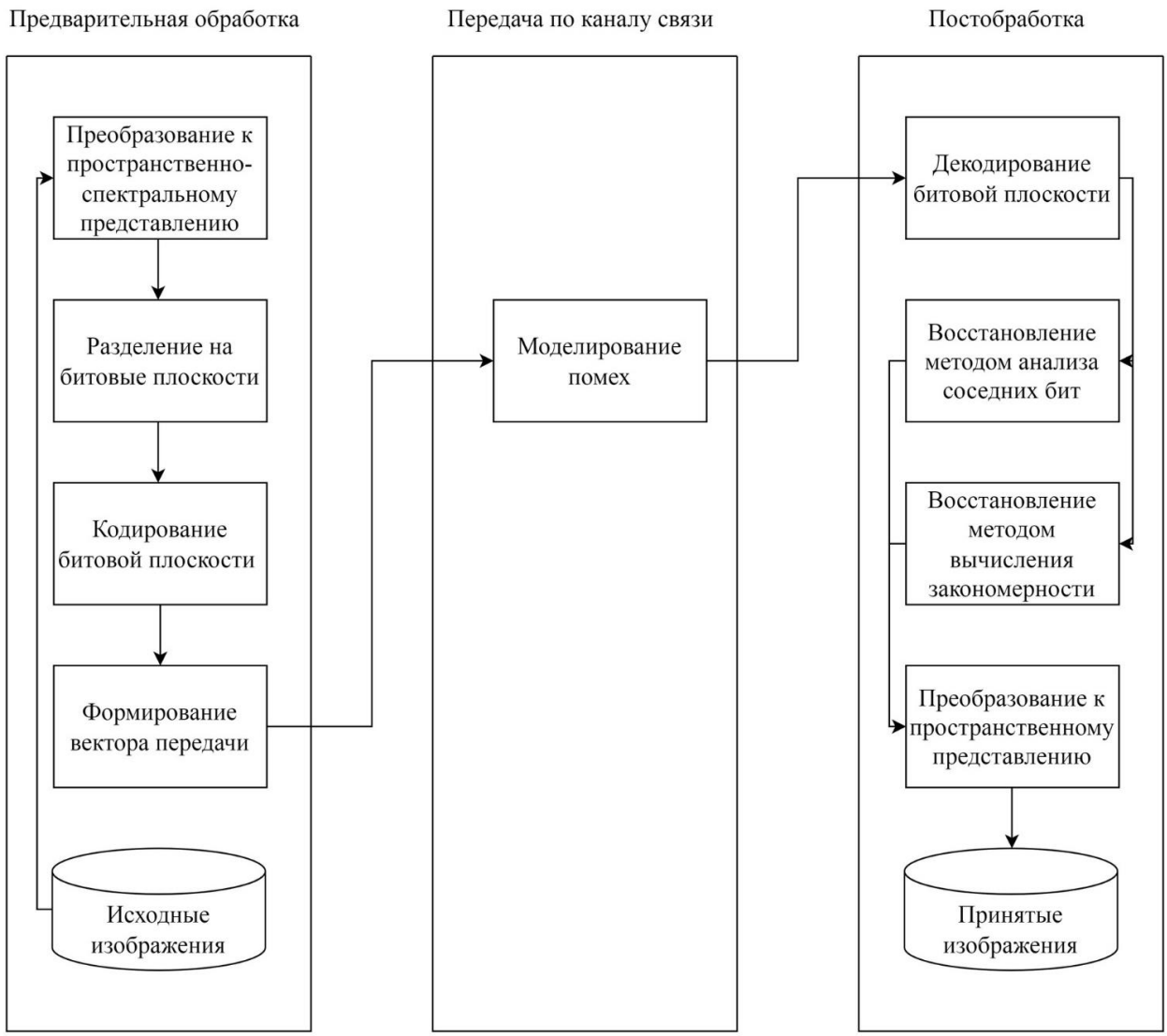


Рис. 1. Структура программного комплекса
Fig. 1. Structure of the software package

Этап предварительной обработки

На этапе предварительной подготовки исходное изображение преобразуется в пространственно-спектральное представление с использованием преобразования Уолша [2]. Для оптимизации вычислений исходная матрица разбивается на блоки 32×32 пикселя.

$$\boldsymbol{G} = \begin{pmatrix} \boldsymbol{G}_{1,1} & \cdots & \boldsymbol{G}_{1,\frac{N}{n}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \boldsymbol{G}_{\frac{N}{n},1} & \cdots & \boldsymbol{G}_{\frac{N}{n},\frac{N}{n}} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где **G** – матрица в пространственном представлении, $\mathbf{G}_{i,j}$ – подматрица размером 32x32, N – количество пикселей, n – количество блоков 32x32.

Каждый блок обрабатывается отдельно по формуле:

$$\boldsymbol{F_{ij}} = \frac{1}{N}\boldsymbol{H^w G_{ij}}, \quad (2)$$

где $\mathbf{F}_{i,j}$ – подматрица в пространственно-спектральном представлении размером 32x32, $\mathbf{G}_{i,j}$ – подматрица в пространственном представлении размером 32x32, N – количество пикселей, $\boldsymbol{H^w}$ - матрица Адамара $N \times N$, упорядоченная по Уолшу.

Алгоритм преобразования изображений в градациях серого в пространственно-спектральное представление показан на рисунке 2.

Далее выполняется разделение на битовые плоскости. Каждый элемент матрицы преобразуется в 8-битное представление (3), после чего формируются отдельные матрицы для каждого битового слоя [3].

$$F_{(N\times(N*8))2} = \begin{pmatrix} b^7_{1,1}b^6_{1,1}b^5_{1,1}b^4_{1,1}b^3_{1,1}b^2_{1,1}b^1_{1,1}b^0_{1,1} & \cdots & b^7_{1,N}b^6_{1,N}b^5_{1,N}b^4_{1,N}b^3_{1,N}b^2_{1,N}b^1_{1,N}b^0_{1,N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b^7_{N,1}b^6_{N,1}b^5_{N,1}b^4_{N,1}b^3_{N,1}b^2_{N,1}b^1_{N,1}b^0_{N,1} & \cdots & b^7_{N,N}b^6_{N,N}b^5_{N,N}b^4_{N,N}b^3_{N,N}b^2_{N,N}b^1_{N,N}b^0_{N,N} \end{pmatrix} \quad (3)$$

где $\mathbf{F}_{(N\times(N*8))\,2}$ – матрица значений спектра в двоичном коде, $N\times N$ – размер матрицы спектра, $b^k_{i.j}$ – значение разряда k двоичного числа элемента (i,j), k – разряд двоичного числа, $k = \overline{0,7}$, (i,j) – индексы положения пикселя в матрице изображения, $i = \overline{1,N}; j = \overline{1,N}$.

На рисунке 3 представлен алгоритм разделения изображения на битовые слои. В процессе обработки сначала извлекается бит знака, после чего оставшаяся часть числовых значений переводится в абсолютную величину (прямой код).

На предварительном этапе для кодирования битовой плоскости вычисляется порождающий полином, далее к столбцу добавляются проверочные символы, которые появляются путем получения остатка деления вектора-столбца на порождающий полином в полях Галуа [4]. Алгоритм кодирования битовой плоскости кодом Рида – Соломона представлен на рисунке 4.



Рис. 2. Алгоритм преобразования к пространственно-спектральному представлению
Fig. 2. Algorithm of conversion to spatial-spectral representation



Рис. 3. Алгоритм разбиения на битовые плоскости
Fig. 3. Bit-plane partitioning algorithm

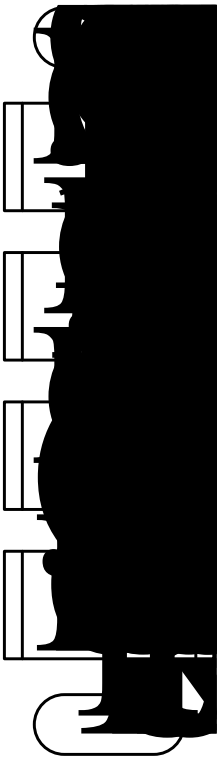


Рис. 4. Кодирование битовой плоскости кодом Рида – Соломона
Fig. 4. Bit-plane coding by Reed-Solomon code

Моделирование канала с помехами

Разработанная система предусматривает комплексное моделирование различных видов искажений, возникающих при передаче цифровых изображений [5]. В процессе тестирования программного комплекса были реализованы три основных категории помех, каждая из которых обладает следующими характеристиками воздействия на передаваемые данные:

1. Инверсная (одиночная) ошибка – случайное изменение значений битов на противоположное значение с вероятностью, задаваемой в параметрах модели. Данный тип помех приводит к точечным искажениям в битовых плоскостях.

$$\widehat{\boldsymbol{V}} = \begin{cases} \boldsymbol{b_i} \text{ для последовательности } \boldsymbol{n} \text{ с вероятностью } \boldsymbol{1-P} \\ \overline{\boldsymbol{b_i}} \text{ для последовательности } \boldsymbol{n} \text{ с вероятностью } \boldsymbol{P} \end{cases}, \quad (4)$$

где $\hat{V}$ – искаженный вектор передачи, b_i – значение элемента i вектора, i – индекс положения элемента в векторе, n – количество подряд идущих элементов, P – вероятность искажения элемента, $0 \leq P \leq 1$.

3. Потерянные биты (ПБ) – имитация ситуаций, когда отдельные участки передаваемой информации не достигают приемника. Проявляется в виде блоков поврежденных пикселей на восстановленном изображении.

$$\hat{\boldsymbol{V}} = \begin{cases} \boldsymbol{b_i} \text{ для последовательности } \boldsymbol{n} \text{ с вероятностью } \boldsymbol{1-P} \\ \boldsymbol{0} \text{ для последовательности } \boldsymbol{n} \text{ с вероятностью } \boldsymbol{P} \end{cases}, \quad (5)$$

где $\hat{V}$ – искаженный вектор передачи, b_i – значение элемента i вектора, i – индекс положения элемента в векторе, n – количество подряд идущих элементов, P – вероятность искажения элемента, $0 \leq P \leq 1$.

3. Комбинированная ошибка – сочетание первых двух типов.

$$\hat{\boldsymbol{V}} = \begin{cases} \boldsymbol{b_i} \text{ для последовательности } \boldsymbol{n} \text{ с вероятностью } \boldsymbol{1-P} \\ \boldsymbol{e} \text{ для последовательности } \boldsymbol{n} \text{ с вероятностью } \boldsymbol{P} \end{cases}, \quad (6)$$

где $\hat{V}$ – искаженный вектор передачи, b_i – значение элемента i вектора, i – индекс положения элемента в векторе, n – количество подряд идущих элементов, e – бинарное значение (0, 1), которое периодически изменяется, P – вероятность искажения элемента, $0 \leq P \leq 1$.

На рисунках 5-8 представлено влияние всех видов помех на битовые плоскости.

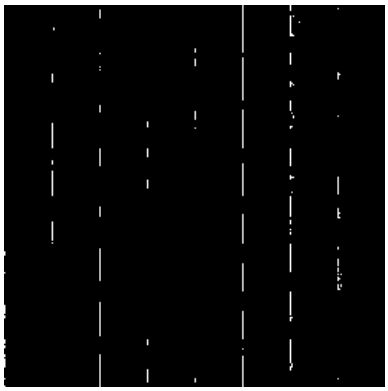


Рис. 5. Исходная битовая плоскость 6-го разряда
Fig. 5. Initial bitplane of the 6th digit

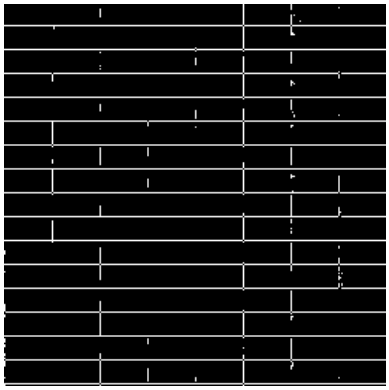


Рис. 6. Битовая плоскость 6-го разряда с ошибкой типа ИО
Fig. 6. Bit plane of 6th digit with error of IO type

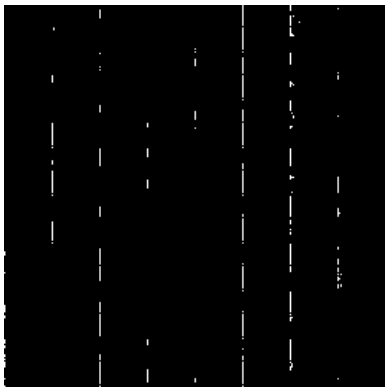


Рис. 7. Битовая плоскость 6-го разряда с ошибкой типа ПБ
Fig. 7. Bit plane of 6th bit with error of PB type

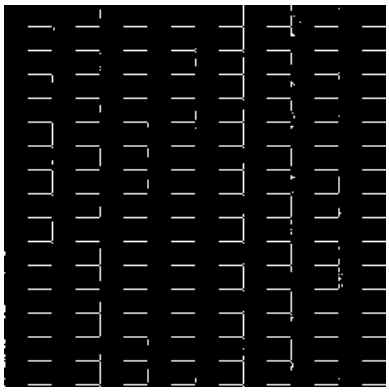


Рис. 8. Битовая плоскость 6-го разряда с ошибкой типа КО
Fig. 8. Bit plane of 6th digit with error type KO

Этап постобработки изображений

После прохождения сигнала через смоделированный канал с помехами осуществляется преобразование искаженного вектора данных в исходное пространственное представление изображения [6]. Этот процесс включает несколько последовательных этапов обработки:

1. Декомпозиция битовых последовательностей

Первоначальный этап предполагает разделение принятого цифрового потока на отдельные битовые слои. Формируются матричные структуры размерностью M×N, где дополнительно учитываются контрольные биты, внедренные при кодировании по методу Рида-Соломона. Особенность преобразования заключается в необходимости перевода бинарных данных каждого слоя в десятичную систему счисления с построчной организацией информации.

2. Процедура декодирования

Для каждого битового слоя выполняется комплекс операций по выявлению и исправлению ошибок: анализ синдромных характеристик принятых блоков данных [7], при нулевом значении синдрома подтверждается отсутствие искажений. В случае обнаружения ошибок последовательно применяются: формирование полинома ошибок (алгоритм Берлекэмпа-Мэсси), вычисление корневых значений (метод Ченя), коррекция ошибочных элементов (процедура Форни) [8], восстановление целостности данных.

3. Алгоритмы восстановления

После выполнения процедуры декодирования в системе имеется 8 матричных структур, соответствующих различным битовым уровням изображения. Эти матрицы полностью соответствуют по размерности исходному графическому файлу. Настоящий этап обработки предполагает устранение остаточных дефектов, которые не были скорректированы на предыдущих стадиях помехозащитного кодирования. Подобные артефакты возникают при работе в условиях сильных помех, когда количество ошибок превосходит корректирующие возможности используемых алгоритмов кодирования.

Алгоритм анализа соседних бит содержит следующие операции [9]:

1. Выделение локальной области размером 3×3 пикселей.

2. Проведение диагностики целостности данных: обнаружение аномальных значений и исследование пространственных взаимосвязей.

3. Принятие решения о необходимости коррекции центрального элемента.

4. Модификация проблемного значения на основе выявленных закономерностей.

Выражение описывает изменение бита на битовой плоскости при методе анализа соседних бит. Данное выражение адаптировано для использования в программном комплексе: поиск характерных особенностей сводится к вычислению суммы бит значения «0» или «1» и сравнению этих значений:

$$b'_{i,j} == \begin{cases} 1, \text{если } b_{i,j-1} = 0 \text{ и } b_{i,j+1} = 0 \text{ и } sum(i-1{:}\,i+1, j-1{:}\,j+1) > 3, \\ 0, \text{если } b_{i,j-1} = 1 \text{ и } b_{i,j+1} = 1 \text{ и } sum(i-1{:}\,i+1, j-1{:}\,j+1) = 0, \end{cases} \quad (7)$$

где i,j – расположение бита, $b'_{i,j}$ – новое значение бита.

В случае пространственно-спектрального представления применяется прямоугольная область 3×2, что обусловлено убыванием спектральных коэффициентов.

Структурная схема алгоритма восстановления анализа соседних бит на битовой плоскости представлена на рисунке 9-10.

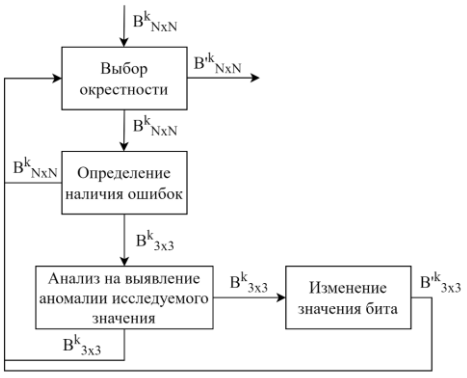


Рис. 9. Схема метода анализа соседних бит на битовой плоскости

Fig. 9. Scheme of the method of analyzing adjacent bits on the bit plane

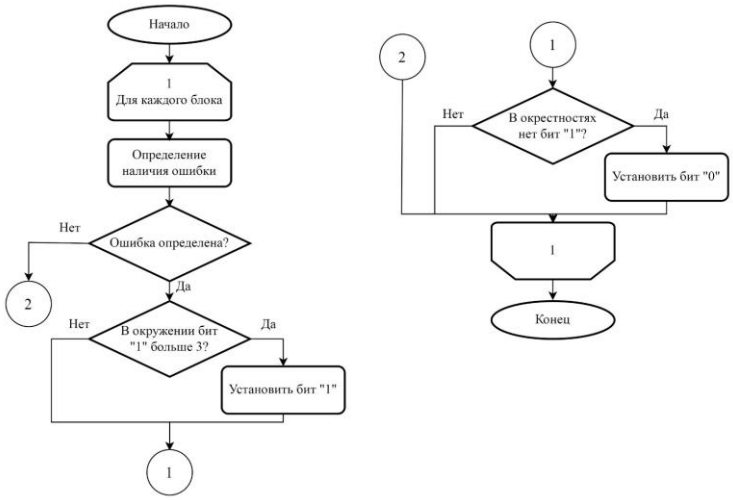


Рис. 10. Алгоритм восстановления алгоритмом анализа соседних бит

Fig. 10. Recovery algorithm by neighboring bit analysis algorithm

Алгоритм восстановления по тренду

Альтернативный подход к восстановлению целостности передаваемых данных основан на корректировке битовых значений с учетом статистических характеристик соседних элементов [10]. Основой алгоритма служит модель, описывающая взаимосвязь между текущим значением и его соседями в матричном представлении данных.

Механизм обработки заключается в анализе значений смежных элементов (вертикальных соседей), производится расчет статистических зависимостей и принимается решение о необходимости модификации бита при необходимости.

Выражение задается для пространственно-спектрального представления, в котором в окрестность соседей берется только верхний и нижний элемент относительно исследуемого:

$$trend = \frac{f_{(i,j)}}{\frac{(f_{(i-1,j)} + f_{(i+1,j)})}{2}}, \quad (8)$$

где f – значение спектра в десятичном представлении, (i,j) – индексы нахождения элемента в матрице спектра.

Отношение значения к среднему арифметическому не позволяет сделать однозначный вывод без сравнения с вычисленной закономерностью при измененном разряде исследуемого числа. Выражение (9) описывает условия изменения разряда на битовой плоскости методом вычисления закономерностей соседних значений:

$$b'_{i,j} = \begin{cases} b_{i,j}, \text{если } 1 < trend < trend', \\ \overline{b_{i,j}}, \text{если } 1 < trend' < trend, \end{cases} \quad (9)$$

где i,j – расположение бита, $b'_{i,j}$ – новое значение бита, $trend$ – вычисленная закономерность для исходных данных, $trend'$ - вычисленная закономерность при измененном разряде.

Принцип работы алгоритма:

Входными параметрами являются матрица бинарных значений корректируемого битового слоя и матрица спектральных коэффициентов в десятичном формате.

Структурная схема алгоритма восстановления алгоритма вычисления закономерностей соседних значений представлена на рисунке 11-12.

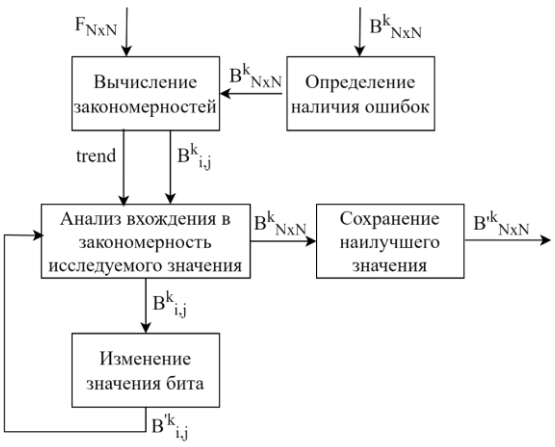


Рис. 11. Структурная схема алгоритма вычисления закономерностей соседних значений
Fig. 11. Structural diagram of the algorithm for calculating the patterns of neighboring values

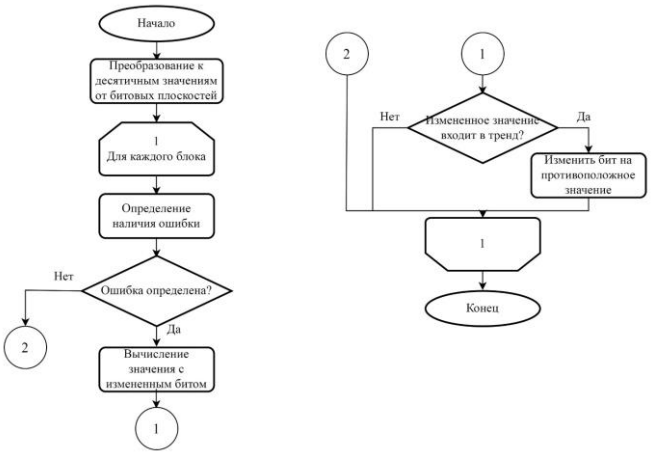


Рис. 12. Алгоритм восстановления методом вычисления закономерностей соседних значений
Fig. 12. Recovery algorithm by calculating the patterns of neighboring values

После завершения процедур декодирования и коррекции система переходит к финальному этапу обработки - преобразованию 8 бинарных матриц в пространственное представление изображения.

Завершающей стадией обработки принятого сигнала является обратное преобразование из частотного в пространственное представление. Данная процедура выполняется с использованием аппарата функций Уолша и специально структурированной матрицы Адамара.

Входные данными является матрица спектральных коэффициентов в десятичном формате, параметры блочного разбиения (32×32 элемента)

Процедура обработки заключается в разделение входной матрицы на блоки 32×32 элемента, применение обратного преобразования Уолша к каждому блоку и объединение результатов в единую матрицу пространственного представления изображений.

Оптимизация вычисления

Реализация предложенной модели передачи изображений требует значительных вычислительных ресурсов, особенно на этапах пред- и постобработки данных. Наибольшая нагрузка возникает при выполнении операций кодирования и восстановления данных в пространственно-спектральном представлении [11]. Для повышения эффективности системы были применены методы параллельных вычислений, позволяющие существенно сократить время обработки. Оптимизацию вычислений можно достигнуть с использованием многоядерных CPU или задействованием GPU.

Параллельный подход для этапа предварительной обработки заключается в одновременном преобразовании нескольких блоков изображения и параллельном кодировании различных битовых плоскостей, за счет чего происходит ускорение формирования передаваемого вектора передачи. Для этапа постобработки – независимое декодирование битовых слоев и параллельное выполнение алгоритмов восстановления.

Результаты тестирования

Практическая апробация разработанного программного комплекса проводилась согласно поэтапной схеме обработки [12-13], представленной на рисунке 1. Для тестирования были выбраны спутниковые снимки земной поверхности различных типов, что позволило оценить эффективность системы на разнородных визуальных данных

Программный комплекс был протестирован на наборе ландшафтных изображений. На рисунке 13 представлено тестовое изображение. При 5%-ном уровне ошибки типа «Инверсная ошибка» (рисунок 13) среднеквадратическое отклонение (СКО) между исходным и восстановленным (рисунок 14) изображением составило 2.13. На рисунке 16 представлено изображение с помехами типа «Потерянные биты», на рисунке 17 – восстановленное изображение. Влияние типа ошибки «Комбинированная ошибка» на исходное изображение представлено на рисунке 18, на рисунке 19 – результат восстановления. Время обработки изображения 1280 Кб сократилось с 14.52 до 1.36 секунд при использовании GPU. Программный комплекс эффективно исправляет как случайные, так и групповые ошибки. Качество восстановления подтверждается визуальным анализом и метриками.

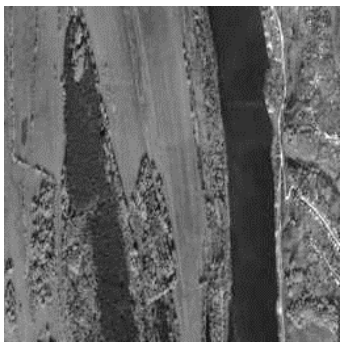


Рис. 13. Тестовое изображение - исходное изображение
Fig. 13. Test image - original image

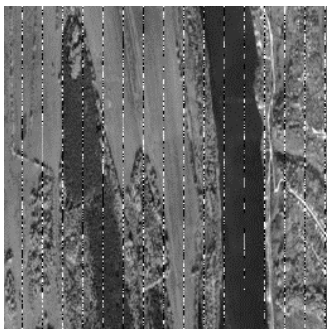


Рис. 14. Изображение с ошибкой типа ИО (СКО = 17.21)
Fig. 14. Image with EI type error (RMS = 17.21)

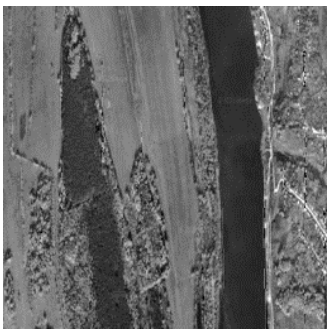


Рис. 15. Восстановленное изображение (СКО = 2.13)
Fig. 15. Reconstructed image (RMS = 2.13)

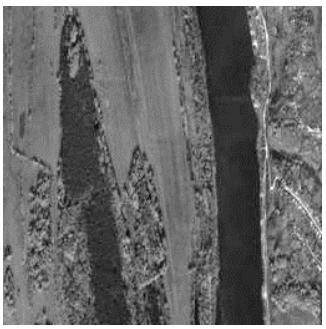


Рис. 13. Тестовое изображение - исходное изображение
Fig. 13. Test image - original image

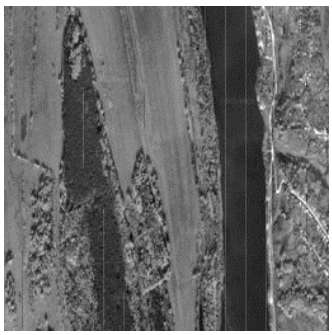


Рис. 16. Изображение с ошибкой типа ПБ (СКО = 2.45)
Fig. 16. PB-type error image (RMS = 2.45)

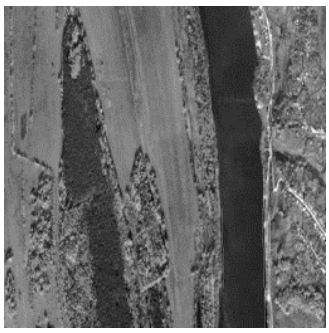


Рис. 17. Восстановленное изображение (СКО = 1.87)
Fig. 17. Reconstructed image (RMS = 1.87)

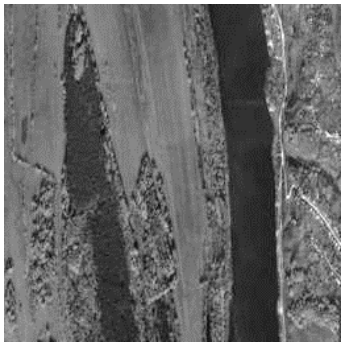


Рис. 13. Тестовое изображение - исходное изображение
Fig. 13. Test image - original image

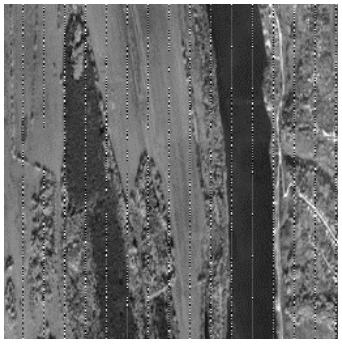


Рис. 17. Изображение с ошибкой типа КО (СКО = 13.13)
Fig. 17. Image with QR type error (RMS = 13.13)

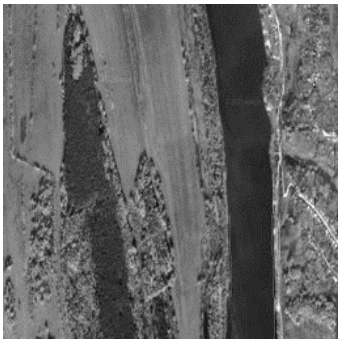


Рис. 18. Восстановленное изображение (СКО = 2.01)
Fig. 18. Reconstructed image (RMS = 2.01)

Результаты количественной оценки показывают незначительное расхождение между исходными и восстановленными данными по критерию среднеквадратического отклонения (СКО). Однако проведенные эксперименты выявили важную особенность: при отключении любого из модулей постобработки наблюдается существенное ухудшение показателя СКО. Особенно критичным это становится при воздействии помех на начальные участки передаваемого вектора, содержащие старшие битовые разряды спектральных компонентов.

Заключение

В ходе проведенного исследования был разработан и протестирован программный комплекс, направленный на повышение качества передачи изображений в условиях зашумленных каналов связи. Основной акцент был сделан на комбинированный подход, включающий помехоустойчивое кодирование методом Рида-Соломона, моделирование различных типов помех и применение алгоритмов восстановления данных. Результаты тестирования показали, что система эффективно справляется с коррекцией как случайных, так и групповых ошибок, обеспечивая высокую точность восстановления изображений. Оптимизация вычислительных процессов за счет параллелизации позволила значительно сократить время обработки, что подтверждает практическую применимость системы в реальных условиях. Разработанный комплекс демонстрирует устойчивость к воздействию помех и может быть использован в задачах дистанционного зондирования, цифровой связи и других областях, где требуется надежная передача графических данных.

Список источников

1. *Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С.* Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. М.: Техносфера, 2006. 616 с.

2. *Ахмед Н., Рао К. Р.* Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов / под ред. И. Б. Фоменко. М.: Связь, 1980. 248 с.
3. *Гринченко Н.Н., Баранова С.Н., Лобачев М.А., Вьюгина А.А.* Математическая модель процесса передачи изображений на основе битовых плоскостей. Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей». 2023;(1):82-89. https://doi.org/10.38013/2542-0542-2023-1-82-89.
4. *Золотарев В.В., Овечкин Г.В*. Помехоустойчивое кодирование. Методы и алгоритмы. Справочник. – М.: Горячая линия. – Телеком, 2004. – 126 с.
5. *Костров Б.В.* Основы цифровой передачи и кодирования информации. – М.: ДЕСС, 2007. – 192 с.
6. *Костров, Б.В., Вьюгина А.А., Баранова С.Н.* Метод устранения искажений на изображениях, представленных в виде битовых плоскостей // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12, № 3(63). – С. 93-99.
7. *Фано, Р.* Статистическая теория связи [Текст] / Р.Фано: пер. с англ. – М.: Мир, 1965. – 375 с.
8. *Форни, Д.* Каскадные коды [Текст] / Д.Форни: пер. с англ. под ред. С.И. Самойленко.. – М.: Мир, 1970. – 207 с.
9. *Вьюгина А.А., Баранова С.Н.* Сравнительный анализ влияния групповых и одиночных помех на вектор передачи, сформированный по принципу битовых плоскостей // Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2023. Сборник трудов VI Международного научно-технического форума. Рязань, 2023, с. 122-126.
10. *Костров, Б.В., Баранчиков А.И., Гринченко Н.Н., Вьюгина А.А., Баранова С.Н.* Анализ эффективности методов восстановления групповых искажений на битовых плоскостях // Вестник РГРТУ. 2023. No 85 / Vestnik of RSREU. 2023. No 85. – С.139-148.
11. *B. V. Kostrov, S. N. Baranova, A. A. Vyugina [et al.*] // Methods and means of image processing for transmission in spectral representation / // International Research Journal. – 2024. – No. 8(146). – DOI 10.60797/IRJ.2024.146.35.
12. Программа преобразования изображения к битовым плоскостям. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023669006 / Костров Б.В., Гринченко Н.Н., Баранова С.Н., Вьюгина А.А. // Федеральная служба по интеллектуальной собственности. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 06.09.2023 г.
13. Программа для восстановления битов изображения с использованием окрестных пикселей на основе тренда. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023668792 / Костров Б.В., Гринченко Н.Н., Баранова С.Н., Вьюгина А.А. // Федеральная служба по интеллектуальной собственности. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 04.09.2023 г.

SOFTWARE PACKAGE FOR MODELING THE PROCESS OF IMAGE TRANSMISSION

G.V. Svetlov[1], B.V. Kostrov[1], A.A. Vyugina[2], S.N. Baranova[3], M.A. Lobachev[4]
[1, 3, 4] «RPTP «Granit» (Ryazan, Russia)
[2] RGRTU - Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin (Ryazan, Russia)
[2] vyuginaa@mail.ru

Abstract

Problem Statement. Modern remote sensing technologies are widely used in various spheres - from environmental monitoring to defense tasks. However, video data transmission is often accompanied by distortions due to technical failures or external interference. Group errors are a particular challenge, which can corrupt significant sections of data, making their recovery by standard methods ineffective. The actual problem is to preserve the quality of transmitted images exposed to technical and natural interferences.

Objective. To evaluate the efficiency of application of the developed software complex including the stages of image preprocessing (noise-resistant coding by Reed-Solomon method), modeling of the noisy communication channel and post-processing of the received data (by algorithms of neighboring bit analysis and trend recovery) to the images represented as bit planes and optimization of computational processes due to parallelization of operations.

Results. The efficiency of the program complex, which includes: image transformation into spatial-frequency representation and partitioning into bit planes, implementation of noise-resistant coding by Reed-Solomon method and recovery algorithms, has been evaluated. The efficiency of parallelization is evaluated, numerical values of processing acceleration are obtained and the efficiency of the system is confirmed.

Practical significance. The resulting package allows us to assess the applicability in communication channels with a high noise level to improve the reliability of image transmission.

Keywords

Image processing, noise-tolerant coding, parallel computing, software package.

УДК 621.372.822

ИЗГОТОВЛЕНИЕ КРИВОЛИНЕЙНЫХ УЧАСТКОВ ВОЛНОВОДОВ ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ НА ТРУБОГИБОЧНОМ СТАНКЕ МЕТОДОМ НАМОТКИ

И.В. Кудрявцев[1], **А.Е. Митяев**[2], **А.В. Колотов**[3], **Е.В. Патраев**[4], **А.А. Гришин**[5]
[1–3]ФГАОУ ВО Сибирский федеральный университет (Красноярск, Россия)
[4,5]АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва» (Железногорск, Россия)
[1]ikudryavcev@sfu-kras.ru, [2]amityayev@sfu-kras.ru, [3]akolotov@sfu-kras.ru, [4]evpatraev@iss-reshetnev.ru, [5]grishinaa@iss-reshetnev.ru

Аннотация

Постановка проблемы. В настоящее время при изготовлении криволинейных участков волноводов прямоугольного поперечного сечения используется гибка в штампах, перед которой заготовка заполняется пакетом из пластин для обеспечения геометрии сечения. Такой метод неэффективен поскольку требует большого ассортимента оснастки, затратен по времени и не позволяет за один проход создать несколько криволинейных участков в разных плоскостях на одном волноводе. В результате для создания пространственно-изогнутого волновода требуется соединять отдельные криволинейные участки с помощью соединительных муфт или фланцев, которые увеличивают массу и габариты изделия.

Цель. Разработать технологию гибки методом намотки на трубогибочном станке и сопровождающее расчетно-аналитическое обеспечение для изготовления криволинейных волноводов прямоугольного поперечного сечения, которые бы позволяли на одном волноводе изготавливать любое число криволинейных участков в двух плоскостях за один проход.

Результаты. В соответствии с условиями нагружения волновода созданы математические модели, которые позволяют оценивать его напряженно-деформированное состояние и устойчивость формы поперечного сечения при гибе. С использованием данных моделей, разработаны методики расчета и создана программа на ЭВМ, позволяющие обосновывать минимальные значения радиусов гиба, параметры оснастки и технологические режимы гиба волноводов. На основе полученных результатов изготовлена оснастка для гиба волноводов двух типоразмеров, выполнена многократная гибка волноводов в двух плоскостях, проверены электрические параметры полученных изделий, которые показали полное соответствие всем предъявляемым требованиям.

Практическая значимость. Полученные результаты позволяют изготавливать много изогнутые пространственные волноводы прямоугольного поперечного сечения за один проход, что позволяет снизить стоимость и трудоемкость, увеличить скорость изготовления, уменьшить массогабаритные параметры за счет отсутствия промежуточных соединений в виде муфт и фланцев.

Ключевые слова

Космический аппарат, волновод, прямоугольное поперечное сечение, гиб намоткой, станок, метод расчета.

Благодарность

Работа выполнена в рамках проекта №2023083109804 «Расчетно-аналитическое сопровождение процесса автоматизированного изготовления криволинейных волноводов для антенно-фидерных устройств космических аппаратов связи» поддержанного Красноярским краевым фондом науки и АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва».

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

СВЧ-устройства космического аппарата в своем составе содержат большое число волноводов, по которым передается электромагнитный сигнал [1]. К волноводам предъявляются высокие требования по электрическим параметрам (КСВ, затухание, мощность и др.), которые во многом определяются механическими данными: толщина стенки, прогибы, отклонения размеров внутреннего канала трубы и его шероховатость и др. Необходимость выполнения данных механических требований при изготовлении криволинейных участков волновода привели к тому, что наиболее распространенным способом их изготовления в настоящее время является гиб штампах с заполнением внутренней поверхности специальными листами, что обеспечивает высокие требования по точности получаемой геометрии

изогнутого участка. Однако такой метод является неэффективным с точки зрения временных затрат, трудоемкости, невозможности автоматизации, так как он обычно позволяет выполнять только один гиб за один проход и только в одной плоскости. Из-за невозможности получения многократного изгиба заготовки, волновод приходится делать составным, деля его на участки, которые соединяются с помощью соединительных муфт и фланцев. Дополнительные элементы требуют применения паяных, сварных операций и болтовых соединений, которые увеличивают габариты и массу волновода, а также создают сложности в обеспечении электрического контакта и герметичности готового изделия (рис. 1).



Рис. 1. Волновод с фланцевыми соединениями
Fig. 1. Waveguide with flanged connections

В настоящее время наиболее эффективным методом гиба [2-5] на автоматизированных станках является способ гибки намоткой (rotary draw bending), который позволяет обеспечить высокое качество гиба круглых труб за счет использования специальной оснастки, контролирующей процесс пластического течения материала заготовки: ведущий и следящий прижимы, дорн, складкодержатель, бустер. Использование такого подхода к гибке труб прямоугольного поперечного сечения (волноводов), однако, как правило наталкивается на получение брака в виде недопустимых прогибов стенок (рис. 2), потери устойчивости (рис. 3), чрезмерного утонения наружной стенки вплоть до ее разрыва, ухудшения шероховатости, наличия царапин и задиров материала стенок на ее внутренней поверхности от дорна.

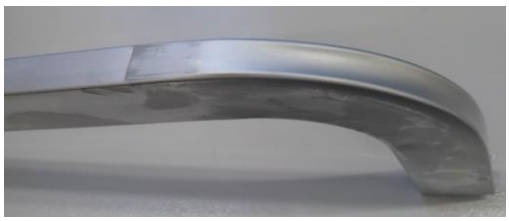


Рис. 2. Прогиб наружной стенки трубы
Fig. 2. Pipe outer wall deflection



Рис. 3. Потеря устойчивости труб
Fig. 3. Pipes buckling

Решение данной проблемы требует комплексного подхода, который включает:

- методы расчета напряженно-деформированного состояния волноводной трубы в процессе гиба с обеспечением ее прочности, устойчивости и оценкой прогибов стенок;
- разработка специальной оснастки, которая должна соответствующим образом направлять материал стенок трубы в процессе пластического течения и позволять выполнять гиб в двух плоскостях без проведения дополнительных технологических операций;
- обоснование использования материалов и покрытий для оснастки, отработка технологических режимов гиба и выбор смазочного вещества.

Каждый из указанных выше аспектов имеет существенное влияние как на процесс гиба, так и на качество получаемого изделия, поэтому решение представляет собой комплексную техническую задачу.

Цель работы – разработать технологию гибки методом намотки на трубогибочном станке и сопровождающее расчетно-аналитическое обеспечение для изготовления криволинейных

волноводов прямоугольного поперечного сечения, которые бы позволяли на одном волноводе изготавливать заданное число гибов в двух плоскостях за один проход.

Математическое моделирование НДС волновода при гибе

На рисунках 4 и 5 схематично показан процесс гиба волноводов прямоугольного поперечного сечения на станке методом намотки на гибочную головку (рис. 4) с точки зрения внешних воздействий и возникающего напряженно-деформированного состояния (НДС). Волновод закрепляется в системе заднего прижима (рис. 4), состоящего из заднего прижима, складкодержателя и дорна таким образом, чтобы мог двигаться только в направлении свой оси для подачи на гибочную головку. Передняя часть волновода жестко прижимается ведущим прижимом к гибочной головке и в процессе ее вращения он наматывается на нее радиусом $R_г$, при этом изогнутая часть волновода изменяет толщины стенок в соответствии с действующими напряжениями, как показано на рис.5.

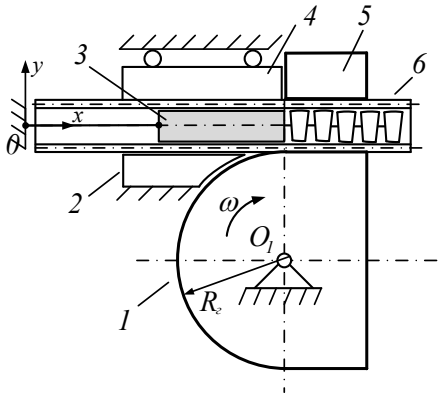


Рис. 4. Начальное положение волновода
1 – гибочная головка; 2 – складкодержатель; 3 – дорн;
4 – следящий прижим; 5 – ведущий прижим;
6 – волновод

Fig. 4. Waveguide initial position
1 - bending die; 2 – wiper die; 3 - mandrel;
4 – pressure die; 5 – clamp die; 6 - waveguide

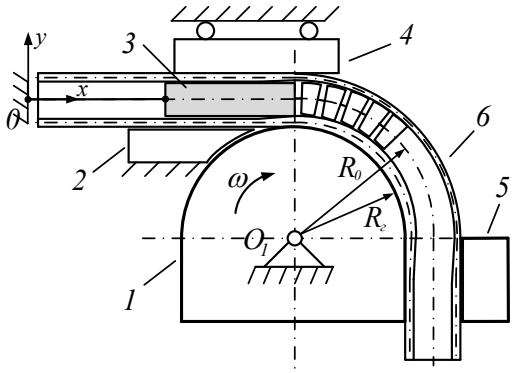


Рис. 5. Процесса гиба волновода
1 – гибочная головка; 2 – складкодержатель; 3 – дорн;
4 – следящий прижим; 5 – ведущий прижим;
6 – волновод

Fig. 5. Waveguide bending process
1 - bending die; 2 – wiper die; 3 - mandrel;
4 – pressure die; 5 – clamp die; 6 - waveguide

Такой способ гиб имеет следующие особенности, определяющие качество изделия:

- утонение наружной стенки, особенно при малых радиусах гиба, снижает прочность изделия, а также может привести к трещинам и разрыву материала в области растяжения;
- утолщение внутренней стенки может привести к росту сил трения и потере ее устойчивости в виде гофры и браку изделия;
- смещение нейтральной линии, особенно для малых радиусах гиба, при пластическом гибе усиливает неравномерность деформаций наружной и внутренней стенок;
- использование бустера для поджатия или растяжения волноводной трубы требует расчетного обоснования, поскольку, улучшая одни параметры, может ухудшить другие. Например, поджим бустером позволит увеличить требуемую толщину наружной стенки, но будет провоцировать потерю устойчивости внутренней стенки и наоборот.
- для тонкостенных волноводов минимальный радиус гиба в основном ограничен потерей устойчивости сжатой внутренней стенкой, поэтому необходимо разработать методы расчета, позволяющие определять это явление.

Таким образом, имеем многофакторную задачу сбалансированного сочетания требуемых параметров гиба, различных ограничений и возможностей оснастки для получения качественного изделия. Для ее решения необходимо разработать соответствующие методы расчета, а также алгоритмы учета взаимовлияние всех внешних воздействий на заготовку и получения решения. Рассмотрим теоретическое сопровождение процесса гиба волновода в виде решений отдельных задач в соответствии с указанной выше проблематикой.

Геометрический анализ заключается в получении аналитических зависимостей, определяющих деформацию стенок волновода при гибе с учетом смещения нейтральной линии. Значения толщин сжатой и растянутой стенок, ширины и высоты определяются как:

$$t_{\text{сж}} = \sqrt{0{,}1 \cdot {b_0}^2 + \frac{0{,}5 \cdot B_0 \cdot t_0 \cdot R_{\text{нл}}}{R_{\text{г}} + 0{,}5t_0 + 0{,}1(R_{\text{нл}} - R_{\text{г}} - 0{,}5t_0)\left((R_{\text{г}} + 0{,}5t_0)/R_{\text{нл}}\right)^{0{,}2}}} - 0{,}3 \cdot b_0, \quad (1)$$

$$t_{\text{раст}} = \frac{B_0 \cdot t_0 \cdot R_{\text{нл}}}{B_{\text{раст}}\left[R_{\text{г}} + H_0 - 0{,}5t - 0{,}1(R_{\text{г}} + H_0 - 0{,}5t_0 - R_{\text{нл}})\left(R_{\text{нл}}/(R_{\text{г}} + H_0 - 0{,}5t_0)\right)^{0{,}2}\right]}, \quad (2)$$

$$B_{\text{сж}} = 0{,}5b_0 + \sqrt{0{,}3{b_0}^2 + \frac{2 \cdot B_0 \cdot t_0 \cdot R_{\text{нл}}}{R_{\text{г}} + 0{,}5t_0 + 0{,}1(R_{\text{нл}} - R_{\text{г}} - 0{,}5t_0)\left((R_{\text{г}} + 0{,}5t_0)/R_{\text{нл}}\right)^{0{,}2}}}, \quad (3)$$

$$B_{\text{раст}} = 0{,}5b_0 + \sqrt{0{,}3{b_0}^2 + \frac{2 \cdot B_0 \cdot t_0 \cdot R_{\text{нл}}}{R_{\text{г}} + H_0 - 0{,}5t_0 - 0{,}1(R_{\text{г}} + H_0 - 0{,}5t_0 - R_{\text{нл}})\left(R_{\text{нл}}/(R_{\text{г}} + H_0 - 0{,}5t_0)\right)^{0{,}2}}}, \quad (4)$$

$$H_{\text{сж}} = \text{H}_0 - 2t_0 + t_{\text{раст}} + t_{\text{сж}}. \quad (5)$$

Рассмотрим далее расчет смещения бустера для обеспечения толщины наружной стенки. Пусть требуется обеспечить заданную толщину наружной стенки $[t]$, для этого необходимо рассчитать требуемое смещение бустера, которое находится в три этапа:

1) считаем фактическую толщину наружной стенки $t_{раст1}$ при заданных параметрах гиба по формуле (2). Полученное значение толщины стенки $t_{раст1}$ подставляем в уравнение относительно нейтральной линии и находим значение радиуса нейтральной линии $R_{нл1}$.

2) в уравнение нейтральной линии (2) подставляем требуемое значение толщины наружной стенки $[t]$ и находим соответствующий ему радиус нейтральной линии $R_{нл2}$.

3) требуемое смещение бустера будет равно разности этих радиусов:

$$S_b = R_{нл2} - R_{нл1}. \quad (6)$$

Полученное значение смещения бустера определяет, насколько в процессе гиба будет он смещен относительно своего «нулевого» положения, поджимая трубу при гибе. Аналогичный подход будет и для случая обеспечения толщины внутренней стенки. При этом аналитические выражения (1-6) в общем случае не могут быть рассчитаны непосредственно и требуют численного итерационного решения, которое реализовано в созданной программе. Таким образом, геометрический анализ позволяет определять изменение размеров волновода в процессе гиба и учитывает влияние смещение бустера на эти размеры в области гиба.

Прочностной анализ основан на пластической модели материала с нелинейным упрочнением модели материала и учетом геометрически нелинейной логарифмической деформацией. Модель материала нелинейного степенного упрочнения Холломона имеет вид:

$$\sigma = K \cdot \varepsilon^n, \quad (7)$$

где n – показатель упрочнения, K – модуль упрочнения.

При анализе НДС волновода выделяются и рассчитываются отдельные пластины, поскольку они имеют свои, специфические условия работы, как показано на рисунке 6.

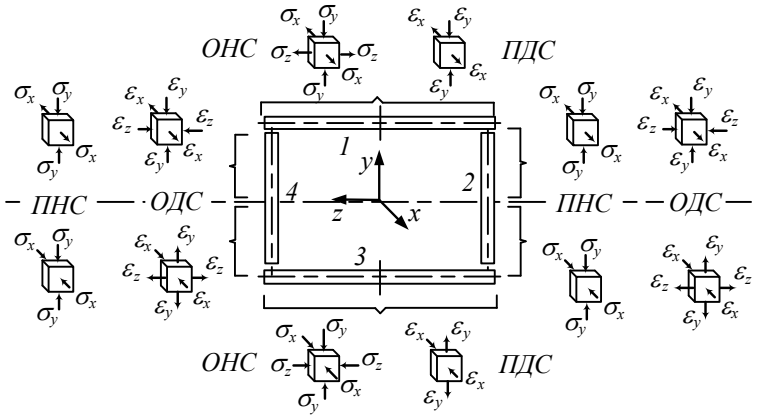


Рис. 6. Особенности напряженного и деформированного состояний волновода
Fig. 6. Features of waveguide stressed and deformed states

Рассмотрим наиболее критичную при гибе с точки зрения прочности наружную пластинку 1, ее объемное напряженное состояние определяется по зависимостям:

$$\sigma_{x1} = \left(\frac{2}{\sqrt{3}}\right)^{n+1} \cdot K \left\{ \frac{1}{n+1} \cdot \left[\left(ln \frac{\rho}{R_{нл}} \right)^{n+1} - \left(ln \frac{R_н}{R_{нл}} \right)^{n+1} \right] + \left(ln \frac{\rho}{R_{нл}} \right)^{n} \right\} + \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \sigma_{P_б} \tag{8}$$

$$\sigma_{y1} = \left(\frac{2}{\sqrt{3}}\right)^{n+1} \cdot \left(\frac{K}{n+1}\right) \cdot \left[\left(ln \frac{\rho}{R_{нл}} \right)^{n+1} - \left(ln \frac{R_н}{R_{нл}} \right)^{n+1} \right] \tag{9}$$

$$\sigma_{z1} = \left(\frac{2}{\sqrt{3}}\right)^{n+1} \cdot \frac{K}{2} \left\{ \frac{2}{n+1} \cdot \left[\left(ln \frac{\rho}{R_{нл}} \right)^{n+1} - \left(ln \frac{R_н}{R_{нл}} \right)^{n+1} \right] + \left(ln \frac{\rho}{R_{нл}} \right)^{n} \right\} \tag{10}$$

Результирующее напряжение в каждой точке определяется по энергетической теории прочности Мизеса, которая в данном случае имеет вид:

$$\sigma_{экв}^{IV} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\left(\sigma_{x1} - \sigma_{y1}\right)^2 + \left(\sigma_{y1} - \sigma_{z1}\right)^2 + (\sigma_{z1} - \sigma_{x1})^2}. \tag{11}$$

Аналогичные выражения будут и для остальных пластинок, составляющих прямоугольное поперечное сечение волновода (рис. 6).

Прогиб наружной стенки волновода (рис. 2) является одним из важных показателей, влияющим на качество волновода. Прогиб вызывается совместным действием внешних изгибающих моментов на эту пластинку от ведущего прижима и усилий от звеньев дорна внутри. Для оценки прогиба используется аналитический подход и решается уравнение [6]:

$$\begin{aligned} w(x,y) = & \left(\frac{shk + 3chk - 3}{shk} \cdot sh\frac{\pi x}{B} + \right. \\ & \left. + \frac{1 - chk}{shk} \cdot \frac{\pi x}{B} ch\frac{\pi x}{B} + \frac{chk - 1}{k - shk} \cdot \frac{\pi x}{B} sh\frac{\pi x}{B} \right) \left(\frac{B}{\pi}\right)^3 M \sin\frac{\pi y}{B} \\ & - - \left(-ch\frac{\pi x}{B} + \frac{chk_m - 1}{shk_m + k_m} sh\frac{\pi x}{B} - \frac{chk_m - 1}{shk_m + k_m} \cdot \frac{\pi x}{B} ch\frac{\pi x}{B} + \frac{shk_m}{shk_m + k_m} \right. \\ & \left. \cdot \frac{\pi x}{B} sh\frac{\pi x}{B} + 1 \right) f^* \sin\frac{\pi y}{B} \end{aligned} \tag{12}$$

.

Полученное аналитическое решение задачи определения прогиба наружной стенки (12) также позволяет оценивать вклад различных параметров в результат гиба.

Устойчивость внутренней стенки волновода (рис. 3) является критически важным параметром, поскольку потеря устойчивости приводит к браку всего изделия. На рисунке 7

показаны условия работы сжатого изогнутого элемента внутренней стенки распределенными продольными q_x поперечными q_y усилиями при его гибе радиусом $R_г$.

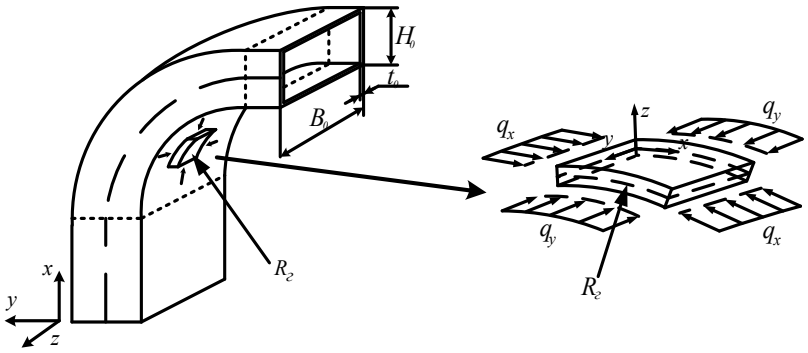


Рис. 7. Условия нагружения элемента внутренней стенки волновода при гибе
Fig. 7. Loading conditions of the waveguide inner wall element during bending

Решение выполнено энергетическим методом из условия равенства работ внешних и внутренних сил [7]. Минимальная величина внутренней энергии оболочки со складками равна:

$$U\frac{(R_0-h/2)h}{2\pi^2}\left(\frac{K_1}{\alpha_0}m_{cr}^2+\alpha_0K_2+\frac{\alpha_0^3K_3}{m_{cr}^2}\right)_{min}. \quad (13)$$

а работа внешних сил:

$$T=t\int_0^{\beta_0}\frac{K}{\sqrt{3}}\left(\left|ln\frac{R}{R_0}\right|\right)^n\cdot\left(1-\frac{r}{R}cos\,\beta_0\right)\cdot r\cdot[r(cos\,\beta-cos\,\beta_0)]\cdot\alpha_0\cdot d\beta. \quad (14)$$

Приравнивая эти выражения, интегрируя и упрощая его, приходим к уравнению 4-й степени вида относительно минимального радиуса гиба R_{min} при котором обеспечивается устойчивость:

$$a_4\cdot R_{min}^{4_{3_{min}^{3_{2_{min}^{2_{1_{0_{min}}}}}}}}. \quad (15)$$

Полученное уравнение решается аналитически методом Ю.А. Несмеева [8], решение соответствует наименьшему действительному корню уравнения (15).

На основе разработанных методик расчета волноводов при пластическом гибе созданы алгоритмы расчетов и программа на ЭВМ [9,10], позволяющие определять минимальный радиус гиба при обеспечении условий прочности, устойчивости, минимальной и максимальной толщинам стенки для заданного типоразмера сечения, материала и угла гиба. Программа также позволяет определять требуемое смещение бустера для обеспечения условий прочности, устойчивости, минимальной и максимальной толщинам стенки.

Экспериментальные результаты

На основе полученных выше теоретических выражений (1-15) и экспериментальных данных, которые позволяют рассчитать для каждого случая гиба возникающие деформации волновода, для получения качественного изделия нами предлагается подход, заключающийся в управлении пластическими деформациями путем ограничения нежелательных деформаций стенок волновода при гибе и направлении их таким образом, чтобы обеспечить процесс пластического течения материала. Практически, такой подход реализован в профилировании гибочной головки, гибочного канала и складкодержателя в соответствии с изменением толщины внутренней стенки, как показано на рисунках 8,9.

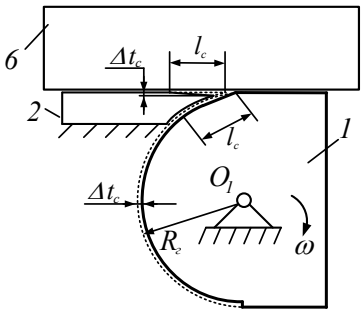


Рис. 8. Профилирование складкодержателя и гибочной головки
Fig. 8. Wiper die and bending die profiling

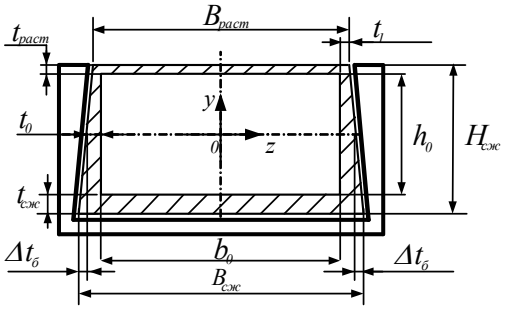


Рис. 9. Профилирование гибочного канала
Fig. 9. Bend channel profiling

В соответствии с принятым подходом была спроектирована оснастка для гиба волноводов из материала АД31 двух типоразмеров на радиусы:

1) волновод 19х9,5х1,2: R_E=18 мм (R/D=2,01) и R_H=20 мм (R/D=1,43);

2) волновод 28,5х12,6х1,2: R_E=18 мм (R/D=1,70) и R_H=30 мм (R/D=1,47).

Согласно расчетам по разработанным методикам, данные радиусы являются минимально возможными для данных типоразмеров волноводов, материала и обеспечивают условия прочности, прогибов, устойчивости и допускаемым толщин стенок. При этом для гиба в плоскости «*H*», вследствие чрезмерного утонения наружной стенки волновода, было задействовано поджатие трубы бустером, величина смещения которого рассчитана в созданной программе по формулам (1-6). На рисунке 10 показана геометрическая модель комплекта оснастки, состоящая из основания с двухуровневым блоком гибочных головок *1*, двух складкодержателях *2*, дорна *3*, скользящего прижима *4* и ведущего прижима *5*.

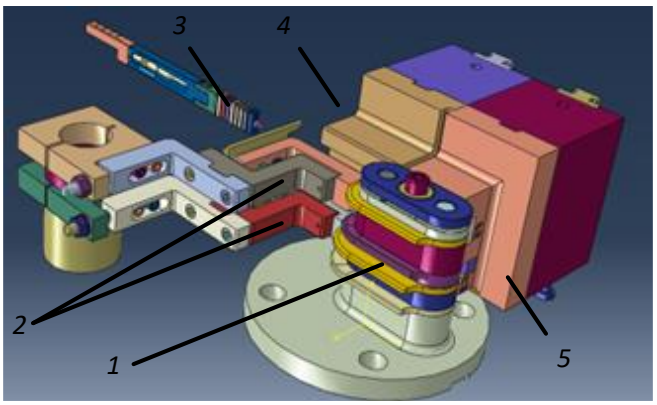


Рис. 10. Комплект новой оснастки
Fig. 10. New tooling set

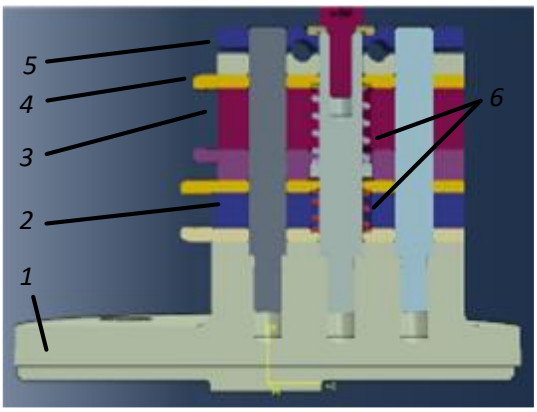


Рис.11. Сечение гибочных головок
Fig. 11. Bending head section

Рассмотрим каждый из этих элементов оснастки по отдельности и далее особенности их взаимодействия между собой. Блок гибочных головок (рис. 11) установлен на имеющееся основание 1 и состоит из двух гибочных роликов *2* и *3*, четырех прижимных планок *4* и двух прижимных крышек *5*. Гибочная головка выполнена двухуровневой и раздвижной, такая конструкция позволяет трубогибочному станку работать в автоматическом режиме и выполнять гибы в двух плоскостях без необходимости дополнительных операций.

Профилирование элементов оснастки привело к появлению «обратного конуса» у поперечного сечения гибочных каналов (рис. 11), который препятствует свободному извлечению заготовки после гиба из-за утолщения согласно рис. 9 и не позволяет эксплуатировать трубогибочный станок в автоматизированном режиме. Для свободного подвода и удаления волновода к гибочному каналу, верхние прижимные планки для двух гибочных каналов сделаны подвижными в направлении высоты гибочной головки. В исходном состоянии эти планки

приподняты с помощью двух пружин *6* установленных внутри конструкции (рис. 11) и образуют дополнительный зазор в гибочных каналах для устранения препятствия в виде обратного конуса.

На рисунке 12 показан общий вид на изготовленную оснастку станка при гибе волновода сечением 19х9,5х1,2 на углы 90^0, а на рисунках 13-15 показаны результаты.



Рис. 12. Вид на оснастку и волновод
Fig. 12. View of tooling and waveguide



Рис. 13. Результаты гиба
Fig. 13. Bend results

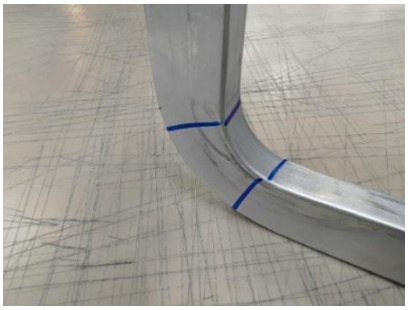


Рис. 14. Вид на гиб в плоскости «*H*»
Fig. 14. Bend view in plane «*H*»

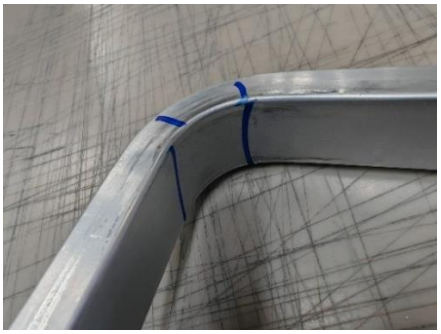


Рис. 15. Вид на гиб в плоскости «*E*»
Fig. 15. Bend view in plane «*E*»

Проведенная отработка технологических режимов гиба и тщательный подбор смазочного вещества позволили получить высокое качество гиба с обеспечением всех требований, предъявляемых к точности геометрии волноводов. После промывки и нанесения гальванического покрытия были проведены измерения электрических параметров волновода, которые также показали выполнение всех электрических требований по передаче СВЧ-сигналов.

Обсуждение полученных результатов

В работе рассмотрена перспективная технология гиба волноводов намоткой на трубогибочном станке и предложен подход, основанный на изменении геометрии оснастки таким образом, чтобы учесть пластическое течение материала стенок волновода в процессе гиба и направить ее в специально созданные области. Возможность использования гибки намоткой для изготовления криволинейных участков волноводов отмечена в литературе еще в 60-х годах прошлого века [2-5], однако ее практическое применение было затруднено многофакторностью технологии и сложностью получения качественного результата, что было подробно рассмотрено в начале настоящей статьи. Развитие современных методов расчета и ЭВМ позволяют обосновать искомые параметры гиба (угол, радиус, материал и др.), требования к оснастке станка и технологических режимов для получения качественного изделия.

Профилирование оснастки ограничивает деформацию сечения волновода по всем направлениям за счет рассчитанных требуемых значений деформаций стенок в процессе

пластического гиба, которые не позволяют образовываться нежелательным прогибам стенок и дефектам в виде «гофр». В этом смысле предлагаемый подход аналогичен стесненному деформированию в штампах и использует все его преимущества, одновременно устраняя главный недостаток последнего – низкую производительность, за счет применения автоматизации гиба на трубогибочном станке. В результате обеспечивается требуемое качество изделия.

К недостаткам технологии гиба волноводов намоткой можно отнести то, что каждый комплект оснастки будет соответствовать только заданному типоразмеру сечения и радиусу гиба, однако применительно к волноводам с жесткими требованиями по геометрической точности формы и размеров внутреннего сечения такой подход является единственно приемлемым. При этом угол гиба может быть практически любой, ограничиваясь только конструкцией оснастки. Однако используемая в настоящее время технология гибки в штампах требует значительно большего ассортимента оснастки, трудоемка и не позволяет выполнять пространственные гибы.

Также, гибочный канал профилированной оснастки получает сечение в форме конуса по своей высоте, поэтому для извлечения готового изделия необходимо предусмотреть возможность его оперативного раскрытия для обеспечения непрерывности процесса автоматизированного гиба на трубогибочном станке. Разработанная оснастка позволяет обеспечить требуемое раскрытие и смыкание гибочного канала, а двухуровневая гибочная головка позволяет за один проход станка выполнять гибы в разных плоскостях без проведения дополнительных технологических операций и отсутствия необходимости промежуточных соединений (муфты, фланцы), что позволяет снизить массу и габариты изделия с обеспечением герметичности волновода.

Заключение

В работе предложена перспективная технология гибки волноводов прямоугольного поперечного сечения методом намотки на трубогибочном станке. Для этого в созданной по разработанным методикам расчета программе на ЭВМ определено необходимое профилирование оснастки, технологические режимы гиба, обоснованы материалы оснастки, покрытия и смазочное вещество для получения качественного изделия.

Список источников

1. *Воскресенкий Д.И., Гостюхин В.Л., Максимов В.М., Пономарев Л.И.* Устройства СВЧ и антенны. Москва: Радиотехника, 2006. – 376 с.
2. *Никитин В.А.* Проектирование станков холодной и горячей гибки труб. СПб.: ЦТСС, 2011. – 236 с.
3. *Гальперин А.И.* Машины и оборудование для гнутья труб. Москва: Гос.научн-техн. из-во машиностроительной литературы, 1963 – 160 с.
4. *Мосин Ф.В.* Технология изготовления деталей из труб / Ф.В. Мосин. – М.: Гос.научн-техн. из-во машиностроительной литературы, 1962. – 174 с.
5. *Fuchs F.J.* Development in precision bending methods for waveguides. Machinery– 1958.– №92. – 824-834.
6. *Liu K. X., Liu Y. L., Yang H.* An analytical model for the collapsing deformation of thin-walled rectangular tube in rotary draw bending. Int. J. Adv. Manuf. Technol. – 2013b. – Т. 69, № 1–4. – 627–636.
7. *Zhao G. Y., Liu Y.L., Dong C.S., Yang H., Fan X.G.* Analysis of wrinkling limit of rotary-draw bending process for thin-walled rectangular tube. J. Mater. Process. Technol. – 2010. – Т. 210, № 9. – 1224–1231.
8. *Несмеев Ю.А.* Развитие одного подхода к решению алгебраического уравнения 4-й степени. Вестник ТГУ. Математика и механика. – 2013. – № 4(24). – 29–38.
9. *Kudryavtsev I.V.* Support software for plastic bending of waveguides on a rotary draw bending machine. J. Phys.: Conf. Series. – 2024. – 2697. – 012032.
10. *Кудрявцев И.В., Колотов А.В., Рабецкая О.И., Демченко А.И., Кнауб Л.В., Кудрявцева Ю.М., Морозов С.С.* / Программа расчетно-аналитического сопровождения процесса автоматизированного изготовления криволинейных волноводов для космических аппаратов // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2024661897, 22.05.2024г. Заявка № 2024660719 от 15.05.2024г

FABRICATION OF RECTANGULAR WAVEGUIDES CURVED SECTIONS ON PIPE BENDING MACHINE BY ROTARY-DRAW BENDING PROCESS

I.V. Kudryavtsev[1], **A.E. Mityaev**[2], **A.V. Kolotov**[3], **E.V. Patraev**[4], **A.A. Grishin**[5]
[1–3]Siberian federal university (Krasnoyarsk, Russia)
[4,5]JSC Information Satellite Systems named after Academician M.F. Reshetnev (Zheleznogorsk, Russia)
[1]ikudryavcev@sfu-kras.ru, [2]amityayev@sfu-kras.ru, [3]akolotov@sfu-kras.ru, [4]evpatraev@iss-reshetnev.ru, [5]grishinaa@iss-reshetnev.ru

Abstract

Waveguides of rectangular cross section have high requirements for electrical parameters which are largely determined by mechanical parameters: wall thickness, deflections, deviations in the dimensions of the internal channel of the pipe and its roughness. Currently, in the manufacture of curved sections, die bending is used, before which the workpiece is filled with a stack of plates to ensure the geometry of the section. This method is ineffective because it requires a large assortment of equipment, is time-consuming and does not allow creating several curved sections in different planes on one waveguide in one pass. As a result, to create a spatially curved waveguide, it is required to connect individual curved sections using couplings or flanges that increase the mass and size of the product.

The aim of the work is to develop a rotary draw bending technology on a pipe bending machine and accompanying computational and analytical support for the manufacture of curved waveguides of rectangular cross section, which would make it possible to manufacture any number of curved sections in two planes on one waveguide in one pass. In accordance with the loading conditions of the waveguide, mathematical models have been created, which in the form of analytical dependencies make it possible to evaluate its stress-strain state, as well as stability during bending. Using these models, calculation methods have been developed and a computer program has been created to substantiate the minimum values of bend radii, tooling parameters and bending process modes. Based on the obtained results, a profiled equipment for bending waveguides was made, in which the bending stream takes the shape of a cone in its height, therefore, in order to extract the finished product, it is necessary to provide for the possibility of its prompt opening to ensure the continuity of the automated bending process on a pipe bending machine. The developed tooling makes it possible to provide the required opening, and the two-level bending head makes it possible to perform bends in different planes in one pass of the machine without additional technological operations.

The carried-out development of the technological modes of bending, the selection of lubricant made it possible to obtain a high quality of bending while ensuring all the requirements for waveguides. After washing and plating, measurements of the waveguide electrical parameters were made, which showed that all the requirements for transmitting microwave signals were met.

The obtained results make it possible to manufacture many curved spatial waveguides of rectangular cross section in one pass, which makes it possible to get rid of intermediate connections in the form of couplings and flanges.

Keywords

Spacecraft, waveguide, rectangular cross section, rotary-draw bending, machine tool, calculation method.

Funding

The project “Calculation and analytical support of the process of automated manufacturing of curvilinear waveguides for antenna-feeder devices of communication spacecraft” was funded by Krasnoyarsk Territory and Krasnoyarsk Regional Fund of Science and JSC Information Satellite Systems Reshetnev, project number 2023083109804.

УДК 621.371

АЛГОРИТМ РАСПОЗНАВАНИЯ ЖЕСТОВ РУК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАДИОВОЛН

К.В. Латышев[1]
[1] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)

Аннотация
В статье проводится анализ алгоритмов, применяемых при решении задач радиовидения движения маломерных объектов, в том числе движения кистей рук. Предлагается алгоритм для решения данных задач в системах реального времени.

Ключевые слова
Идентификация объектов и жестов, алгоритм распознавания, системы реального времени.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Распознавание жестов рук является ключевым элементом современных систем взаимодействия человека с компьютером, находя применение в таких областях, как управление устройствами без прикосновения, виртуальная и дополненная реальность, мониторинг состояния здоровья и создание интерфейсов для людей с ограниченными возможностями [1, 2]. Традиционные системы на основе камер, хотя и широко распространены, имеют ограничения, связанные с условиями освещения, конфиденциальностью пользователей и необходимостью прямой видимости [3].

В качестве альтернативы активно развиваются методы, использующие радиоволны. Такие системы способны работать в различных условиях освещенности, могут обнаруживать движения сквозь неметаллические преграды и обеспечивают большую приватность по сравнению с видеокамерами, так как не создают визуальных изображений [4, 5]. В последние годы был предложен ряд подходов к радиоволновому распознаванию (далее – РВР) жестов, использующих различные типы сигналов и методы их обработки.

Современные подходы к РВР жестов можно классифицировать на основе используемых технологий и методов анализа данных:

1. Системы на основе Доплеровского радара.
2. Системы на основе Wi-Fi.
3. Системы на основе сверхширокополосных сигналов.

Системы на основе Доплеровского радара

Эти системы основаны на измерении доплеровского сдвига частоты радиоволны, отраженной от движущегося объекта (руки). Сложные движения руки, включающие перемещение ладони и пальцев, генерируют характерные микро-доплеровские сигнатуры, которые несут информацию о типе жеста [6]. При реализации данных систем широко применяются радары непрерывного излучения и частотно-модулированного непрерывного излучения. С использованием данных систем возможно измерять расстояние до объекта и его скорость [4, 7]. Отраженные сигналы часто анализируются в частотно-временной области, например, с помощью кратковременного преобразования Фурье (STFT), для получения спектрограмм микро-доплеровских сигнатур. Эти спектрограммы служат входом для алгоритмов классификации [6, 8]. Для классификации микро-доплеровских спектрограмм успешно применяются методы глубокого обучения, в частности, сверточные нейронные сети, которые рассматривают спектрограмму как изображение [8, 9]. Также используются рекуррентные нейронные сети для учета временной динамики жеста и более традиционные методы, такие как скрытые Марковские модели и метод опорных векторов [10, 11].

Системы на основе Wi-Fi

Данный подход использует повсеместно доступные сигналы Wi-Fi. Движения человека, включая жесты рук, вызывают изменения в многолучевом распространении радиоволн между

Wi-Fi передатчиком и приемником. Эти изменения фиксируются в информации о состоянии канала (далее – ИСК), которая описывает амплитуду и фазу сигнала на различных поднесущих частотах стандарта Wi-Fi (например, IEEE 802.11n/ac) [12, 13]. Анализ временных изменений ИСК позволяет распознавать выполняемые жесты. Требуется доступ к детальным данным ИСК, что обычно достигается с помощью специализированного программного обеспечения и совместимых Wi-Fi адаптеров [13]. Данные ИСК чувствительны к шуму и изменениям окружения, поэтому необходима предварительная обработка, включающая фильтрацию, калибровку фазы и извлечение информативных признаков (например, с помощью анализа главных компонент, статистических метрик или вейвлет-преобразования) [5, 14]. При реализации данных систем применяются разнообразные алгоритмы машинного обучения. Метод динамической трансформации временной шкалы эффективен для сравнения временных последовательностей ИСК, соответствующих жестам разной длительности [12, 15]. Также используются метод опорных векторов, k-ближайших соседей и различные архитектуры глубокого обучения [5, 16].

Системы на основе сверхширокополосных сигналов

Сверхширокополосные-радары используют радиоимпульсы очень малой длительности (порядка наносекунд), что обеспечивает высокое разрешение по расстоянию и позволяет точно локализовать отражающие объекты в пространстве [17]. Это может быть полезно для различения тонких движений пальцев. Методы обработки схожи с используемыми для доплеровских радаров, но могут использовать точную временную информацию для построения детальных карт отражений и их изменений во времени. Применяются как методы машинного обучения, так и сигнальные подходы [17, 18].

В рассмотренных технологиях применяются алгоритмы идентификации жестов рук, сравнение которых приведено в таблице 1 [1-17].

Таблица 1. Сравнение алгоритмов распознавания жестов рук

Параметр	**Ед. изм.**	**Доплеровский радар**	**Wi-Fi**	**СШП**
Типичная точность распознавания (5-10 жестов)	%	85 - 98	80 - 95	90 - 99
Робастность к вариациям и помехам	Усл. ед. (1-10)	7	5	8
Задержка распознавания	мс	10 - 50	5 - 30	15 - 70
Вычислительная стоимость	Усл. ед. (1-100)	30	20	50
Объем используемой памяти	КБ	500 - 5000	200 - 2000	1000 - 10000
Масштабируемость (макс. практическое число жестов/состояний)	Кол-во	20 - 30	15 - 25	20 - 40
Объем данных для настройки/обучения	Усл. ед. (0-100)	70	60	80
Относительная стоимость аппаратной части	Усл. ед. (1-20)	10	3	15
Типичная рабочая дальность (для жестов кисти)	м	0.1 - 2	1 - 5	0.1 - 5
Миним. различимый размер движения/детали	см	2 - 10	5 - 15	1 - 5
Относительное энергопотребление	Усл. ед. (1-50)	20	10	30

Алгоритм распознавания жестов рук с использованием радиоволн

На основании сравнения можно сделать вывод, что для задач ближнего радиовидения, требующего высокой точности, детализации и робастности, алгоритмы использующие СШП импульсы являются наиболее предпочтительными. Но при работе этих алгоритмов в режиме реального времени есть недостаток, выражающийся в длительном времени распознавания жестов. В рамках данной статьи решается задача создания алгоритма оптимизирующего время задержки в распознавании объекта, без потери остальных параметров (рисунок 1).

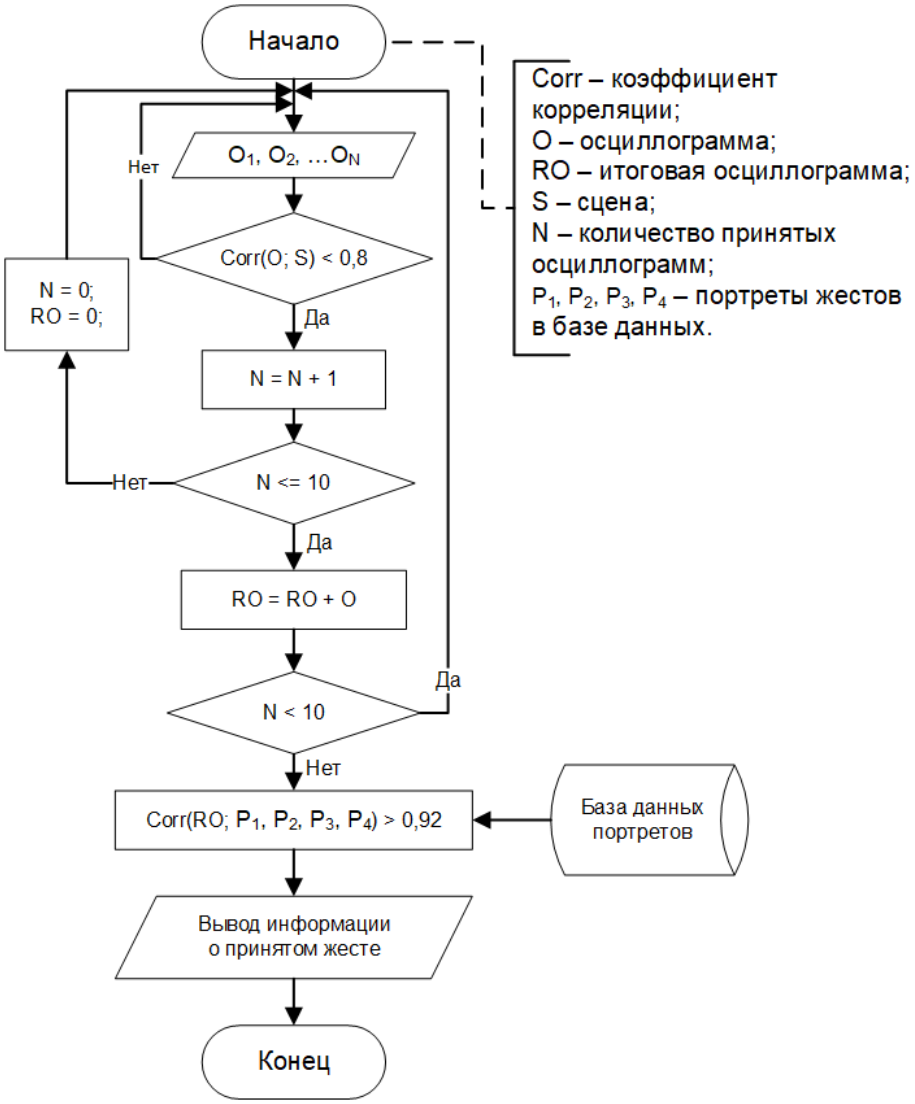


Рис. 1. Предложенный алгоритм
Fig. 1. The proposed algorithm

Представленный алгоритм можно описать следующими шагами:

1. Инициализация. Переменные *N* (счетчик принятых осциллограмм) и *RO* (итоговая осциллограмма) обнуляются.

2. Получение данных. Считывается очередная осциллограмма *O*. (осциллограмма — это некий временной срез или запись радиосигнала).

3. Обнаружение движения (Фильтрация). Вычисляется коэффициент корреляции *Corr(O, S)* между текущей осциллограммой *O* и сценой *S* (осциллограмма фона или отсутствия движения). Если корреляция ниже порога 0,8, считается, что есть значимое отличие от фона, т.е. обнаружено движение.

4. Накопление данных. Если движение обнаружено (*Corr < 0,8*):

4.1. Счетчик *N* увеличивается (*N = N + 1*).

4.2. Проверяется, не превысил ли счетчик предел. Если превысил, происходит сброс к шагу 1.

4.3. Если предел не превышен, текущая осциллограмма *O* добавляется к итоговой *RO* (*RO = RO + O*).

5. Проверка завершения жеста. Проверяется, накоплено ли достаточное количество осциллограмм (например, *N < 10*). Если нет, алгоритм возвращается к шагу 2 для получения следующей осциллограммы.

6. Распознавание. Если накоплено 10 осциллограмм:

6.1. Вычисляется корреляция *Corr* между накопленной итоговой осциллограммой *RO* и радиопортретами жестов (P_1, P_2, P_3, P_4), хранящимися в базе данных. (Предполагается, что радиопортрет – это эталонная итоговая осциллограмма для конкретного жеста).

6.2. Если корреляция с каким-либо из портретов превышает порог 0,92, считается, что соответствующий жест распознан.

7. Вывод результата. Выводится информация о распознанном жесте.

8. Цикл/Сброс. После вывода (или если корреляция была недостаточной на шаге 6), алгоритм, должен вернуться к шагу 1 для ожидания нового жеста (хотя явный сброс после шага 7 не показан, он подразумевается для непрерывной работы). Сброс также происходит на шаге 4, если превышен лимит *N*.

Ключевые особенности предложенного алгоритма:

1. Использует корреляцию как основной метод и для обнаружения движения (сравнение с фоном), и для распознавания (сравнение с эталонами).

2. Работает с накопленными сырыми данными (итоговая осциллограмма *RO*), без этапа извлечения признаков.

3. Использует сопоставление с шаблоном. Сравнивает накопленный сигнал с заранее записанными радиопортретами (эталонами).

4. Имеет фиксированное окно накопления данных (*N=10*).

Преимуществами предложенного алгоритма являются:

1. Концептуальная простота алгоритма.

2. Низкая вычислительная нагрузка.

3. Высокая чувствительность к структуре жеста благодаря корреляционной нормализации.

4. Устойчивость к шумам за счёт исключения осциллограмм, коррелирующих с фоном.

5. Лёгкость адаптации под встроенные системы (алгоритм не требует машинного обучения и может быть реализован с малыми вычислительными ресурсами).

6. Математическая интерпретируемость и возможность формального анализа точности.

Заключение

В данной работе представлен алгоритм идентификации жестов кистей рук на основе анализа временных осциллограмм. Алгоритм отличается высокой вычислительной эффективностью, не требует длительного предварительного обучения и может быть реализован в реальном времени на маломощных вычислительных устройствах. Основу метода составляет вычисление корреляционной меры соответствия между текущим жестом и эталонными шаблонами с использованием скользящего окна, что обеспечивает устойчивость к временным искажениям и шумам.

Экспериментальные исследования, проведённые с участием группы пользователей, показали, что точность классификации жестов превышает 96% [22], при этом среднее время отклика составляет менее 150 мс.

В дальнейшем планируется развитие алгоритма в направлении адаптации под двухрукие жесты, включения пространственно-временной динамики, а также автоматической калибровки порогов классификации на основе статистики пользовательского поведения. Кроме того, перспективным направлением является интеграция с вероятностными моделями

(например, скрытые марковские модели или байесовские сети), позволяющими учитывать контекст исполнения жеста и повышать устойчивость к ложным срабатываниям.

Таким образом, разработанный алгоритм может служить основой для построения надёжных, дешёвых и энергоэффективных систем управления на базе жестового интерфейса, обладающих широким спектром практических применений.

Список источников

1. *Rautaray, S. S., & Agrawal, A.* (2015). Vision based hand gesture recognition for human computer interaction: a survey. Artificial Intelligence Review, 43(1), 1-54.[1]
2. *Sidike, P., Asari, V., & Alam, M. S.* (2019). A survey on vision-based hand gesture recognition for human-computer interaction. IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, 13(4), 679-691.
3. *Ren, Z., Yuan, J., Meng, J., & Zhang, Z.* (2013). Robust part-based hand gesture recognition using kinect sensor. IEEE transactions on multimedia, 15(5), 1110-1120.[2]
4. *Lien, J., Gillian, N., Karagozler, M. E., Amihood, P., Schwesig, C., Olson, E., ... & Poupyrev, I.* (2016). Soli: Ubiquitous gesture sensing with millimeter wave radar. ACM Transactions on Graphics (TOG), 35(4), 1-19.
5. *Wang, Y., Liu, J., Chen, Y., Gruteser, M., Yang, J., & Liu, H.* (2017). Device-free wireless localization and activity recognition: A survey. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 20(2), 1123-1149.
6. *Chen, V. C.* (2011). The micro-Doppler effect in radar. Artech House.
7. *Stove, A. G.* (1992). Linear FMCW radar techniques. IEE Proceedings F-Radar and Signal Processing, 139(5), 343-350.
8. *Kim, Y., & Toomajian, B.* (2016). Hand gesture recognition using micro-Doppler signatures with convolutional neural network. IEEE Access, 4, 7125-7130.[3]
9. *Wang, M., Zhang, Y. D., & Chen, Z.* (2019). Hand gesture recognition using radar sensors: A review. IET Radar, Sonar & Navigation, 13(7), 1031-1041.
10. *Molchanov, P., Gupta, S., Kim, K., & Kautz, J.* (2015). Hand gesture recognition with 3d convolutional neural networks. Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition workshops, 1-7.[4] (Часто применяется и к радарным данным)
11. *Zhang, J., Wang, Y., Chen, Z., Wang, Z., & Zheng, W. S.* (2018). Radar-based hand gesture recognition using attention-based LSTM. Sensors, 18(12), 4268.
12. *Abdelnasser, H., Youssef, M., & Harras, K. A.* (2015, April). WiGest: A ubiquitous WiFi-based gesture recognition system. In 2015 IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM)[5] (pp. 1472-1480). IEEE.
13. *Halperin, D., Hu, W., Sheth, A., & Wetherall, D.* (2011). Tool release: gathering 802.11 n traces with channel state information. ACM SIGCOMM Computer[6] Communication Review, 41(1), 53-53.[7]
14. *Wang, C., Zhang, L., Wang, X., Liu, Y., & Wu, D.* (2017). E-eyes: Device-free location-oriented activity identification using fine-grained wifi signatures. IEEE Transactions on Mobile Computing, 17(5), 1144-1157.
15. *Sakoe, H., & Chiba, S.* (1978). Dynamic programming algorithm optimization for spoken word recognition. IEEE transactions on acoustics, speech, and signal[8] processing, 26(1), 43-49.[9] (Основополагающая работа по DTW)
16. *Ma, Y., Zhou, G., & Wang, S.* (2019). WiFi sensing with channel state information: A survey. ACM Computing Surveys (CSUR), 52(3), 1-36.
17. *Lazaro, A., Girbau, D., & Villarino, R.* (2014). Techniques for clutter suppression in the detection of respiratory activity using UWB radars. Sensors, 14(3), 4944-4966. (Пример обработки UWB-сигналов)
18. *Le Kernec, J., Fadel, L., Fioranelli, F., Romain, O., & Coyle, E.* (2019). UWB radar for gesture recognition: A study of human classification. Sensors, 19(3), 580.
19. *Arici, T., Celebi, S., & Aydin, A. S.* (2009). A comparative study of sequence matching techniques for hand gesture recognition. Pattern Recognition Letters, 30(10), 897-903.
20. *Keogh, E., & Ratanamahatana, C. A.* (2005). Exact indexing of dynamic time warping. Knowledge and information systems, 7(3), 358-386. (Обсуждает DTW и его преимущества перед другими методами)
21. *Ryumin, D., Kagirov, I., Axyonov, A., Pavlyguina, S., & Karpov, A.* (2023). A survey on spotting and segmenting sign language. Sensors, 23(16), 7237.
22. *Латышев, К. В.* Киберфизическое радиожестикуляционное FPV-управление дронами / К. В. Латышев // Актуальные проблемы и перспективы развития радиотехнических и инфокоммуникационных систем ("Радиоинфоком-2024") : Сборник научных статей по материалам VIII Международной научно-практической конференции, Москва, 18–22 ноября 2024 года. – Москва: МИРЭА - Российский технологический университет, 2024. – С. 441-445. – EDN DUKCNP.

ALGORITHM FOR RECOGNIZING HAND GESTURES USING RADIO WAVES

K.V. Latyshev[1]
[1] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)

Abstract

The article analyzes the algorithms used to solve the problems of radio vision of the movement of small objects, including the movement of hands. The article proposes an algorithm for solving these problems in real-time systems

Keywords

Identification of objects and gestures, recognition algorithm, real-time systems.

УДК 621.396.65

КИБЕРФИЗИЧЕСКАЯ СИМУЛЯЦИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

Н.Р. Левченко[1]
[1] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] levchenko_n@mirea.ru

Аннотация

Целью данной статьи является обзор программно-аппаратных средств киберфизической симуляции радиоэлектронных модулей. В работе приведены системные решения киберфизического симуляции типовых сигнальных модулей с применением систем визуально-графического моделирования, интегрируемых с периферийным аппаратным обеспечением в режиме реального времени. Разработаны технические рекомендации по исследованию радиоэлектронных модулей с применением киберфизического симуляции.

Ключевые слова

Киберфизическая симуляция, Simulink, Simscape, усилитель низкой частоты, плагин киберфизической симуляции, аудиоинтерфейс, цифро-аналоговый преобразователь, аналогово-цифровой преобразователь, СВЧ-модули.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Киберфизическая симуляция – процесс создания прототипа с применением киберфизической системы. Под такой системой подразумевается комплекс, в состав которого входит программно-аппаратная система, часть модулей, функциональных узлов или компонентов которой заменяется виртуальной схемой, взаимодействие с которой осуществляется при помощи аппаратных интерфейсов.

Преимущества применения киберфизической симуляции:

1. Ускорение процесса создания прототипа;
2. Увеличение адаптивности при разработке прототипа;
3. Снижение затрат на изготовление прототипа;
4. Удалённая диагностика и настройка физических сигнальных блоков и модулей в составе сложных систем;
5. Автоматизированное проведение испытаний и отладки радиоэлектронных устройств по заданным программам;
6. SPICE-симуляция и отладка принципиальных схем в реальном времени.

Недостатки, обусловленные программно-аппаратной интеграцией виртуальной и физической частей устройства:

1. Задержки при обработке сигналов (ограничения по скорости);
2. Необходимость согласования импедансов (настройка входных и выходных сопротивлений);
3. Требования к калибровке динамического диапазона;
4. Искажения сигнала: фазовые и нелинейные;
5. Ограничения по частоте, влияние шумов.

Плагин киберфизической симуляции в среде визуального проектирования «Simulink»

Для возможности работы с цифровыми двойниками радиоэлектронных модулей был создан специализированный плагин, обеспечивающий симуляцию сигнальных аудиомодулей в среде «Simulink».

Интеграция с библиотекой «Simscape» для «Simulink» позволяет использовать данный плагин для проектирования и отладки аудиомодулей в режиме реального времени, заменяя физический модуль его цифровой SPICE-моделью. Архитектура разработанного плагина приведена на рисунке 1.

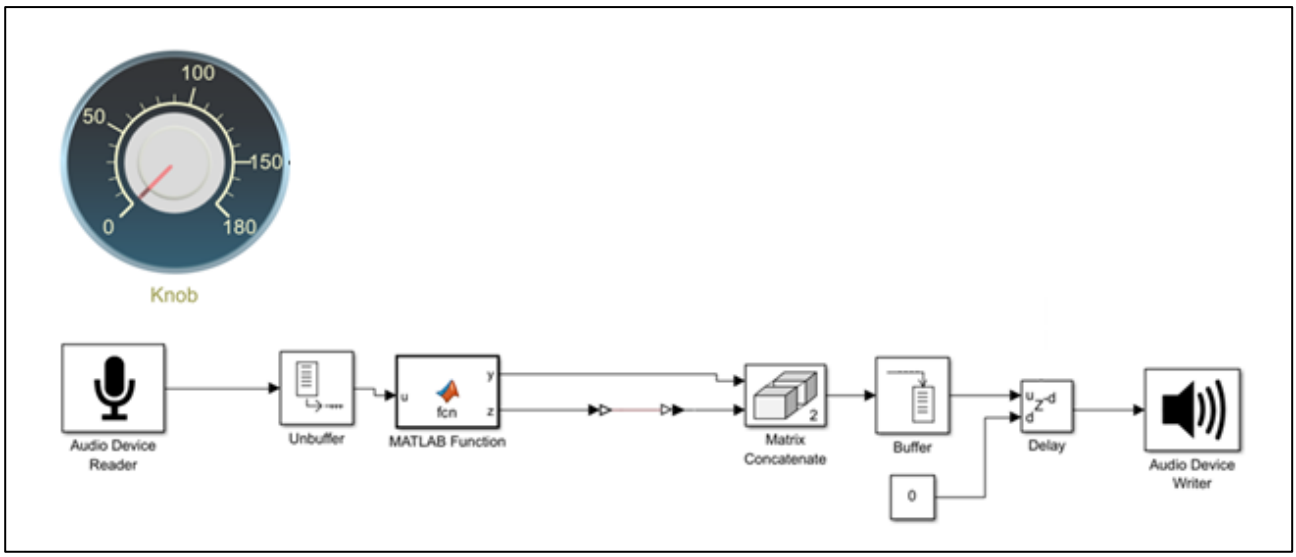


Рис. 1. Архитектура разработанного плагина
Fig. 1. Architecture of the developed plugin

1. **«Audio Device Reader»** – обеспечивает инициализацию входных каналов программно-аппаратного интерфейса в соответствии с заданным протоколом.
2. **«Unbuffer»** – преобразует поступающие кадры с интерфейса в линейную последовательность сэмплов.
3. **«MATLAB Function»** – выполняет разделение каналов программно-аппаратного интерфейса.
4. **«Matrix Concatenate»** – формирует матрицу данных размерности $M \times N$, где M – число сэмплов, N – количество активных каналов.
5. **«Buffer»** – преобразует сформированную матрицу в кадры для дальнейшей передачи через программно-аппаратный интерфейс.
6. **«Delay»** – компенсирует фазовый сдвиг перед отправкой данных на выходные каналы.
7. **«Audio Device Writer»** – записывает обработанные кадры в выходные каналы интерфейса.
8. **«Knob»** – цифровой регулятор, позволяющий настраивать величину фазового сдвига в блоке **«Delay»**.

На рис. 2 представлена схема киберфизической симуляции, используемая для разработки цифровых двойников радиоэлектронных модулей.

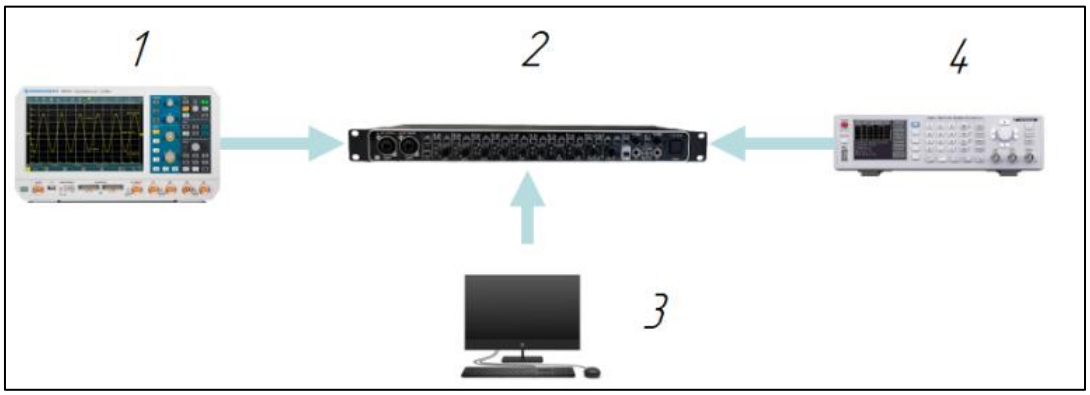


Рис. 2. Схема киберфизической симуляции, используемая для разработки цифровых двойников радиоэлектронных модулей: 1 – осциллограф RTB2002, 2 – аудиоинтерфейс UMC1820, 3 – персональный компьютер, 4 – генератор сигнала HMF2550.
Fig. 2. A cyberphysical simulation scheme used to develop digital counterparts of radio-electronic modules: 1 – RTB2002 oscilloscope, 2 – UMC1820 audio interface, 3 – personal computer, 4 – HMF2550 signal generator.

В качестве цифрового SPICE-аналога радиоэлектронного модуля была применена стандартная схема усилителя низкой частоты (УНЧ). На рисунке 3 показана принципиальная электрическая схема УНЧ, реализованная в «Simulink» с использованием библиотеки «Simscape».

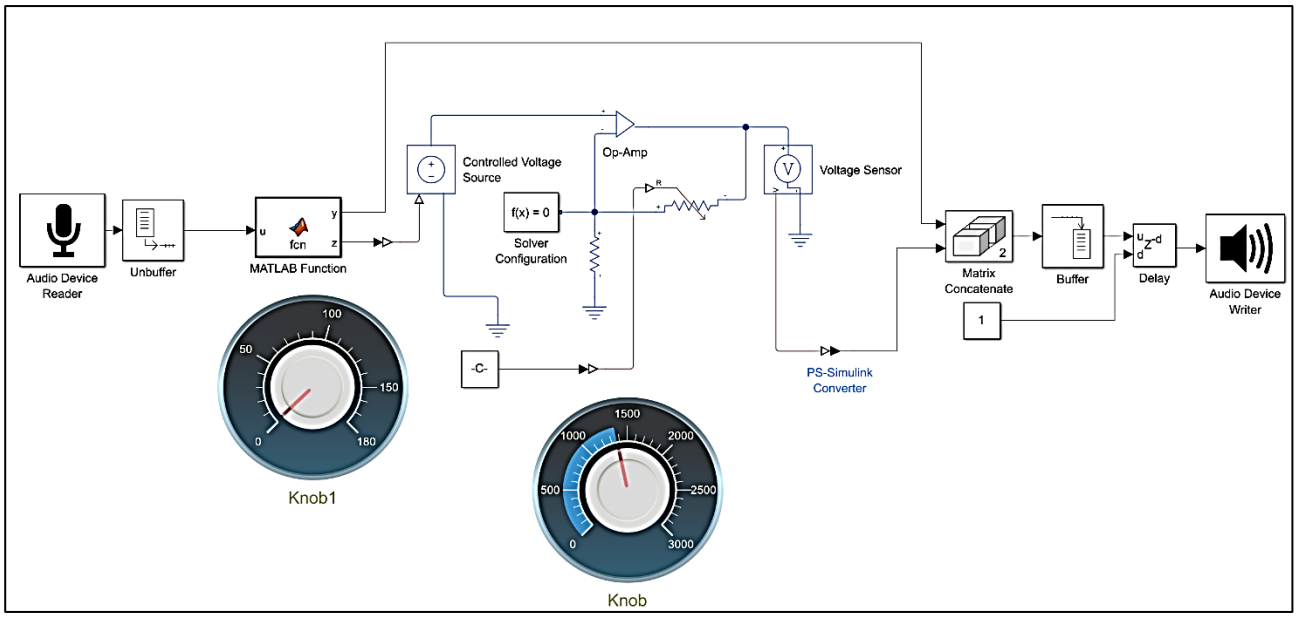


Рис. 3. Схема УНЧ в среде «Simulink»
Fig. 3. The low frequency amplifier scheme in the Simulink environment

Использование типовой схемы УНЧ для проверки работы плагина аналоговых цепей в рамках киберфизической SPICE-эмуляции обусловлено распространёнными схемотехническими решениями, характерными для микшерных аудиоконсолей. На рисунке 4 представлена осциллограмма выходного сигнала с цифрового двойника при минимальном коэффициенте передачи по напряжению.

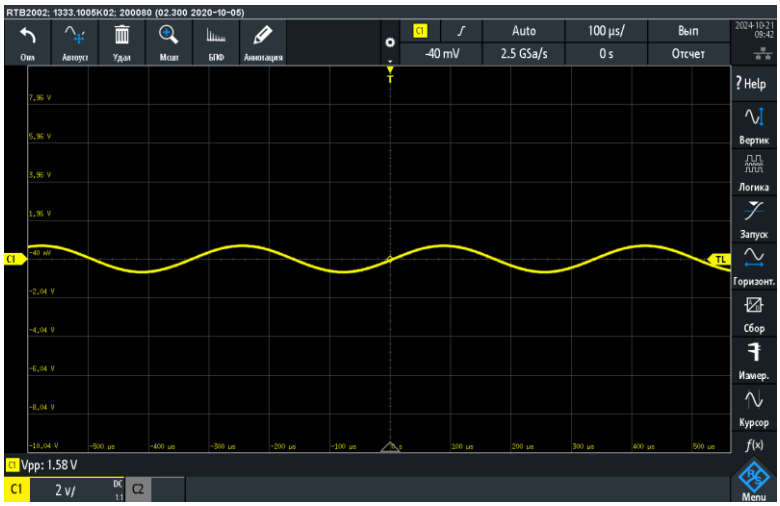


Рис. 4. Осциллограмма выходного сигнала с цифрового двойника при минимальном коэффициенте передачи по напряжению
Fig. 4. An oscilloscope of the output signal from a digital twin with a minimum voltage transmission coefficient

На рисунке 5 представлена осциллограмма выходного сигнала с цифрового двойника при максимальном коэффициенте передачи по напряжению.

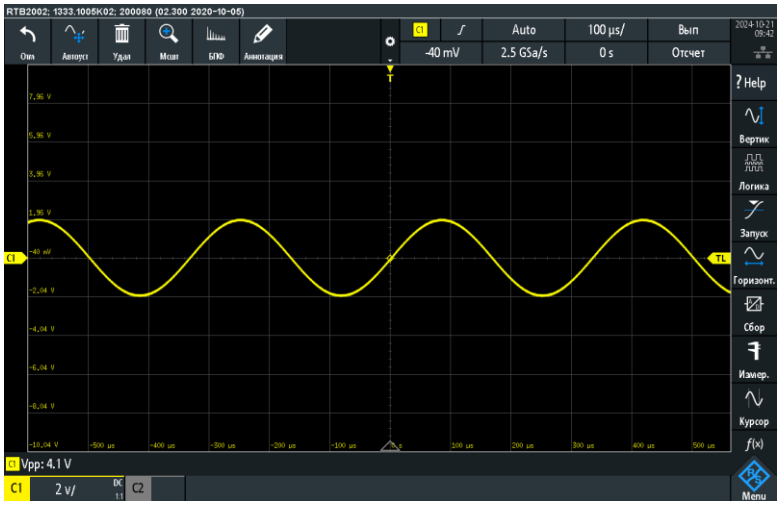


Рис. 5. Осциллограмма выходного сигнала с цифрового двойника при максимальном коэффициенте передачи по напряжению

Fig. 5. An oscilloscope of the output signal from a digital twin with a maximum voltage transmission coefficient

Плагин «TestWave» системы автоматизированного проектирования «NI AWR Design Environment»

«NI AWR Design Environment» – это универсальное программное решение для разработки всех видов радиочастотных и микроволновых устройств, от простых фильтров до монолитных интегральных схем.

«TestWave» – это модуль в составе «NI AWR Design Environment», предназначенный для автоматизации измерений и сопоставления результатов моделирования с реальными данными с помощью измерительных приборов (R&S, Keysight, NI и др.).

Интеграция САПР AWR с измерительным оборудованием R&S создаёт универсальную рабочую среду, позволяющую инженерам разрабатывать и тестировать решения на всех этапах – от отдельных компонентов до комплексных системных исследований.

Такой подход обеспечивает динамическое совмещение результатов моделирования и реальных измерений в рамках единого проекта. Это ускоряет верификацию идей и помогает выявлять расхождения между моделью и прототипом уже на ранних этапах проектирования. Параллельная настройка виртуальной модели и физического макета сокращает сроки разработки и ускоряет переход к серийному производству.

С помощью модуля «TestWave» в AWR возможна интеграция с широким спектром измерительных приборов, включая:

- векторные генераторы сигналов,
- анализаторы спектра,
- векторные анализаторы цепей,
- осциллографы.

«TestWave» не только упрощает сбор параметров СВЧ-устройств (например, S-параметров или спектральных характеристик), но и поддерживает аппаратно-программное моделирование. Это позволяет передавать сигналы, сгенерированные в AWR, в реальные тракты через связку «векторный генератор — анализатор спектра». Кроме того, модуль обеспечивает удалённое управление приборами R&S через стандартные интерфейсы и их объединение в сложные измерительные комплексы. На рисунке 6 представлен функциональная схема удалённого управления приборами R&S из САПР AWR.

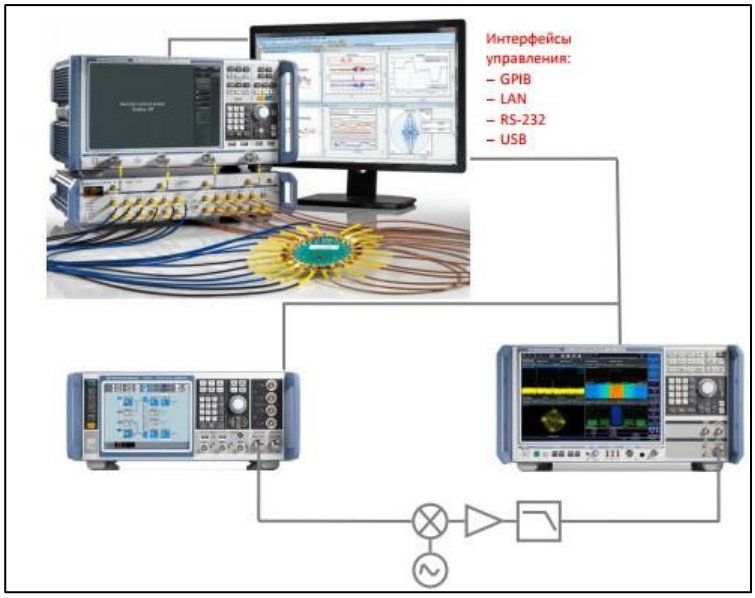


Рис. 6. Функциональная схема удалённого управления приборами R&S из САПР AWR. Приборы: векторный анализатор цепей ZNB с матрицей коммутации ZN-Z8x, векторный генератор сигналов SMW, анализатор спектра FSW

Fig. 6. Functional diagram of remote control of R&S devices from the AWR CAD. Instruments: ZNB vector circuit analyzer with ZN-Z8x switching matrix, SMW vector signal generator, FSW spectrum analyzer

Заключение

В работе рассмотрено применение основных систем визуального проектирования: «Simulink» с плагином киберфизической симуляции и NI AWR Design Environment с плагином TestWave. Рассмотренные системы позволяют в реальном времени проводить разработку и отладку радиоэлектронных модулей с помощью цифровых двойником.

Рекомендация: перед применением программ и стендов киберфизической симуляции радиоэлектронных модулей необходимо проводить калибровку измерительного оборудования. Учитывать вносимые шумы, частотные характеристики, искажения, динамический диапазон и временные задержки.

Список источников

1. *Çilingiroğlu Uğur.* Analog Integrated Circuit Design by Simulation: Techniques, Tools, and Methods. 1st ed. New York: McGraw-Hill Education. 2019. 576 p.
2. *Chinemelu J. Anumba, Abiola Akanmu, Xiao Yuan, Congwen Kan.* Cyber–physical systems development for construction applications. Front. Eng, 2021, 8(1): 72–87 https://doi.org/10.1007/s42524-020-0130-44.
3. *Левченко Н.Р., Костин М.С.* Стенд киберфизического прототипирования сигнальных аудиомодулей. Актуальные проблемы и перспективы развития радиотехнических и инфокоммуникационных систем («Радиоинфоком-2024»): Сборник научных статей по материалам VIII Международной научно-практической конференции, Москва, 18–22 ноября 2024 года. – Москва: МИРЭА – Российский технологический университет, 2024. С. 507-511.
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024685518 Российская Федерация. Программа коммутирования аудиоинтерфейса с SPICE-технологией, заявл. 18.10.2024, опубл. 30.10.2024 / Н.Р. Левченко, М.С. Костин, С.В. Филатов, С.М. Печенкин.
5. *Левченко Н.Р.* Плагин для киберфизического прототипирования сигнальных аудиомодулей. Фундаментальные, поисковые, прикладные исследования и инновационные проекты: Сборник трудов III Национальной научно-практической конференции, Москва, 27–28 мая 2024 года. 2024. С. 344-350. – EDN OMGGFZ.
6. *Левченко Н.Р.* Программные интерфейсы передачи аудиоданных для киберфизического SPICE-сигнального прототипирования аудиомодулей. Фундаментальные, поисковые, прикладные исследования и инновационные проекты: Сборник трудов Национальной научно-практической конференции, Москва, 07–08 декабря 2023 года. 2023. С. 394-398. – EDN PBTJGD.
7. *Левченко Н.Р., Костин М.С.* Киберфизическое прототипирование сигнальных аудиомодулей. Актуальные проблемы и перспективы развития радиотехнических и инфокоммуникационных систем («Радиоинфоком-2023»): Сборник научных статей по материалам VII Международной научно-практической конференции, Москва, 20–24 ноября 2023 года. – Москва: МИРЭА – Российский технологический университет, 2023. С. 347-350. – EDN OYKUED.
8. *Bob Cordell.* Designing Audio Power Amplifiers. – Routledge, 2019. 792 p.

9. *Петленко Д.Б., Ярлыков А.Д., Бойков К.А.* Аналого-цифровые преобразователи сигнальных аудиоинтерфейсов. М.: Реглет, 2023. 65 с.
10. *Self D.* Small Signal Audio Design (4th ed.). Focal Press, 2023. 846 p. https://doi.org/10.4324/9781003332985
11. *Bennett C.L.* Digital Audio Theory: A Practical Guide (1st ed.). Focal Press. 2020. 254 p. https://doi.org/10.4324/9780429297144
12. *Steiglitz K. A* Digital Signal Processing Primer: with Applications to Digital Audio and Computer Music. NY, USA: Dover Publications Inc.; 2020. 320 p.
13. *Петленко Д.Б., Ярлыков А.Д., Бойков К.А.* Цифровые методы секвенсорной эквализации аудиосигналов радиоакустических систем. М.: Реглет; 2023. 109 с.
14. *Collins K.* Studying Sound: A Theory and Practice of Sound Design Hardcover. London, England: The MIT Press; 2020. 248 p
15. *Kamenov A.* Digital Signal Processing for Audio Applications. 2nd ed. Amazon. Kindle edition. RecordingBlogs; 2014. 348 p
16. *Cipriani A., Giri M*. Electronic Music and Sound Design: Theory and Practice with Max 8. V. 2. 3rd ed. Rome, Italy: ConTempoNet; 2020. 748 p
17. *Self D.* Small Signal Audio Design. 3rd ed. NY, USA: CRC Press; 2020. 784 p.
18. *Ковалгин Ю.А., Вахитов Ш.Я. Акустика. М.:* Горячая линия – Телеком; 2022. 660 с.
19. *Pirkle W.C.* Designing Audio Effect Plugins in C++: for AAX, AU, and VST3 with DSP Theory. 2nd ed. NY, USA: Routledge; 2019. 704 p.
20. *Геворский А.В., Костин М.С., Бойков К.А.* Программно-архитектурная конфигурация многофункционального ADSP-модуля сигнального медиатестирования аудиоустройств. Russian Technological Journal. 2024;12(1):30-58. https://doi.org/10.32362/2500-316X-2024-12-1-30-58
21. *Walter Oney.* Programming the Microsoft® Windows® Driver Model. 2nd Edition. Microsoft Press, 2002. 880 p.
22. *Pavel Yosifovich.* Windows Kernel Programming. Independently published, 2021. 461 p.Кропотов Ю.А. Моделирование адаптивной линейной фильтрации повышения отношения сигнал/внешний акустический шум в системе обмена речевой информацией. Известия вузов. Физика. – 2012. – Т. 55, № 8-2. – 35-37
23. Статья «Сравнение результатов моделирования с экспериментом и разработка пользовательских алгоритмов обработки данных в САПР AWR» https://www.elec.ru/publications/tsifrovye-tekhnologii-svjaz-izmerenija/4300/?ysclid=mbagu8hiy388595364 (Дата обращения 29.05.2025)

CYBER-PHYSICAL SIMULATION OF RADIO-ELECTRONIC MODULES

N.R. Levchenko [1]
[1] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] levchenko_n@mirea.ru

Abstract

The purpose of this article is to review the hardware and software of cyberphysical simulation of radio-electronic modules. The paper presents system solutions for cyberphysical simulation of typical signal modules using visual and graphical modeling systems integrated with peripheral hardware in real time. Technical recommendations have been developed for the study of radioelectronic modules using cyberphysical simulation

Keywords

Cyberphysical simulation, Simulink, SimScape, low frequency amplifier, cyberphysical simulation plug-in, audio interface, digital-to-analog converter, analog-to-digital converter, microwave modules.

УДК 681.3

ОПТИМИЗАЦИЯ АРХИТЕКТУРЫ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ

С.Н. Замуруев[1], **Н.М. Легкий**[1], **В.Е. Ёрхов** [1], **А.А. Печников** [1]
[1] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
legki@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Провести исследование возможностей использования сенсоров на основе технологии RFID в телекоммуникационных производственных сетях.

Цель. Показать, что данная технология позволяет значительно улучшить качество и скорость сборки авиационно-космической техники.

Результаты. Приведены результаты реализации примеров сенсорных сетей.

Практическая значимость. Измерительные сенсорные сети с использованием датчиков на RFID позволяют значительно улучшить качество и скорость сборки авиационно-космической техники.

Ключевые слова

СВЧ сигнал, радиочастотная идентификация, RFID, сенсоры, сенсорные сети, телекоммуникационные сети, беспроводные сенсорные сети (WSN).

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

С развитием полупроводниковых технологий наблюдается устойчивая тенденция к миниатюризации электронных систем, что позволяет их интегрировать в различные мобильные устройства, такие как мобильные телефоны и транспортные средства. Эта тенденция, в сочетании с растущими требованиями к функциональности и интеграции множества датчиков для взаимодействия с окружающей средой, приводит к усложнению встроенных систем [1]. В результате, процесс разработки таких систем становится более продолжительным и затратным, при этом сохраняются высокие требования к уменьшению их размеров и энергопотребления.

Конструкция сенсорных систем требует применения специализированной сенсорной электроники для каждого типа датчика, что вступает в противоречие с необходимостью миниатюризации и минимизации энергопотребления. Это создает дополнительные вызовы для инженеров и разработчиков, стремящихся к созданию более эффективных и компактных решений.

Динамическая реконфигурируемость и специализированное программирование предоставляют возможность адаптации сенсорных систем под конкретные прикладные задачи, что позволяет гибко изменять конфигурацию сетей в зависимости от текущих требований. Включение энергосберегающего режима в интерфейсе системы способствует существенному снижению затрат на разработку и оптимизацию компонентной базы.

Анализ и выбор интерфейсов датчиков в сенсорных сетях

Анализ рынка сенсорной электроники выявляет существование многочисленных коммерчески доступных интегральных схем (ИС) сенсорных интерфейсов. Зачастую электронные компоненты индивидуально адаптируются к требованиям и проектируются таким образом, что подходят только для определенного типа датчика. Некоторые ИС уже способны считывать данные с различных типов датчиков. Другим отличительным критерием является специфика узкого применения соответствующих интерфейсов. Поэтому ИС различаются по свойствам, касающимся скорости измерения, количества каналов, типа выходного сигнала и энергопотребления. Некоторые преобразователи сигналов даже предлагают возможность перенастройки определенных характеристик или настройки в соответствии с приложением путем предварительного программирования. Реконфигурация может выполняться с различной степенью детализации и относиться как к отдельным элементам схемы, так и к более крупным блокам или глобальным сетям.

На всех уровнях телекоммуникационных сенсорных сетей масштабирование играет решающую роль. Большое количество конечных устройств создает новые проблемы для протоколов и механизмов распределения и обработки на всех уровнях сети [2 – 4]:

1. *Нестабильность радиоканала*. Характеристики канала передачи данных подвержены влиянию различных факторов, включая тип передаваемого трафика, дистанцию между передатчиком и приемником, а также свойства окружающей среды. Эти параметры могут существенно варьироваться, что приводит к возникновению ошибок при передаче данных, потере пакетов и задержкам в доставке информации.

2. *Ограниченные ресурсы сенсорных узлов*. Характеризуются недостаточным объемом оперативной и долговременной памяти, а также ограниченной энергоэффективностью, существенно ограничивают возможность реализации высокопроизводительных алгоритмов обработки данных и сложных механизмов защиты информации. В контексте сенсорных сетей, где критическими параметрами являются энергоэффективность и надежность функционирования в условиях ресурсных ограничений, возникает необходимость разработки инновационных подходов к оптимизации вычислительных процессов и механизмов безопасности.

3. *Конфликты при передаче данных.* Конфликты при передаче данных в сенсорных сетях определяются высокой плотностью сенсоров. В сетях, где плотность размещения сенсоров достигает значительных величин, возникают сложные динамические взаимодействия, способные привести к ошибкам в передаче пакетов данных. Эти конфликты, обусловленные конкуренцией за доступ к каналу связи, являются ключевым фактором, влияющим на эффективность и надежность передачи информации.

Эти проблемы усугубляются тем фактом, что обычно в сенсорной сети имеется очень большое количество распределенных узлов. Поскольку датчики становятся меньше и дешевле, сети с несколькими тысячами узлов становятся все более распространенным явлением.

Взаимодействие между сенсорными узлами представляет собой сложный процесс, который может быть структурирован в зависимости от количества участников коммуникации. В частности, когда несколько сенсорных узлов одновременно взаимодействуют с одним узлом, возникает риск дублирования данных, что может существенно повлиять на эффективность и надежность системы [5]. Для предотвращения таких ситуаций необходимо внедрение механизмов синхронизации времени в сенсорных узлах.

Анализ существующих методов модуляции радиосигналов и алгоритмов временной синхронизации выявил, что традиционные подходы не соответствуют требованиям целевой платформы. Это обусловлено высокой степенью динамичности и сложности взаимодействия между узлами, а также необходимостью обеспечения высокой точности синхронизации в условиях ограниченных вычислительных ресурсов.

В связи с этим возникает необходимость разработки новых методов и подходов, которые бы учитывали специфику сенсорных сетей и обеспечивали эффективное управление взаимодействием между узлами. Это может включать в себя использование адаптивных алгоритмов синхронизации, которые способны адаптироваться к изменяющимся условиям окружающей среды и обеспечивать оптимальную производительность системы.

Кроме того, перспективным направлением исследований является разработка гибридных методов, которые сочетают в себе преимущества различных подходов к синхронизации времени. Такие методы могут обеспечить более высокую надежность и устойчивость системы к внешним воздействиям, что является критически важным для успешного функционирования сенсорных сетей в реальных условиях.

Применение технологии радиочастотной идентификации (RFID) архитектуре сенсорных сетей

Датчики, построенные на технологии RFID являются наиболее эффективными, с точки зрения энергопотребления, для измерения параметров внешней среды в сенсорных сетях. Пассивные датчики RFID частотных диапазонов 13,56 и 860 МГц являются наиболее

востребованными в сенсорных сетях. Диапазон 13,56 МГц используется для построения сенсорных каналов для измерения параметров в ближней зоне, на расстояниях до 10 см, сенсоры диапазона 860 МГц имеют зону до нескольких метров, что делает их незаменимыми в сетях «Умный дом» и «Промышленный Интернет вещей» [6 – 8].

Для микроволновых систем радиочастотной идентификации максимальная дальность считывания метки определяется, в основном, характеристиками идентификационной метки. В данных системах должно выполняться два условия:

1. Мощности, полученной по высокочастотному каналу, должно хватить для устойчивой работы схем памяти и схем синхронизации. В данном случае, максимальная дальность считывания, будет определяться энергией, полученной идентификационной меткой:

$$R_{max\ 1} = \frac{\lambda \chi_n}{4\pi} \sqrt{\frac{P_t(1-|\Gamma_t|^2)G_t}{P_r}(1-|\Gamma_r|^2)G_r},$$

где λ – длина волны;
G_r – коэффициент усиления антенны метки (приемника);
G_t – коэффициент усиления антенны считывателя (передатчика);
$(1-|\Gamma_r|^2)$– коэффициент рассогласования антенны метки;
$(1-|\Gamma_t|^2)$ - коэффициент рассогласования антенны считывателя;
P_t – эквивалентная излучаемая мощность считывателя;
R – расстояние между меткой и опросчиком;
$\chi_n = |(n_1, n_2)|^2$ – поляризационный коэффициент связи антенн считывателя и метки.

2. Электромагнитной энергии, отраженной от антенны метки, должно хватить для обработки информации в считывателе. Максимальное расстояние, определяемое данной характеристикой, будет определяться:

$$R_{max\ 2} = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_t G_t G_r}{\eta P_r}},$$

где P_r – мощность на входе метки;
η – общие потери радиоканала, в том числе внутри метки.
Для пассивных меток $R_{max\ 2} > R_{max\ 1}$, для активных меток $R_{max\ 2} < R_{max\ 1}$.

Заключение

Представленные в докладе предложения позволят значительно улучшить качество сборки и производства авиационно-космической техники [9 – 10].

Список источников

1. *Легкий Н.М.* Тенденции развития технологий производства электроники / Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта. 2018. № 14. С. 312-316.
2. *Бузюков Л.Б., Окунева Д.В., Парамонов А.И.* проблемы построения беспроводных сенсорных сетей // Труды учебных заведений связи. 2017. Т. 3. № 1. С. 5-12.
3. *Федоренко В.В., Самойленко В.В., Алдущенко Д.В., Емельяненко И.В.* Методика моделирования топологии беспроводных сенсорных сетей с учетом межузловых помех // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2020. №3. С. 34-44.
4. *Легкий Н.М.* Повышение надежности телекоммуникационных сетей / В сборнике: Актуальные проблемы и перспективы развития радиотехнических и инфокоммуникационных систем" ("Радиоинфоком-2022"). Сборник научных статей по материалам VI Международной научно-практической конференции. Москва, 2022. С. 676-679.
5. *Гельфман Т.Э., Легкий Н.М.* Методы обеспечение надёжности радиоэлектронных средств: учебное пособие / Москва, 2022.
6. *Легкий Н.М.* Автоматическая идентификация в АСУ технологическими процессами / Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта. 2017. № 13. С. 46-47.
7. *Лёгкий Н.М.* Технология пассивной радиочастотной идентификации в системах дистанционного мониторинга параметров изделий / Мир измерений. 2012. № 5. С. 10-13.
8. *Легкий Н.М.* Датчик параметров объекта на основе технологии радиочастотной идентификации / Датчики и системы. 2009. № 9. С. 52-53. 5. Легкий Н.М. Система обнаружения мест авиакатастроф на базе технологии радиочастотной идентификации / В сборнике: Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Материалы докладов. 2018. С. 181-183.
9. *Лёгкий Н.М.* Радиочастотная идентификация в интегрированной логистической поддержке жизненного

цикла авиационных комплектующих: монография. – М.: МИРЭА, 2010. – 217 с.
10. *Легкий Н.М.* Радиочастотная маркировка авиационных комплектующих / В сборнике: Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Материалы докладов. 2018. С. 605-608.

OPTIMIZING THE ARCHITECTURE OF WIRELESS SENSOR NETWORKS

S.N. Zamuruev[1], **N.M. Legkiy**[1], **V.E. Erkhov**[1], **A.A. Pechnikov**[1]
[1]MIREA - Russian Technological University (Moscow, Russia)
legki@mirea.ru

Abstract

Problem statement. To conduct a study of the possibilities of using sensors based on RFID technology in telecommunication production networks.

Goal. To show that this technology can significantly improve the quality and speed of assembly of aerospace equipment.

Results. The results of the implementation of examples of sensor networks are presented.

Practical significance. Measuring sensor networks using RFID sensors can significantly improve the quality and speed of assembly of aerospace equipment.

Keywords

Microwave signal, radio frequency identification, RFID, sensors, sensor networks, telecommunication networks, wireless sensor networks (WSN).

УДК 681.3

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ RFID В СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ

Н.М. Легкий[1], **Д.П. Зеленский**[1], **Н.А. Коневцев**[1]
[1] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
legki@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Провести исследование возможностей использования сенсоров на основе технологии RFID в телекоммуникационных производственных сетях.

Цель. Показать, что данная технология позволяет значительно улучшить качество и скорость сборки авиационно-космической техники.

Результаты. Приведены результаты реализации примеров сенсорных сетей.

Практическая значимость. Измерительные сенсорные сети с использованием датчиков на RFID позволяют значительно улучшить качество и скорость сборки авиационно-космической техники.

Ключевые слова

СВЧ сигнал, радиочастотная идентификация, RFID, сенсоры, сенсорные сети, телекоммуникационные сети.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Экономическое развитие Российской Федерации неразрывно связано с внедрением и развитием наукоемких технологий в различных отраслях промышленности. Особое внимание следует уделить таким стратегически важным секторам, как машиностроение и электроника, где инновационные разработки играют ключевую роль в повышении конкурентоспособности и технологического уровня отечественной экономики.

В рамках данного анализа следует отметить, что радиочастотная идентификация (РЧИ) представляет собой одну из передовых технологий, активно развивающихся в современной индустрии. В международной практике данная технология известна под аббревиатурой «RFID» (Radio Frequency IDentification), что отражает её сущность, основанную на использовании радиоволн для передачи идентификационной информации. Системы, разработанные на базе данной технологии, демонстрируют высокую эффективность и универсальность, что обуславливает их широкое применение в различных секторах экономики и сферы услуг. Важно подчеркнуть, что спрос на подобные системы неуклонно возрастает ежегодно, что свидетельствует о их востребованности и значимости в контексте глобального технологического прогресса.

Данная технология активно развивается для использования в составе телекоммуникационных сетей (ТКС). ТКС с использованием сенсоров с использованием датчиков, построенных с использованием RFID, нашли применение в автоматизации технологических процессов [1 – 4], в логистических и производственных процессах, связанных с авиационно-космической [5 – 8] и транспортной отраслями [9 – 11].

Применение технологии радиочастотной идентификации для маркировки комплектующих

Технология радиочастотной маркировки (RFID) находит широкое применение в сфере технического обслуживания авиационно-космической техники, а также при проведении инспекций и контроля качества комплектующих.

Системы RFID решают ряд ключевых задач, среди которых:

- значительное сокращение временных затрат на техническое обслуживание и инвентаризацию оборудования и комплектующих;
- точная идентификация узлов и компонентов;
- оперативный поиск необходимых запасных частей;

- автоматизация процесса заполнения технической документации;
- предотвращение использования контрафактных или бывших в употреблении компонентов;
- обеспечение контроля корректности сборки узлов и агрегатов.

На рисунке 1 представлены примеры маркировки авиационных комплектующих на борту Boeing 787 Dreamliner с использованием радиочастотных меток с рабочей частотой 910 МГц. Каждая метка снабжена штрих-кодом, дублирующим радиочастотную информацию, что позволяет осуществлять верификацию данных при считывании. Штрих-коды применялись для дополнительной проверки точности считывания данных с радиочастотных меток, обеспечивая высокий уровень контроля качества и надежности авиационной техники.

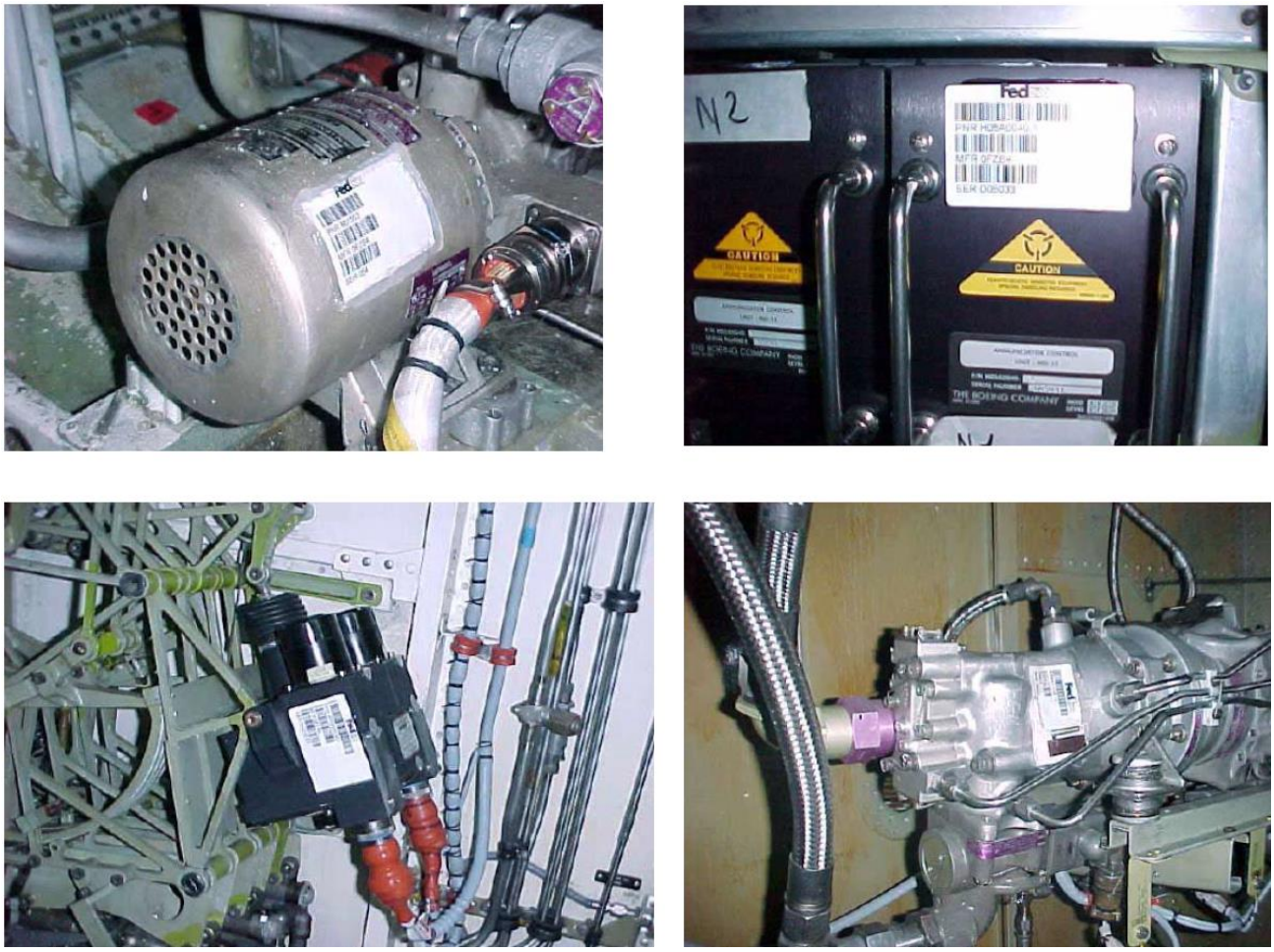


Рис. 1. Примеры маркировки авиационных комплектующих на Boeing 787 Dreamliner
Fig. 1. Examples of marking of aircraft components on the Boeing 787 Dreamliner

Данный проект является пилотным RFID-проект FAA/Boeing/FedEx.

Основными задачами проекта являлось:

- тестирование пассивных RFID СВЧ меток во время полета;
- выявление возможных помех в работе авиационного оборудования радиочастотными метками;
- проверка данных, записанных в метке (6 раз в день);
- оценка механического состояния метки, прикрепленной к узлу в процессе эксплуатации оборудования.

Результатами 90-дневного испытания явились выводы:

1. Во время тестирования не было зарегистрировано никаких помех в работе

авиационного оборудования.

2. Все метки полностью сохранили первоначальные данные.

Комитет FAA (Федеральное Авиационное Агентство) пришел к выводу, что пассивные СВЧ метки на борту не представляют опасности для эксплуатации самолетов и разрешил их использование на борту

Boeing и Airbus работают вместе над едиными требованиями по RFID маркировке к поставщикам узлов.

В апреле 2010 года компания Lufthansa Technik (LHT), структурное подразделение фирмы Lufthansa занимающаяся ремонтом и обслуживанием авиационной техники, объявило о внедрении ра-диочастотной идентификации для отслеживания отчетности при проведении ремонтного процесса. Планируется для отслежи-вания деталей самолетов и опасных грузов использовать радиочастотное оборудование фирмы Mojix.

Метка с большой перезаписываемой и дополняемой памятью может содержать полную информацию об изделии, а, следовательно, проследить весь жизненный цикл изделия, начиная с завода-изготовителя и заканчивая утилизацией. При этом каждый этап своего жизненного цикла может быть отражен в памяти метки.

В авиационно-космической отрасли, где предъявляются особо строгие требования к безопасности и надежности, особенно важно обеспечить абсолютную инвентаризацию инструментов. В этом контексте представляется целесообразным внедрение RFID-системы поиска инструментов, которая обеспечивает комплексную автоматизацию процессов контроля и управления инструментальными ресурсами.

Система функционирует следующим образом:

1. Проводится полная инвентаризация инструментального фонда с использованием RFID-технологии.

2. В случае обнаружения отсутствия инструмента система генерирует соответствующий сигнал, который передается через беспроводные протоколы Bluetooth или USB на стационарный монитор или специализированное мобильное устройство.

3. Информация об отсутствующих инструментах оперативно передается пользователю или диспетчеру для принятия необходимых мер.

Основные характеристики данной системы включают:

- частотный диапазон работы системы составляет 13,56 МГц, что обеспечивает высокую точность и надежность считывания данных;
- каждый инструмент оснащается уникальной радиочастотной меткой с идентификационным номером UID, что позволяет осуществлять точную идентификацию и мониторинг местоположения инструментов;
- система способна идентифицировать не только отдельные инструменты, но и инструментальные тележки, ящики и стеллажи, что позволяет эффективно управлять инвентаризацией на различных уровнях;
- считывающее устройство RFID передает идентификационный номер отсутствующего инструмента на выбранный дисплей, обеспечивая оперативное получение информации о состоянии инструментального фонда;
- зона действия системы ограничена 10 мм, что минимизирует вероятность ложных срабатываний и обеспечивает высокую точность локализации инструментов.

Таким образом, внедрение данной RFID-системы поиска инструментов в авиационно-космической промышленности позволит существенно повысить уровень контроля и управления инструментальными ресурсами, что, в свою очередь, будет способствовать повышению безопасности и надежности производственных процессов. Данная система легко адаптируется и к местам хранения комплектующих.

Заключение

Представленные в докладе предложения позволят значительно улучшить качество сборки и производства авиационно-космической техники.

Список источников

1. *Легкий Н.М.* Автоматическая идентификация в АСУ технологическими процессами / Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта. 2017. № 13. С. 46-47.
2. *Легкий Н.М.* Автоматизированная система контроля качества и диагностики неисправностей радиоэлектронной аппаратуры в процессе производства / диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Москва, 2004
3. *Лёгкий Н.М.* Технология пассивной радиочастотной идентификации в системах дистанционного мониторинга параметров изделий / Мир измерений. 2012. № 5. С. 10-13.
4. *Легкий Н.М.* Датчик параметров объекта на основе технологии радиочастотной идентификации / Датчики и системы. 2009. № 9. С. 52-53. 5. Легкий Н.М. Система обнаружения мест авиакатастроф на базе технологии радиочастотной идентификации / В сборнике: Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Материалы докладов. 2018. С. 181-183.
5. *Легкий Н.М.* Радиочастотная маркировка авиационных комплектующих / В сборнике: Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Материалы докладов. 2018. С. 605-608.
6. *Легкий Н.М.* Активная радиочастотная идентификация в системах позиционирования подвижных объектов / Наука и техника транспорта. 2010. № 2. С. 41-45.
7. *Лёгкий Н.М.* Радиочастотная идентификация в интегрированной логистической поддержке жизненного цикла авиационных комплектующих: монография. – М.: МИРЭА, 2010. – 217 с.
8. *Рабинович М.Д., Белов В.В., Березина И.Е., Дудкин В.Ф., Легкий Н.М.* Система идентификации объектов / Патент на изобретение RU 2222030.
9. *Елисеев С.Ю., Легкий Н.М.* Совершенствование системы управления железнодорожным транспортом (пассажирские и грузовые перевозки): монография. М. МГУПС. 2016.
10. *Легкий Н.М.* Автоматическая радиочастотная идентификация железнодорожных транспортных средств: монография. М. МИИТ, 2013.

APPLICATION OF RFID TECHNOLOGY IN SENSOR NETWORKS

N.M. Legkiy[1], **D.P. Zelenskiy**[1], **N.A. Konevtsev**[1]
[1]MIREA - Russian Technological University (Moscow, Russia)

legki@mirea.ru

Abstract

Problem statement. To conduct a study of the possibilities of using sensors based on RFID technology in telecommunication production networks.

Goal. To show that this technology can significantly improve the quality and speed of assembly of aerospace equipment.

Results. The results of the implementation of examples of sensor networks are presented.

Practical significance. Measuring sensor networks using RFID sensors can significantly improve the quality and speed of assembly of aerospace equipment.

Keywords

Microwave signal, radio frequency identification, RFID, sensors, sensor networks, telecommunication networks.

УДК 621.396

ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА БОРТУ МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

С.В. Литвинов[1], Я.Д. Радзиевский[2], А.С. Сенокосов[3]
[1–3] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] litvinov_s@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Научной проблемой исследований являются особенности измерения магнитного поля посредством аппаратуры, устанавливаемой на малых космических аппаратах.

Цель. Провести анализ функционирования магнитометров на борту МКА.

Результаты. Проведен анализ опыта измерения магнитного поля Земли с орбиты, выявлены проблемы влияния бортовой аппаратуры на точность измерений, предложены варианты решения проблемы.

Практическая значимость. Полученные результаты целесообразно учитывать при проектировании бортовой аппаратуры для измерения магнитного поля Земли.

Ключевые слова

Космический аппарат, магнитное поле Земли, магнитометр, бортовая аппаратура.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям (ФСИ) в рамках Договора 94С2/МОЛ/73887 от 25.03.2022 г.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

В последнее десятилетие резко возросло количество запускаемых космичсеких аппаратов. Причиной тому - большое распространение малых космических аппаратов (МКА) – сравнительно небольших и лёгких спутников. Относительно невысокая стоимость разработки, производства и запуска сделало МКА доступными для университетов, школ и научных организаций – многие учебные и исследовательские проекты используют именно их. Например, стандартизированные наноспутники CubeSat широко применяются для обучения разработке космической аппаратуры и проведения орбитальных экспериментов. Это стандартизированные КА, строящиеся путем масштабирования базовой единицы формата 1U – 10×10×10 см, масса ~ 2-3 кг. В таких проектах студенты осваивают проектирование систем ориентации, связи и научных приборов, в том числе магнитометров. Применение МКА даёт важный практический опыт и служит платформой для образовательных и научных задач [1,2].

Применение магнитометра

Одним из важнейших исследовательских измерительных инструментов, применяемых на МКА, является магнитометр — датчик, предназначенный для измерения напряжённости и направления магнитного поля. Его использование позволяет решать как технические задачи, связанные с управлением ориентацией, так и научные задачи, направленные на изучение геомагнитного поля и его вариаций.

Магнитометр измеряет магнитное поле вокруг себя, выдавая три компоненты вектора индукции магнитного поля, в единицах, измеряемых в Тесла. В идеальных условиях магнитометр на борту спутника измеряет именно геомагнитное поле Земли - то самое, которое заставляет поворачивать стрелку компаса у наземного пользователя. Однако в реальной жизни конструкция любого спутника содержит в своем составе магнитные материалы (например, постоянные магниты электроприводов), поэтому магнитометр измеряет некое суммарное поле Земли и поле самого спутника - т.н. суперпозицию полей.

Сравнение показаний магнитометра с расчетными значениями модели геомагнитного поля позволяют оценить ориентацию (а в некоторых случаях и положение) космического аппарата в пространстве. Такие измерения, как правило, не являются единственной возможностью ориентации МКА, а дополняет солнечные датчики и гироскоп.

Магнитометры применяются не только для технических задач, но и для научных

исследований: сбор информации о напряжённости геомагнитного поля и его неоднородности. Полученные данные позволят выявлять магнитные аномалии (такие как Бразильская магнитная аномалия или Курская магнитная аномалия) и предсказывать стихийные бедствия, вызванные цунами, землетрясениями, извержениями вулканов и прочими «катаклизмами» по всему миру. Также измерения магнитного поля позволяет регистрировать магнитные возмущения в ионосфере и изучать влияние солнечных вспышек и корональных выбросов через их влияние на магнитосферу.

Магнитометры на борту российских малых космических аппаратов

Некоторые российские МКА оснащены магнитометрами для исследований земной магнитосферы. Так, в рамках проекта Самарского университета на серии спутников «АИСТ» была установлена аппаратура «МАГКОМ», включающая трехкомпонентные магнетометры. С её помощью, по словам разработчиков, «велся мониторинг магнитного поля Земли» и изучались микрогравитационные явления [3]. Аналогичным образом российско-эквадорский спутник «ECUADOR-UTE» (запущен в 2019 г.) нес на борту прецизионный магнитометр для измерений вектора магнитной индукции геомагнитного поля [4]. Также в июле 2022 г. на Международной космической станции были выведены десяток студенческих наноспутников проекта «Радиоскаф»: восемь аппаратов «ЮЗГУ-55» и два «Циолковский-Рязань». Каждый из этих наноспутников оснащён трёхосным магнитометром. Они предназначены для изучения магнитосферы Земли и, в частности, региональных магнитных аномалий (Курской и Бразильской) [5].

Особенности функционирования магнитометра на борту МКА

На малых космических аппаратах точные магнитные измерения затрудняются наличием собственных магнитных помех от бортовых систем. Основным источником таких помех является собственная электросеть МКА - токовые контуры бортовых систем, которые генерируют поле при прохождении тока. Также помехи создают исполнительные устройства ориентации: электромагниты, маховики и пр.). Так, в МКА «АИСТ» для компенсации микроускорений применялись три мощных электромагнита [6], создающие сильные локальные магнитные поля. Значительное влияние оказывает остаточная намагниченность конструкционных элементов (ферромагнитные материалы корпуса, постоянные магниты в деталях). Для МКА подобные помехи особенно критичны из-за малых размеров и близкого расположения всех приборов.

Все это заметно искажает показания магнитометра. Поэтому говорят не о измерении магнитного поля Земли, а об измерении суммарного электромагнитного поля Земли и самого космического аппарата. В совокупности эти внутренние шумы существенно снижают точность измерений и требуют специальных мер по компенсации и снижению воздействия.

Для снижения магнитных помех применяются следующие приёмы и технические решения: калибровка конструкции, вынесение датчика на штангу, режим «тишины».



Рис. 1. Российский космонавт Олег Артемьев запускает с борта МКС обучающие наноспутники «ЮЗГУ-55» и «Циолковский-Рязань

Fig. 1. Russian cosmonaut Oleg Artemyev launches the training nanosatellites YUZGU-55 and Tsiolkovsky-Ryazan from the ISS.

При проектировании космических аппаратов особое внимание уделяется электромагнитной совместимости и, в частности, «магнитной чистоте» конструкции: отсутствие необработанных металлов, специальная магнитная обработка деталей. Проводят наземную и бортовую калибровку магнитометра с учётом магнитного поля аппарата. Также используют алгоритмы постобработки данных для коррекции известных систематических искажений.

Одним из самых логичных решений является отдаление датчика от источника помех - самого космического аппарата. В условиях космоса это возможно сделать посредством выносной мачты или штанги, удаляющей датчика от корпуса и бортовых источников поля. Такое решение применено в миссии SWARM, где оба датчика размещены на выносных штангах длиной ~4 метра, что позволило минимизировать влияние собственных полей аппарата [7]. В малых спутниках также рассматриваются складные или телескопические мачты для развёртывания датчика вдали от корпуса, однако это осложняется собственно малыми размерами самого КА.

Еще один вариантом решения проблемы является режим отключения бортовых систем, т.е. режим тишины. Во время проведения замеров все бортовые системы, кроме необходимых, переводят в «спящий» режим или полностью отключают, чтобы уменьшить изменяющиеся магнитные возмущения. В таком режиме МКА измеряет магнитное поле Земли в течение длительного времени (насколько хватает аккумуляторных батарей), накапливая информацию. А затем, при включении всех систем, информация передается на Землю, заряжаются аккумуляторы и проводятся другие работы с КА.

Комплексное применение этих мер позволяет значительно ослабить воздействие бортовых помех и обеспечить необходимую точность измерений поля Земли магнитометром на МКА.

Заключение

Измерение магнитного поля на борту малых космических аппаратов имеет двойное назначение: служит важным элементом системы ориентации и используется для проведения научных исследований. Однако точность измерений существенно ограничивается влиянием самого аппарата. Для минимизации этих эффектов применяются различные технические и программные решения, включая удалённую установку датчика, использование немагнитных материалов, калибровку и цифровую фильтрацию. Российские проекты CubeSat уже демонстрируют успешное применение магнитометров, что открывает перспективы для дальнейшего развития научных и образовательных программ.

Список источников

1. *Косинов А.Н., Криворотова П.А., Абрамешин Д.А.* Разработка алгоритма ориентации макета малого космического аппарата по вектору магнитного поля при помощи магнитометра // Системный администратор. – 2019. – № 5(198). – С. 88-90. – EDN HQYYPY.
2. Образовательные наноспутники стандарта CubeSat | ГК «Геоскан», [Электронный ресурс] // URL: https://www.geoscan.ru/ru/products/cubesat. (Дата обращения - 10.05.2025).
3. *Кирилин А.Н., Ахметов Р.Н., Ткаченко С.И. [и др.]* Основные проектные характеристики и результаты эксплуатации группировки малых космических аппаратов научно-образовательного назначения серии «АИСТ» // Космическая техника и технологии. – 2019. – № 1(24). – С. 68-83. – EDN VAJFOZ.
4. *Dobroserdov O.G., Frolov S.N., Schitov A.N., Semenova L.A.* Measurement and evaluation of the earth's magnetic field parameters using the Ecuador-ute small cameras (HC1PX) // Journal of Applied Engineering Science. – 2021. – Vol. 19, No. 2. – P. 498-503. – DOI 10.5937/jaes0-31685. – EDN ARNXRL.
5. Созданные российскими студентами наноспутники запустили с МКС, [Электронный ресурс] // URL: https://scientificrussia.ru/articles/sozdannye-rossijskimi-studentami-nanosputniki-zapustili-s-mks. (Дата обращения - 10.05.2025).
6. *Кирилин А.Н., Шахматов Е.В., Сойфер В.А. [и др.]* Научные и технологические эксперименты университетской космической группировки малых космических аппаратов семейства «АИСТ» // Научные и технологические эксперименты на автоматических космических аппаратах и малых спутниках : Тезисы докладов третьей международной конференции, Самара, 09–11 сентября 2014 года. – Самара: Саратовский научный центр Российской академии наук, 2014. – С. 149-154. – EDN KFYJBR.
7. *Olsen N., Friis-Christensen E., Olsen P.E.H. [et al.]* The Swarm satellite constellation application and research facility (SCARF) and Swarm data products // Earth, Planets and Space. – 2013. – Vol. 65, No. 11. – P. 1189-1200. – DOI 10.5047/eps.2013.07.001. – EDN YAVQMW.

8. *Павловский Д.П., Литвинов С.В.* Магнитометр в качестве аппаратного обеспечения мониторинга магнитной активности // Актуальные проблемы и перспективы развития радиотехнических и инфокоммуникационных систем ("Радиоинфоком-2024") : Сборник научных статей по материалам VIII Международной научно-практической конференции, Москва, 18–22 ноября 2024 года. – Москва: МИРЭА-Российский технологический университет, 2024. – С. 753-758. – EDN IZCEQC.

MAGNETIC FIELD MEASUREMENTS ON BOARD A SMALL SPACECRAFT

S.V. Litvinov[1], Ja.D. Radzievsky[2], A.S. Senokosov[3]
[1–3] MIREA — Russian technological university (Moscow, Russia)
[1] litvinov_s@mirea.ru

Abstract

The scientific problem of the study is the peculiarities of measuring the magnetic field by means of equipment installed on small spacecraft. An analysis of the experience of measuring the Earth's magnetic field from orbit has been carried out, problems of the influence of on-board equipment on the accuracy of measurements have been identified, and solutions to the problem have been proposed. It is advisable to take the results obtained into account when designing on-board equipment for measuring the Earth's magnetic field.

Keywords

Spacecraft, Earth's magnetic field, magnetometer, on-board equipment.

The work was carried out with the financial support of the Foundation for Assistance to Small Innovative Enterprises (FASIE) under the Contract 94C2/МОЛ/73887 dated 03/25/2022

УДК 621.396.96, 004.7

МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ АТАК LATERAL MOVEMENT В СЕТЯХ УПРАВЛЕНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫМИ СИСТЕМАМИ В СОСТАВЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Ю. В. Молодцова[1], М. Д. Новиков[2], Д.В. Крюкова[3], М.А. Окелла[4]
[1-4]МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация
[1]mol_ji@bmstu.ru, [2]nmd@bmstu.ru , [3]kryukova.d@bmstu.ru, [4]okellama@student.bmstu.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Современные киберугрозы постоянно эволюционируют, приобретая всё более сложные формы и методы распространения. Одним из ключевых этапов атак, направленных на корпоративные сети, является горизонтальное перемещение («lateral movement»). Актуальность в контексте таких атак приобретают инструменты пакета Impacket, среди которых выделяются PsExec, SMBExec, WMIExec и AtExec. Эти инструменты отличаются своей эффективностью и разнообразием методов реализации, что усложняет процесс их обнаружения стандартными средствами защиты.

Цель исследования: комплексный анализ техник горизонтального перемещения, представляющих угрозу сетям управления радиоэлектронными системами в составе наземной инфраструктуры космических комплексов, с последующей разработкой практических подходов к их детектированию и предотвращению.

Результаты. В работе рассмотрены инструменты из пакета Impacket, часто используемые при кибератаках на сетевые сервисы и протоколы Windows, имеющие критическое значение для функционирования современных систем управления космическими объектами.

Практическая значимость. Раскрыты механизмы инструментов из пакета Impacket особенности оставляемых ими артефактов в логах и памяти системы, а также способы их детектирования. Приведён практический пример, демонстрирующий потенциальные риски в случае компрометации элементов, обеспечивающих управление радиоэлектронными и вычислительными модулями.

Ключевые слова

Горизонтальное перемещение, lateral movement, Impacket, PsExec, SMBExec, WMIExec, AtExec, MITRE ATT&CK, анализ атак, кибератаки, Windows Event Log, детектирование атак, артефакты Windows, защита инфраструктуры.

Введение

Согласно MITRE ATT&CK тактика «горизонтальное перемещение» («lateral movement») – тактика, применяемая злоумышленниками для входа и управления удаленными системами в сети. [1] Иными словами, суть данной тактики заключается в том, что атакующий перемещается «боковым» способом сети, получая доступ к компьютерам (машинам). Для применения тактики горизонтального перемещения злоумышленникам сначала требуется исследовать сеть, чтобы найти свою цель и впоследствии получить к ней доступ. Существует 9 техник, используемые злоумышленниками. Подробно с ними можно ознакомиться, изучив сведения MITRE ATT&CK. [2] данной статье будут кратко рассмотрены одни из самых распространённых инструментов, используемых злоумышленниками при атаке с тактикой горизонтального перемещения. Среди них: PsExec, WMIExec, SMBExec, AtExec. Эти утилиты отличаются способом взаимодействия с удаленной системой, уровнем привилегий и зависимостями. PsExec – инструмент удаленного выполнения команд, разработанный Microsoft и позже воспроизведенный в пакете Impacket. Он использует SMB (Server Message Block) и сервис Windows Management Instrumentation (WMI) для загрузки и выполнения исполняемого файла на удаленной машине. PsExec запускает процесс с полными правами SYSTEM, что делает его мощным, но одновременно требующим высокой степени привилегий. SMBExec также использует SMB для удаленного выполнения команд, но в отличие от PsExec, он не загружает отдельный исполняемый файл. Вместо этого он создает интерактивную оболочку путем использования службы Task Scheduler или вызова службы командного процессора через «named pipes» (именованные каналы). Это позволяет выполнять команды с

повышенными привилегиями без необходимости записывать файлы на диск, что делает его менее заметным для антивирусов.

AtExec работает через механизм планировщика заданий Windows (Task Scheduler) и использует интерфейс Windows AT для запуска команд на удаленной системе. Он ограничен тем, что работает только с привилегированными учетными записями и не предоставляет интерактивную оболочку. В современных версиях Windows AT-команды устарели, что снижает практическую применимость данного инструмента. WMIExec использует Windows Management Instrumentation (WMI) для выполнения команд на удаленной системе. В отличие от PsExec и SMBExec, он не создает новый процесс с повышенными привилегиями, а выполняет команды в контексте пользователя, что делает его менее заметным. Однако этот метод ограничен в возможностях интерактивного взаимодействия, так как команды выполняются в разрозненном режиме и могут не поддерживать полноценный ввод-вывод. Перечисленные утилиты входят в пакет Impacket – это набор скриптов, разработанный для работы с сетевыми протоколами Windows, включая SMB, WMI и RPC. Impacket широко используется в области кибербезопасности для тестирования на проникновение, так как позволяет исследователям эмулировать атаки на инфраструктуру Windows, анализировать уязвимости и проверять защитные механизмы.

В этом случае техники T1021 (Remote Services) и T1078 (Valid Accounts) из базы MITRE ATT&CK являются не мало важными элементами атак, направленных на инфраструктуру Windows. Техника T1021 («Remote Services», удаленные сервисы) описывает использование удаленных сервисов для выполнения команд, администрирования систем или доступа к данным. Атакующие могут применять встроенные сервисы Windows, такие как SMB (Server Message Block), WMI (Windows Management Instrumentation) и Task Scheduler, для удаленного управления скомпрометированными машинами. Эти механизмы позволяют злоумышленникам распространяться по сети, выполнять команды на удаленных хостах и скрываться среди легитимного трафика. Вышеупомянутые скрипты из набора Impacket используются для удаленного выполнения команд. Например, SMB позволяет загружать и запускать исполняемые файлы, WMI предоставляет механизм выполнения команд без необходимости создавать новые процессы с SYSTEM-правами, а планировщик задач позволяет выполнять команды в заранее запланированное время. В рамках тактики горизонтального перемещения стоит упомянуть про технику T1570 («Lateral Tool Transfer», передача инструментов внутри периметра). Она описывает передачу и запуск инструментов на удаленных системах для выполнения команд с повышенными привилегиями. Например, PsExec копирует исполняемый файл на удаленный хост перед выполнением, тогда как SMBExec и WMIExec позволяют выполнять команды без сохранения файлов, что снижает вероятность обнаружения. Эксплуатация этой техники позволяет атакующим закрепляться в сети, углублять компрометацию и обходить средства защиты.

Детектирование данных инструментов можно осуществлять с помощью различных артефактов, оставляемых в системе. Основные источники информации для обнаружения подобных атак включают журналы событий, реестр, файловую систему и артефакты в памяти. В статье представлены основные логи событий для детектирования данной активности, информацию по артефактам в реестре и в файловой системе можно изучить в плакате SANS_FOR_508_v4.10_02-23 Hunt Evil Poster. [3] Логи событий (Event Logs). AtExec. *Security Log:* Event ID 4672, Event ID 4648; *System Log:* Event ID 7045.

PsExec. *Security Log:* Event ID 4624,Event ID 4648, Event ID 4688. *System Log:* Event ID 7045.

WMIExec. *Security Log:* Event ID 4648, Event ID 4688. *System Log:* Event ID 10005, Event ID 33.

Специфические логи для SMB и WMI: PsExec и SMBExec: *Microsoft-Windows-SMBServer/Operational* – фиксируются события, связанные с сетевым доступом через SMB.

События, такие как Event ID 5140 (доступ к общим ресурсам), могут указывать на использование PsExec и SMBExec для передачи команд и файлов на удаленную систему.

WMIExec:*Microsoft-Windows-WMI-Activity/Operational* – фиксируются действия, связанные с WMI. События Event ID 5858 (исполнение WMI-запроса) могут указывать на активность, связанную с использованием WMIExec для выполнения удаленных команд через WMI-интерфейс. Эта информация может помочь детектировать использование вышеперечисленных инструментов.

Impacket как инструмент атаки при тактике горизонтального перемещения: Impacket – набор python-модулей, который является основой для разработки инструментов для атак. Он поддерживает практически все протоколы в Windows. SecurityLab в глоссарии содержит следующее определение: *«Impacket — это набор классов Python для работы с сетевыми протоколами, такими как SMB, MSRPC, Kerberos и другие. Он позволяет создавать и анализировать сетевые пакеты, а также реализовывать различные атаки на целевые системы».* [4]

Модуль Impacket SMBExec использует технику T1569.002 (Service Execution, исполнение через службу) для выполнения команд с повышенными привилегиями. В процессе атаки он создает на целевой системе службу, имя которой жестко задано в коде скрипта разработчиком - «BTOBTO». Поскольку злоумышленники иногда забывают изменить это значение или намеренно оставляют его без изменений, данный признак может служить надежным индикатором компрометации системы с использованием Impacket SMBExec.

Первое, на что можно обратить внимание при использовании SMBExec и службы «BTOBTO» — это индикатор Event ID 7045 (создание службы). Пример выполнения разведки на удаленных хостах с помощью SMBExec:

Service Name: BTOBTO

Service File Name: %COMSPEC% /Q /c echo cd > \\127.0.0.1\C$__output 2>^&1 > %TEMP%\execute. bat & %COMSPEC% /Q /c %TEMP%\execute.bat & del %TEMP%\execute.bat

Service Type: user mode service

Service Start Type: demand start

Service Account: LocalSystem

Разбор скрипта: *%COMSPEC% /Q /c echo dir c:\Users ^> \\127.0.0.1\C$__output 2^>^&1 > %TEMP%\execute*.bat & %COMSPEC% /Q /c %TEMP%\execute.bat & del %TEMP%\execute.bat

Данный скрипт создаёт временный файл «execute.bat», который содержит команду для вывода списка файлов и каталогов в директории «C:\Users» и записи этого списка в файл «\\0.0.0.1\C$__output». Далее запускает этот файл через командную строку и удаляет временный файл «execute.bat». Стоит отметить, что вместо «echo dir» могла быть и другая команда. Например, для того чтобы проверить наличие интернет-соединение на атакуемой машине, злоумышленник может использовать команду «ping».

В качестве примера можно привести инцидент, произошедший в Аргентине из отчета лаборатории Касперского «Азиатские APT-группировки». [5]

Суть заключается в том, что в апреле 2022 года был зафиксирован инцидент, затронувший государственную структуру Аргентины. Анализ примененных тактик, техник и инструментов позволил предположить, что за данной атакой может стоять группировка APT Dark Seoul. Первичное исследование выявило, что злоумышленники использовали учетную запись с повышенными привилегиями для выполнения различных файлов в системе, включая запуск вредоносного программного обеспечения «HolyGhost Ransomware».

С целью выполнять команды на других машинах в сети злоумышленники использовали вход через легитимного локального администратора (или скомпрометированные во время атаки привилегированные аккаунты), что соответствует подтехнике Valid Accounts: Domain Accounts T1078.002 – доменные учетные записи. Доменные учетные записи – это учетные

записи под управлением доменных служб Active Directory, в которых настраиваются доступ и разрешения для систем и служб, входящих в соответствующий домен. Доменные учетные записи могут принадлежать пользователям, администраторам и службам.

Говоря об инструментах, которые позволяют удалённо выполнять какие-либо команды/задачи злоумышленника, для выполнения программ-вымогателей на других машинах в сети создавалась задача планировщика с запуском вредоносной программы. В отчете указана командная строка внутри шифровальщика:

«schtasks /create /tn lockertask /tr C:\Windows\btlc.exe /sc minute /mo 1 /F /ru system»

В данном случае злоумышленники использовали подтехнику Scheduled Task/Job: Scheduled Task T1053.005 – планировщик задач. Злоумышленники могут использовать планировщик задач Windows для выполнения программ при загрузке системы или по расписанию с целью закрепления в системе. Планировщик также может быть использован для удалённого выполнения при горизонтальном перемещении в сети и (или) для запуска процесса в контексте определенной учетной записи (например, SYSTEM). Для разведки и получения информации о сетевых подключениях и конфигурации злоумышленники использовали команды «netstat -nato», «ipconfig /all» «nslookup MACHINE_DOMAIN_NAME». Для дальнейшего распространения по сети, атакующие использовали RDP (Remote Desktop Protocol) и другие службы для подключения на машины. С целью разведки была выполнена команда с использованием сервиса «BTOBTO», принцип работы которого основан на модуле SMBExec из набора Impacket, о котором говорилось ранее. На иллюстрации № 1 отображен пример одной из выполненных команд для разведки (с использованием сервиса «BTOBTO»), содержащийся в отчёте лаборатории Касперского.

```
Service Name:  BTOBTO
Service File Name:  %COMSPEC% /Q /c echo route print > \\127.0.0.1\C$__output 2>^&1 > %TEMP%\
execute.bat & %COMSPEC% /Q /c %TEMP%\execute.bat & del %TEMP%\execute.bat
Service Type:  user mode service
Service Start Type:  demand start
Service Account:  LocalSystem

Service Name:  BTOBTO
Service File Name: %COMSPEC% /Q /c echo cd  > \\127.0.0.1\C$__output 2>^&1 > %TEMP%\execute.
bat & %COMSPEC% /Q /c %TEMP%\execute.bat & del %TEMP%\execute.bat
Service Type:  user mode service
Service Start Type:  demand start
Service Account:  LocalSystem
```

Рис.1. Пример выполнения разведки на удаленных хостах с помощью SMBExec.
Fig.1. An example of performing exploration on remote hosts using SMBExec.

Как отмечают авторы отчета, применяемые тактики и техники были стандартными. Шифрование пользовательских данных осуществлялось с помощью вредоносного программного обеспечения «HolyGhost». Оно способно формировать задачи в планировщике на устройствах в сети, что позволяет ему распространяться и шифровать данные на других узлах. Данное вредоносное программное обеспечение, разработанное на языке «Go», обладает возможностями выявления запуска в виртуальной среде, отключения сетевых шар пользователей, а также создания и удаления сервисов, отвечающих за его выполнение. «HolyGhost» – программа-вымогатель, нацелен на корпоративные сети и занимается многопользовательским вымогательством, требуя плату за инструменты дешифрования, а также за неразглашение украденных данных. Таким образом, рассмотрение атак с использованием тактики горизонтального перемещения на примере некоторых инструментов пакета Impacket позволяет получить представление о механизмах работы злоумышленников внутри инфраструктуры Windows.

Заключение

Рассмотренный в статье практический пример, исследованный лабораторией Касперского, демонстрирует, как данные инструменты эффективно применяются в реальных сценариях для распространения и закрепления в сети атакуемых организаций. В связи с этим актуальность разработки и внедрения эффективных мер детектирования и предотвращения горизонтального перемещения становится очевидной.

Список источников

1. MITRE ATT&CK. Lateral Movement [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://attack.mitre.org/tactics/TA0008/ (дата обращения: 24.03.2025).
2. MITRE ATT&CK. Tactics overview [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://attack.mitre.org/tactics (дата обращения: 24.03.2025).
3. SANS Institute. Hunt Evil Poster [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.sans.org/posters/hunt-evil/ (дата обращения: 25.03.2025).
4. SecurityLab. Глоссарий: Impacket [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.securitylab.ru/glossary/impacket/ (дата обращения: 25.03.2025).
5. Лаборатория Касперского. Азиатские APT-группировки: тактики, техники и процедуры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://go.kaspersky.com/rs/802-IJN-240/images/Report_TTPs_of_Asian_APT_groups_ru.pdf (дата обращения: 28.03.2025).

METHODS FOR DETECTING LATERAL MOVEMENT ATTACKS IN CONTROL NETWORKS OF RADIO-ELECTRONIC SYSTEMS WITHIN SPACE COMPLEX INFRASTRUCTURE

Y.V. Molodcova[1], M.D. Novikov[2], D.V. Kryukova[3], M.A. Okella[4]
[1-4] Bauman Moscow State Technical University
[1]mol_ji@bmstu.ru, [2] nmd@bmstu.ru , [3]kryukova.d@bmstu.ru, [4]okellama@student.bmstu.ru

Abstract

Modern cyber threats are constantly evolving, acquiring more and more complex forms and methods of dissemination. One of the key stages of attacks aimed at corporate networks is horizontal movement ("lateral movement"). Impacket package tools become relevant in the context of such attacks, among which PsExec, SMBExec, WMIExec and AtExec stand out. These tools are distinguished by their effectiveness and a variety of implementation methods, which complicates the process of detecting them with standard security tools.

Keywords

Horizontal movement, lateral movement, Impacket, PsExec, SMBExec, WMIExec, AtExec, MITRE ATT&CK, attack analysis, cyber attacks, Windows Event Log, attack detection, Windows artifacts, infrastructure protection.

УДК 621.396.96

ИНТЕГРАЦИЯ СПУТНИКОВОГО И НАЗЕМНОГО СЕГМЕНТОВ В СЕТЯХ 5G и 6G

О.И. Пугачев[1], **В.О. Осипова**[2]
[1–2] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] pugachev@mirea.ru, [2] osipova@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Интеграция спутникового и наземного сегментов в сетях связи позволит обеспечить высокоскоростную связь с низкой задержкой как в густонаселенных районах, так и в малонаселенных и труднодоступных местах. Благодаря интеграции повышаются возможности предоставления высокого качества оказываемых услуг и сервисов связи. Объектом исследования являются гибридные сети пятого и шестого поколений, использующие спутниковый и наземный сегменты.

Цель. Показать состояние и возможности создания спутникового сегмента сетей 5G и 6G на этапе стандартизации.

Результаты. Проведен анализ принципов и особенностей построения гибридные сети пятого и шестого поколений, использующие спутниковый и наземный сегменты. Описана общая архитектура гибридных сетей 5G и 6G. Выявлены проблемы, возникающие при их проектировании.

Практическая значимость. Проведенный анализ гибридных орбитально-наземных сетей дал понимание для улучшения эффективности этих систем.

Ключевые слова

Интеграция,5G; 6G; гибридные орбитально-наземные сети связи.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Интеграция спутникового и наземного сегментов сетей имеет целью создание гибридных систем связи, обеспечивающих непрерывное подключение абонента в широких географических областях. Появление гибридных орбитально-наземных сетей связи (ГОНС) в Российской Федерации является одной из наиболее значимых тенденций технологического и рыночного развития сферы связи в соответствии со Стратегией развития отрасли связи до 2035 г. [1]. В гибридной системе **спутниковый и наземный сегменты взаимосвязаны, однако работают независимо [2,3,4].**

Гибридные сети используют преимущества как спутниковых, так и наземных сетей связи. Применение гибридной сети доступа позволяет улучшить обеспечение глобального покрытия, пропускную способность и надежность, а также уменьшить время доставки данных и повысить доступность услуг. Современные технологии интеграции спутниковых и наземных сетей развиваются по трем основным направлениям:

- Универсальный сетевой доступ - возможность абонентских терминалов, подключенных к спутниковым сетям, получать доступ к различным типам сотовых сетей связи
- Комбинированные модемные решения - оснащение пользовательских устройств двумя независимыми модулями связи (спутниковым и сотовым), поддерживающими стандарты 5G
- Единый интерфейс подключения - использование обычных мобильных устройств для одновременной работы с наземными и спутниковыми сегментами телекоммуникационных сетей

Эти подходы позволяют реализовать:

- Гибридное сетевое взаимодействие
- Автоматическое переключение между типами соединений
- Сохранение непрерывности связи при переходе между зонами покрытия
- Оптимизацию использования доступных сетевых ресурсов

Цель работы – показать состояние и возможности создания спутникового сегмента сетей 5G и 6G на этапе стандартизации.

Интеграция спутникового и наземного сегментов в сетях 5G

Спутниковый сегмент займет важное место в инфраструктуре 5G. Он становится одним из актуальных направлений развития стандартизации сетей 5G. Ведущие международные организации связи, крупные производители проводят исследования спутникового сегмента 5G. Консорциум 3GPP разработал в 2022 году стандарт с использованием спутникового сегмента для сетей 5G. В релизе Rel.17 3GPP [5] описаны требования для спутникового сегмента сетей 5G. Он предусматривает работу системы в различных диапазонах частот и с разными типами орбит спутников (низкоорбитальные LEO, среднеорбитальные MEO и геостационарные GEO). Релиз Rel.18 3GPP содержит обновления частот, сервисов и моделей трафика [6]. На рисунке 1 представлена трансформации поколений 5G и 6G 3GPP.

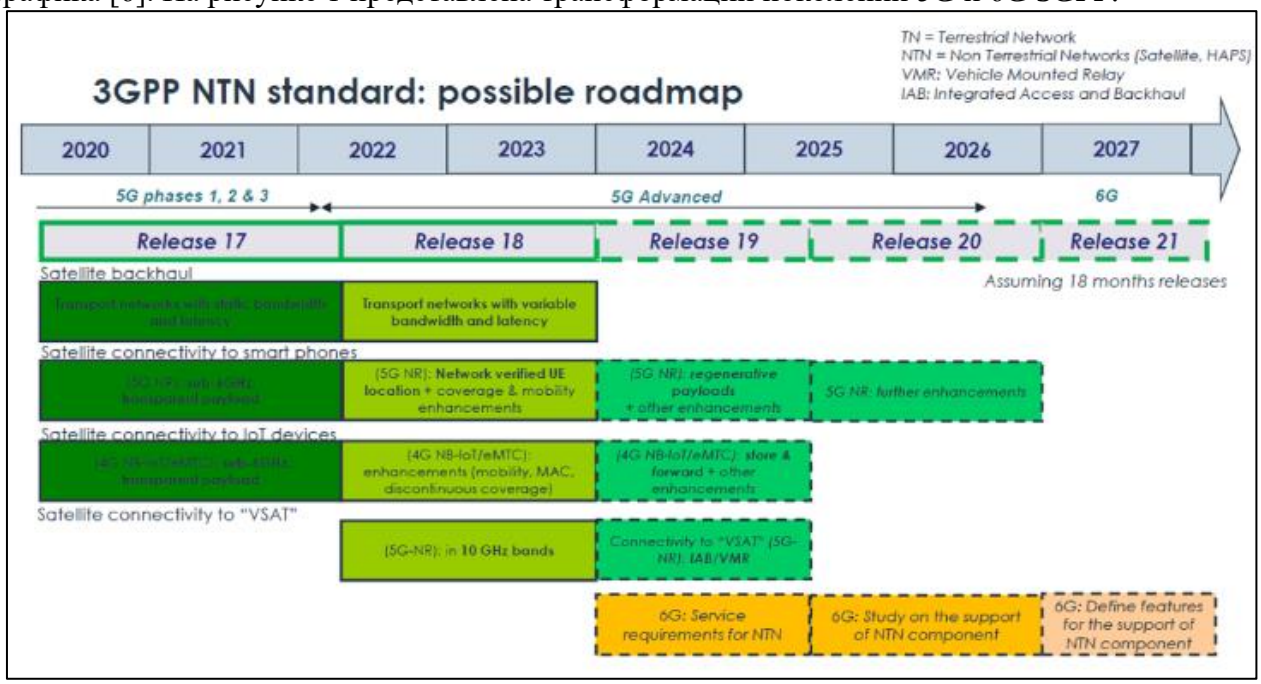


Рис. 1. Развитие 5G и 6G 3GPP
Fig. 1. The development of 5G and 6G 3GPP

Архитектура сети связи 5G состоит из следующих составляющих [7]:

- сеть радиодоступа (RAN);
- базовая сеть;
- сегментация сети;
- виртуализация сетевых функций (NFV).

Особенность архитектуры сети 5G состоит в том, что она строится на основе программно-конфигурируемых сетей (SDN), а также виртуализации сетевых функций (NFV), т.е. на основе программных решений. Архитектура ГОНСС 5G включает в себя два основных компонента: спутниковый и наземный сегменты (рисунок 2). Спутники обеспечивают покрытие отдаленных регионов со слабо развитой наземной инфраструктурой. В состав наземных сетей входят базовые станции и шлюзы, обеспечивающие передачу речи, данных, поисковых вызовов через спутник на терминалы абонентов. ГОНСС должна иметь гибкую и масштабируемую архитектуру со слоями, взаимодействующими по отдельным сетевым интерфейсам [8].

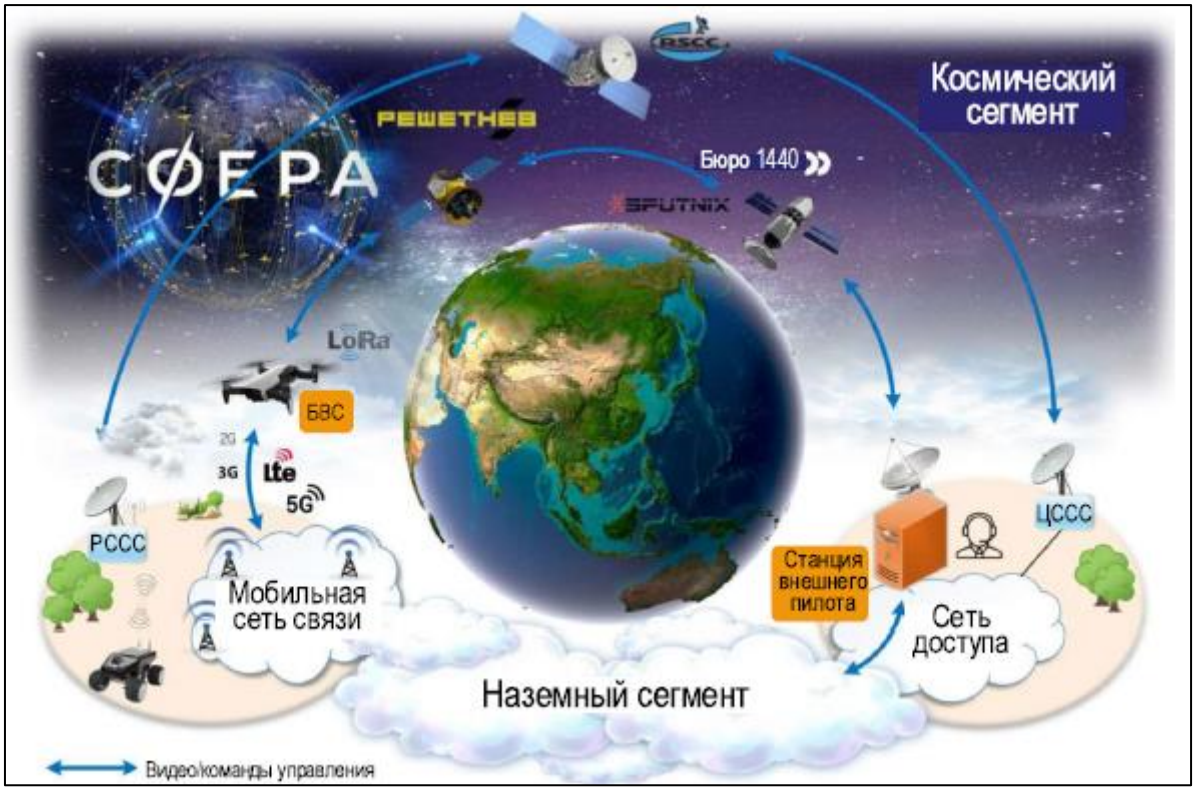


Рис. 2. Архитектура гибридной орбитально-наземной сети связи 5G
Fig. 2. Architecture of the 5G hybrid orbital-terrestrial communication network

Спутниковый сегмент сети 5G может быть построен как многодиапазонный с разделением на частотные диапазоны ниже 6 ГГц и выше 6 ГГц [9]. В настоящее время спектр ниже 6 ГГц практически не имеет свободных участков. В отличие от него спектр выше 6 ГГц содержит свободные участки для приложений 5G. В релизе Rel.17 3GPP для спутниковой связи выделены специальные частотные поддиапазоны *n256* и *n255* (таблица 1.) Они находятся в пределах до 6ГГц. В период с 2028 по 2032 год планируется завершение процесса стандартизации принципиально новой интегрированной мобильной сети пятого и шестого поколений (5GA/6G), объединяющей наземные, воздушные и космические сегменты связи. Эта унифицированная архитектура позволит создать глобальную бесшовную инфраструктуру связи нового типа [1].

Таблица 1. Данные о частотах для спутниковой связи

Название частотного поддиапазона 5G FR1	Частота в восходящей линии связи (телефон передает), МГц	Частота в нисходящей линии связи (телефон принимает), МГц
n256	1980 – 2010	2170 – 2200
n255	1626,5 – 1660,5	1525 – 1559

Внедрение спутникового сегмента в сети 5G кардинально преобразует глобальную связь, обеспечив повсеместное покрытие, включая удаленные и труднодоступные регионы. Этот симбиоз технологий позволит достичь сверхнизких задержек (1-5 мс), расширить функциональные возможности (Интернет вещей, промышленная автоматизация, экстренная связь) и повысить экономическую эффективность (до 30% экономии на инфраструктуре в сельской местности). Интеграция низко- и среднеорбитальных спутниковых группировок с наземными базовыми станциями, дополненная интеллектуальными системами распределения ресурсов и универсальными терминалами, создает устойчивую гибридную архитектуру. [9].

Интеграция спутникового и наземного сегментов в сетях 6G

Предполагается, что **6G, планируемый к вводу в эксплуатацию к 2030 году [1],** улучшит ключевые показатели эффективности (KPI): скорость, надежность, низкую стоимость, емкость, связь, низкую задержку, доступность, охват, зондирование, доверие и безопасность [10]. **6G будет использовать более высокие диапазоны частот, чем 5G. В результате технология 6G обеспечит в сравнении с 5G более высокую скорость передачи данных** (1 Тбит/с) **и небольшую задержку в сети радиодоступа (**до 10 нс) [11]. Важную роль при разработке виртуальных сетевых архитектур систем шестого поколения будут играть программные решения, основанные на вычислительных возможностях agile SDN, NFV и fog [12] Наземные беспроводные сети и спутниковые сети в 6G будут неделимой сетью, функционирующей в едином стандарте. Архитектура сетей шестого поколения основывается на интеграции наземного и воздушно-космического сегмента (рисунок 3). Она создает условия расширения пространства покрытия и связи абонентов в любое время и в любом месте [13].

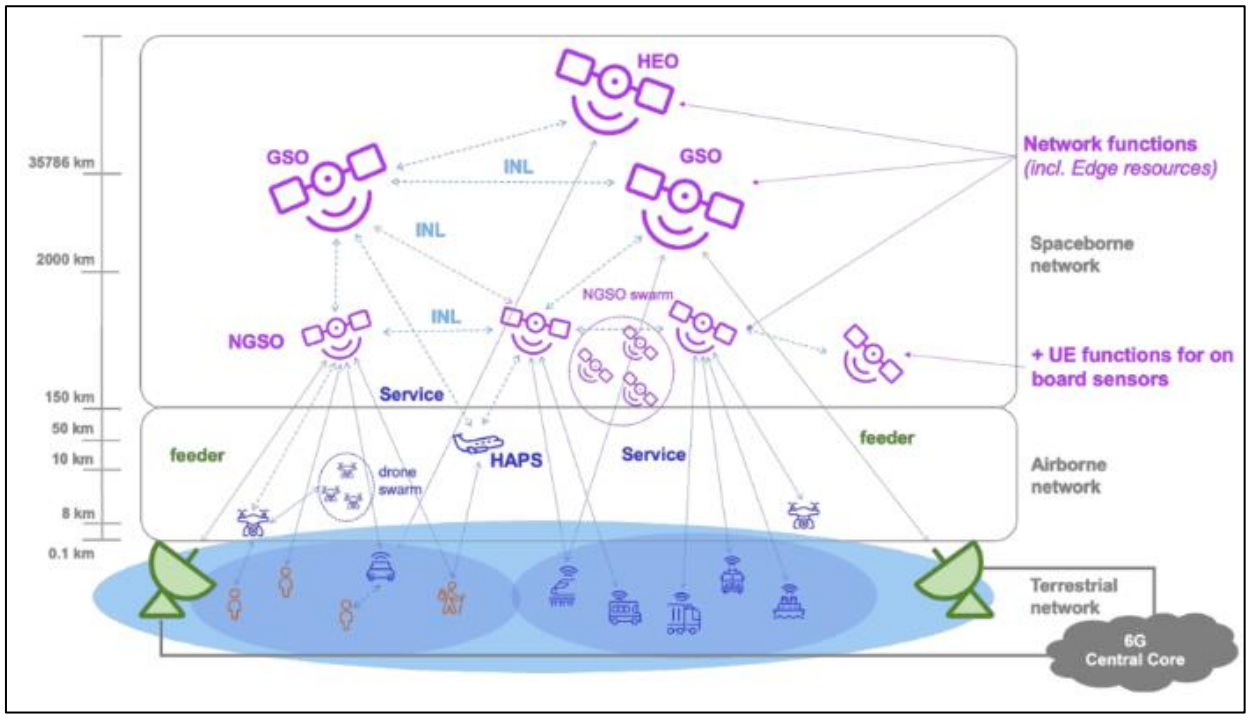


Рис. 3. Архитектура гибридной орбитально-наземной сети связи 6G
Fig. 3. Architecture of the 6G hybrid orbital-terrestrial communication network

Проблемы, возникающие при создании гибридных орбитально-наземных сетей связи

При разработке гибридных космическо-наземных телекоммуникационных систем нового поколения специалисты сталкиваются с комплексом технологических и экономических вызовов. Ключевыми из них являются:

- Существенные капитальные затраты на развертывание инфраструктуры интегрированных сетей
- Ограничения современных антенных систем, напрямую влияющие на качество передаваемого сигнала
- Проблемы временной синхронизации, приводящие к повышенным задержкам передачи данных по сравнению с традиционными наземными решениями
- Дефицит доступных частотных ресурсов при внедрении инновационных сервисов
- Требования к разработке энергосберегающих решений для устойчивой работы системы
- Вопросы межсистемной совместимости оборудования при технологической миграции
- Электромагнитная интерференция между спутниковыми и наземными каналами связи

- Зависимость от импортных технологий, актуализирующая необходимость создания отечественной низкоорбитальной спутниковой группировки [14].

Эти технологические барьеры требуют комплексных инженерных решений и скоординированных действий регуляторных органов для успешной реализации перспективных сетевых архитектур.

Заключение

В данной работе проведен анализ возможностей **интеграция спутникового и наземного сегментов в сетях связи пятого и шестого поколений. Спутниковые сегменты эффективно дополняют и расширяют наземные сегменты гибридных сетей связи.** Разработка гибридных сетей, использующих спутниковый и наземный сегменты, является важнейшей тенденцией глобального технологического развития связи.

Список источников

1. Распоряжение Правительства РФ от 24.11.2023 N 3339-р «Об утверждении Стратегии развития отрасли связи Российской Федерации на период до 2035 года».
2. TR-348 Hybrid Access Broadband Network Architecture. Issue: 1. Issue Date: July 2016, Broadband Forum, Technical Report.
3. ETSI TR 103 124 Satellite Earth Stations and Systems (SES); Combined Satellite and Terrestrial Networks scenarios V1.1.1, Technical Report, 2013-07.
4. ETSI TR 103 272 Satellite Earth Stations and Systems (SES); Hybrid FSS satellite/terrestrial network architecture
5. 3GPP TR 21.917 Release description; Release 17.
6. 3GPP TR 21.918 Release description; Release 18.
7. *Вайтакр Я.* Потребность в 5G. проблемы разработки и тестирования. Вестник связи, 2014. – № 8. – С. 4-6.
8. Recommendation ITU-T Y.3104 (12/2018). Architecture of the IMT-2020 network.
9. *Тихвинский В.О., Стрелец М.В.* Перспективы создания спутникового сегмента 5G. Первая миля» № 1, 2018. 16-25 с
10. *Кузнецов К. А.* Исследование и разработка методов предоставления услуг телеприсутствия в сетях связи шестого поколения: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.12 / Кузнецов Константин Алексеевич — СПб, 2024. — 125 с.
11. *Тихвинский В.О., Девяткин Е.Е., Смирнов Ю.Я.* Перспективы использования терагерцового диапазона частот в сетях 6G Часть 1. Первая миля, №7, 2022. 44-50 с.
12. *Тьяго Р. Раддо, Simon Rommel, Бруно Чимоли и др.* Технологии перехода к сетям 6G. Журнал EURASIP по беспроводным коммуникациям и сетям, номер статьи: 100 (2021).
13. *Тихвинский В.О., Девяткин Е.Е., Белявский В.А.* Архитектура сетей 6G: принципы и особенности построения. . Часть 1. Первая миля, №3, 2022. -50-56 с.
14. *Шаханова М.В., Битян М.А., Шаханова Э.С.* Информационная безопасность в космической сфере // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. –2024 –Т. 9 № 2(40) с. 97–101.

INTEGRATION OF SATELLITE AND TERRESTRIAL SEGMENTS IN 5G AND 6G NETWORKS

O.I. Pugachev [1], **V.O. Osipova** [2]
[1–2] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] pugachev@mirea.ru, [2] osipova@mirea.ru

Abstract

This study explores the integration of satellite and terrestrial segments in 5G and 6G networks, addressing challenges such as global coverage, latency, and spectrum efficiency while highlighting advancements in hybrid architectures, standardized frequency bands (e.g., n256, n255), and emerging 6G technologies like terahertz communications. The analysis underscores the practical implications for scalable, secure, and high-performance networks, offering insights for future standardization and deployment in both urban and remote areas.

Keywords

Integration, 5G; 6G; hybrid orbital-terrestrial communication networks.

УДК 621.396.67

ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫЙ КАНАЛ СВЯЗИ С СИНФАЗНОЙ АНТЕННОЙ SDR-РЕШЕТКОЙ

И.В. Путилин[1], **Ю.А. Полевода**[2]
[1–2] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] putilin.i.v@edu.mirea.ru, [2] polevoda@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. В современных условиях стремительного развития технологий связи, задача обеспечения надежности и устойчивости каналов передачи информации становится как никогда актуальной. Особенно важное значение это приобретает в контексте использования современных подходов, таких как синфазные антенны и программно-определяемые радиосистемы (SDR), которые открывают новые горизонты для повышения пропускной способности и помехоустойчивости коммуникационных систем.

Цель. Оценка помехоустойчивости канала связи при использовании синфазной антенной решетки, построенной по SDR-технологии.

Результаты. Проведена оценка помехоустойчивости канала связи, получены графики и численные значения зависимости позиционности сигнала с квадратурной амплитудной манипуляцией от уровня ретрансляционных помех.

Практическая значимость. Полученные результаты позволяют оценить помехоустойчивость синфазной антенной решетки, построенной по SDR-технологии в условиях реальной работы.

Ключевые слова

SDR, манипуляция, канал связи, позиционность, антенная решетка, сигнальное созвездие.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Среда распространения радиоволн существенно влияет на проходящие через нее радиосигналов. Помимо аддитивных шумовых помех в канале связи наблюдаются сосредоточенные помехи от других радиосредств и ретранслированные помехи, которые вызваны многолучевым распространением радиоволн при их отражении от препятствий и преломлении.

Существуют различные методы борьбы с многолучевостью в канале связи – это применение канальных эквалайзеров, управление диаграммой направленности (ДН) антенны, увеличение интервалов в передаваемой последовательности импульсов и применение систем разнесенного приема. Одним из эффективных способов борьбы с многолучевостью в каналах связи является использование направленных антенн и антенных систем, позволяющих осуществлять пространственную фильтрацию принимаемых сигналов.

Описание антенной решетки

Для реализации антенной решетки применены приемники и передатчики, построенные по технологии SDR. В роли передатчика использован ZEDBOARD, в качестве 8 приемников использованы RTL-SDR, расположенные согласно рисунку 1:

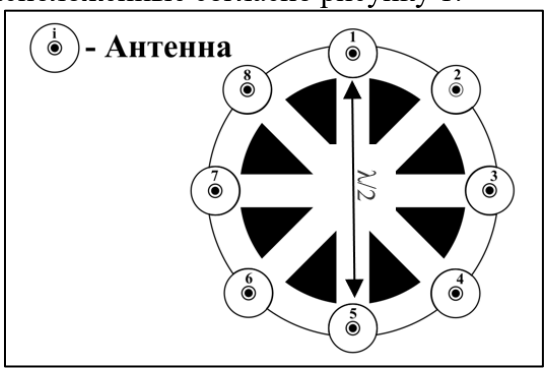


Рис. 1. Схема антенной решетки
Fig. 1. Antenna array scheme

Программно-определяемые радиосистемы были выбраны из-за особенности работы данной технологии, а именно SDR-технология позволяет на уровне программного проектирования создавать архитектуру и управлять параметрами и настройками устройств при помощи средств программирования [1].

В настоящее время SDR–технология используется в гражданской сфере радиолюбителями, для создания систем интернета вещей (IoT) [2], в сфере деятельности спецслужб, например, для поиска закладных радиоустройств [3], а также радиолюбителями для опытов с приемом и передачей радиосигналов.

Синфазная антенная решетка позволяет эффективно передавать сигнал и увеличивать качество приема полезного сигнала [4].

На рисунке 2 изображена структурная схема антенной решетки. Сигналы, поступающие на элементы антенны (1-8) приходят в блоки задержки (9-16), после чего приходят в сумматор (17). Блоки задержки необходимы для того, чтобы сигналы приходили в сумматор синфазно, задержка для каждого блока реализована программно. Сигнал, выходящий после сумматора, представляет собой сигнал, получаемый на выходе синфазной антенной SDR решетки [5].

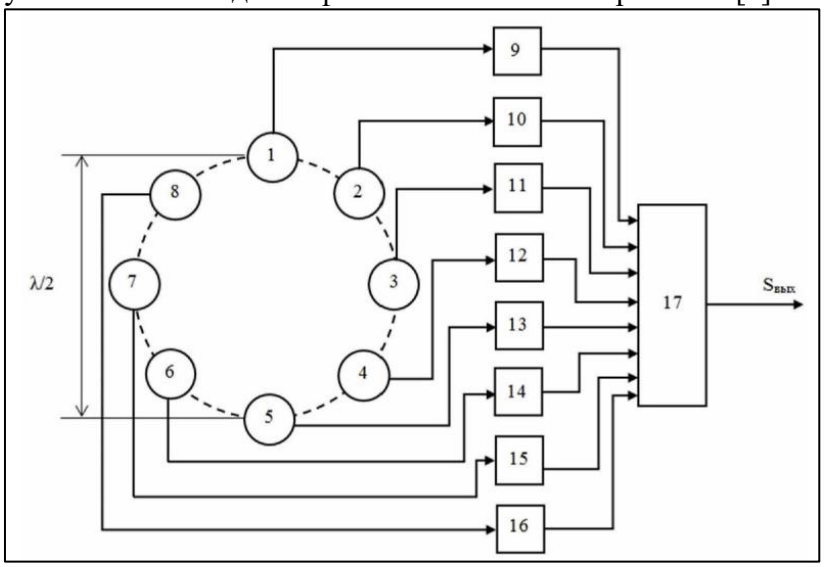


Рис. 2. Структурная схема антенной решетки
Fig. 2. Structural diagram of the antenna array

Описание используемых видов манипуляций

В настоящее время всё более актуальными становятся вопросы передачи радиосигналов в ограниченном частотном канале с требуемым качеством, в связи с этим все чаще используются различные взаимодействия с сигналом, именуемые манипуляциями [6].

Для выполнения оценки помехоустойчивости канала связи была использована квадратурная амплитудная манипуляция (КАМ). Квадратурная амплитудная манипуляция – разновидность амплитудной манипуляции, которая является суммой двух несущих колебаний одной частоты, но сдвинутых по фазе на $\frac{\pi}{2}$ относительно друг друга [7].

Квадратурная амплитудная манипуляция имеет определенные преимущества, которые выделяют ее среди остальных видов манипуляций:

- возможность передачи аналоговых и цифровых сигналов;
- хорошая помехоустойчивость;
- широкая область применения;
- поддержка многоуровневой манипуляции;
- высокая скорость передачи данных.

Данная манипуляция применяется в следующих системах связи:

- спутниковые системы связи (ССС) – один из видов радиокоммуникации, при котором искусственные спутники Земли в тексте используются для ретрансляции сигнала [8-9];

- системы спутникового видеовещания DVB-S (Digital Video Broadcasting-Satellite);
- системы VSAT (Very Small Aperture Terminal) для доступа в Интернет [10];
- стандарты мобильной связи, такие как GSM, UMTS, LTE и 5G.

Существуют различные виды квадратурной амплитудной манипуляции в зависимости от позиционности. В данной работе будут рассматриваться следующие позиционности: 4-КАМ, 16-КАМ, 32-КАМ, 64-КАМ. Сигнальные созвездия приведенных манипуляций приведены на рисунках 3-6.

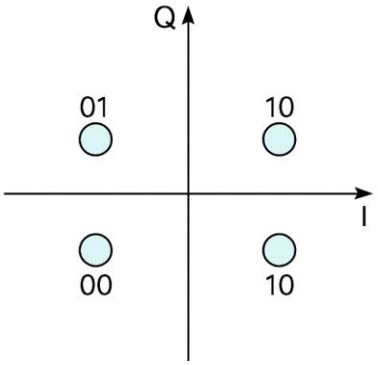


Рис. 3. Сигнальное созвездие 4-КАМ
Fig. 3. Signal constellation of 4-QAM

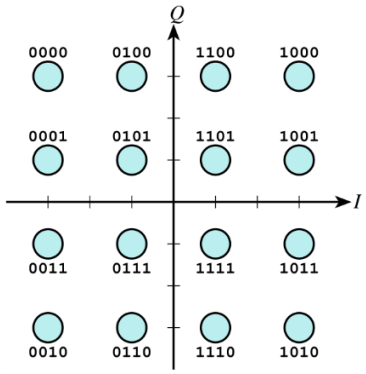


Рис. 4. Сигнальное созвездие 16-КАМ
Fig. 4. Signal constellation of 16-QAM

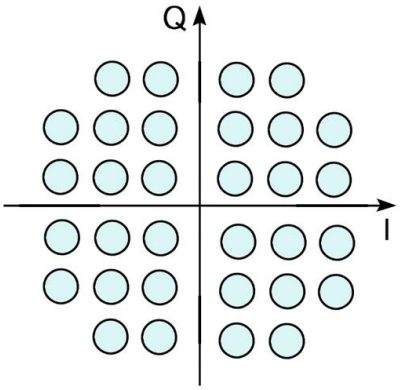


Рис. 5. Сигнальное созвездие 32-КАМ
Fig. 5. Signal constellation of 32-QAM

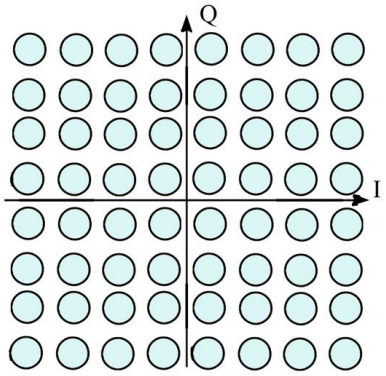


Рис. 6. Сигнальное созвездие 64-КАМ
Fig. 6. Signal constellation of 64-QAM

Оценка помехоустойчивости с использованием антенной решетки с RTL-SDR

Для оценки помехоустойчивости канала связи были проведены измерения с использованием антенной решетки с разным количеством антенных элементов при изменяющемся уровне ретрансляционных помех и были получены графики зависимости амплитуды сигнала от уровня ретрансляционных помех. Данная зависимость позволяет определить наиболее оптимальную позиционность квадратурной амплитудной манипуляции для работы в условиях ретрансляционных помех. Полученные графики приведены на рисунках 7-10.

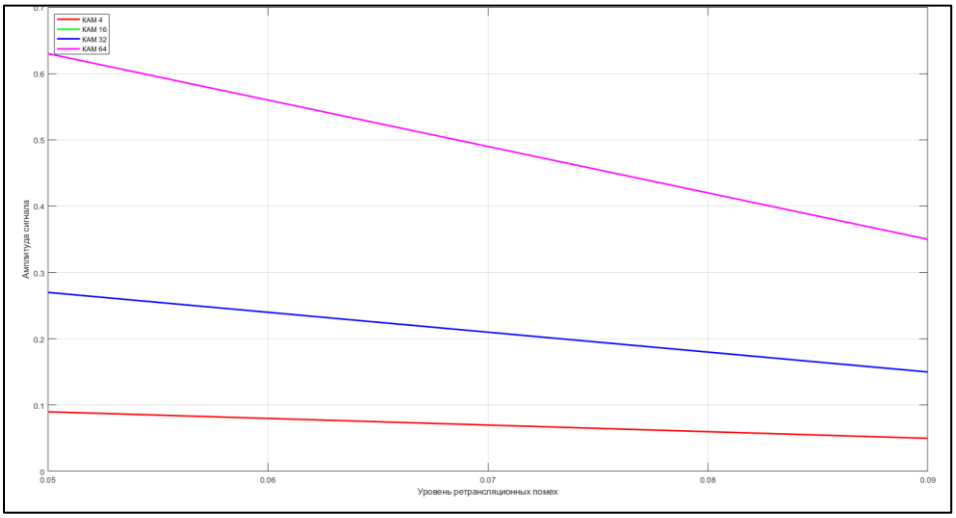


Рис. 7. Зависимость амплитуды сигнала от уровня ретрансляционных помех для 1 антенного элемента
Fig. 7. The dependence of signal with QAM constellation positioning on the level of relay interference for a single antenna element

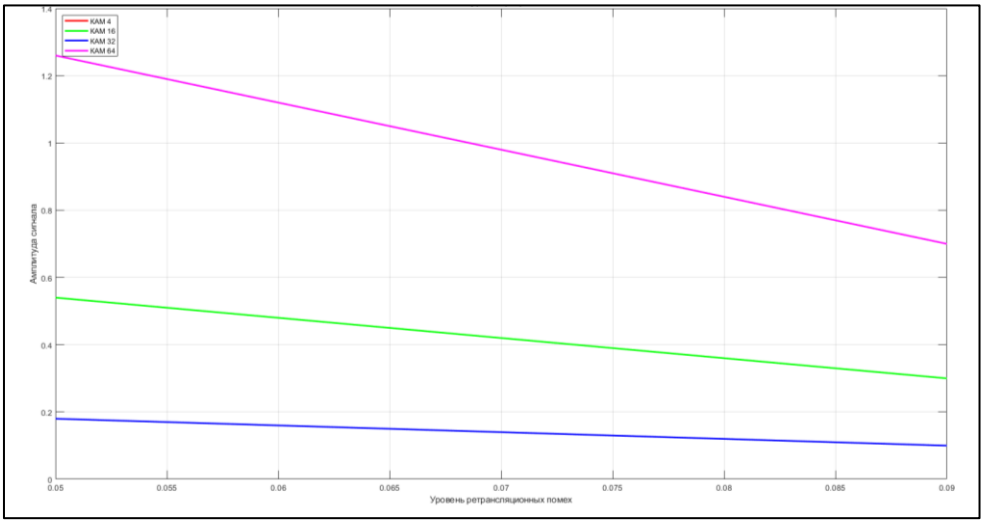


Рис. 8. Зависимость амплитуда сигнала от уровня ретрансляционных помех для 2 антенных элементов
Fig. 8. The dependence of signal with QAM constellation positioning on the level of relay interference for 2 antenna elements

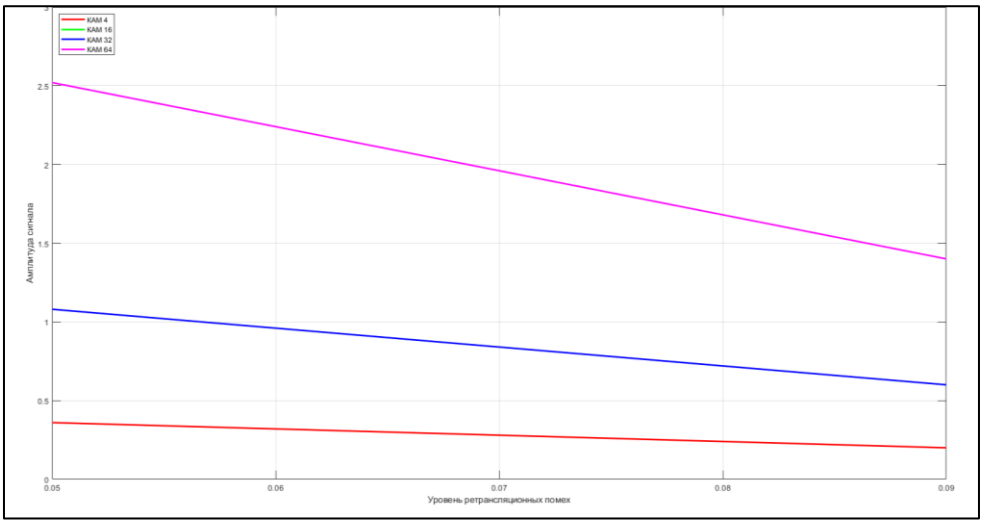


Рис. 9. Зависимость амплитуды сигнала от уровня ретрансляционных помех для 4 антенных элементов
Fig. 9. The dependence of signal with QAM constellation positioning on the level of relay interference for 4 antenna elements

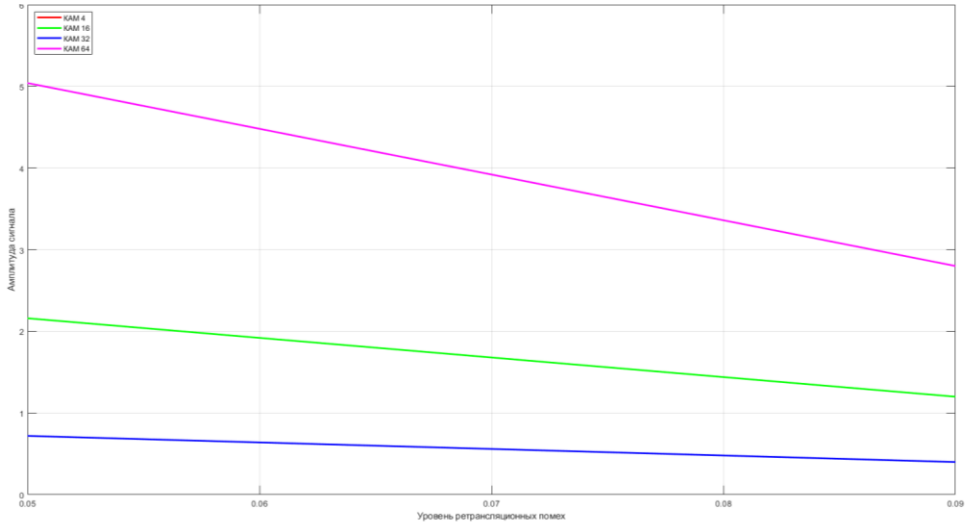


Рис. 10. Зависимость амплитуды сигнала от уровня ретрансляционных помех для 8 антенных элементов
Fig. 10. The dependence of signal with QAM constellation positioning on the level of relay interference for 8 antenna elements

Анализируя полученные графики, можно сделать вывод, что модуляция 64-КАМ является оптимальной для работы в условиях ретрансляционных помех, однако при использовании 1 антенны с фильтром оптимальной будет являться модуляция 4-КАМ при низком уровне ретрансляционных помех. При использовании 8 антенных элементов в антенной решетке при модуляции 64-КАМ происходит увеличение выигрыша в 8,1 дБ по сравнению с 1 антенным элементом при модуляции 64-КАМ, при использовании модуляции 32-КАМ происходит увеличение выигрыша в 2,9 дБ, при использовании модуляции 16-КАМ происходит увеличение выигрыша в 7,5 дБ и при использовании модуляции 4-КАМ выигрыша по уровню не происходит.

Оценка помехоустойчивости с использованием антенной решетки с ZEDBOARD

Для данной части исследования было принято решение о замене антенных элементов антенной решетки с RTL-SDR на ZEDBOARD ZYNQ-7000 из-за более широких технических возможностей, хорошей чувствительности и быстродействия. При использовании ZEDBOARD в качестве антенного элемента было решено провести оценка вероятности битовой ошибки в канале связи. Для этой оценки использовалась модуляция 16-КАМ. Схема анализа помехоустойчивости приведена на рисунке 11.

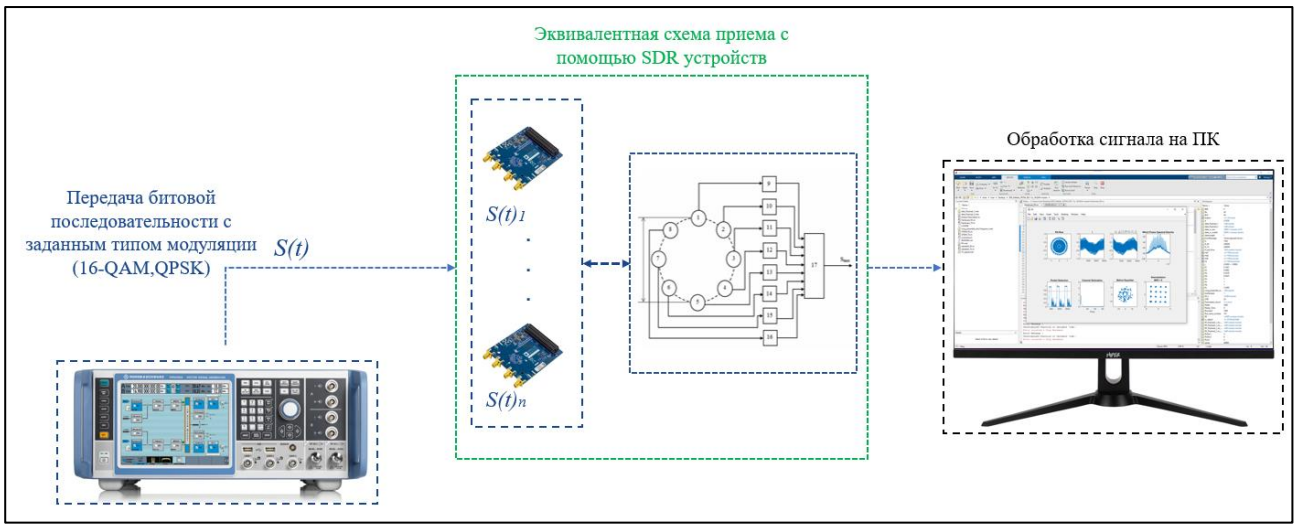


Рис. 11. Экспериментальная установка для анализа помехоустойчивости канала связи
Fig. 11. Experimental setup for analyzing communication channel noise immunity

При передаче сигнала цель – добиться значения вероятности битовой ошибки (BER, от англ. Bit Error Rate), равного нулю, как это показано на рисунке 12, за счет изменения поляризации антенн, положения антенн в пространстве и уменьшения уровня ретрансляционных и иных помех. При уменьшении вероятности битовой ошибки увеличивается качество канала связи, таким образом, чем меньше будет вероятность битовой ошибки, тем лучше будет прием антенны и качество связи.

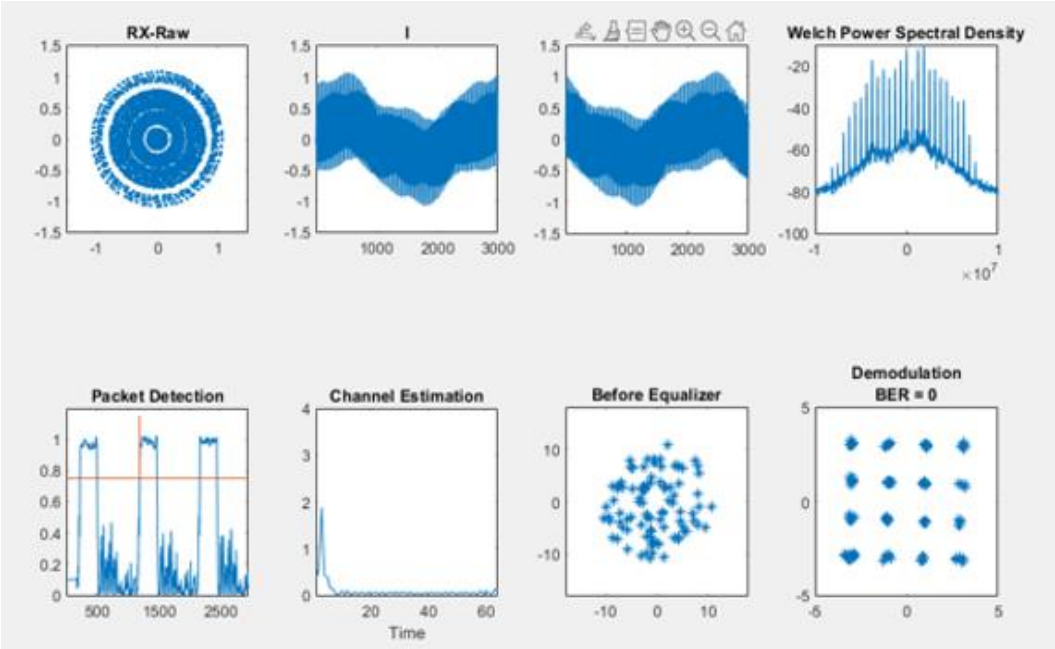


Рис. 12. Окно с выводимыми характеристиками канала связи
Fig. 12. Window displaying communication channel characteristics

Изменяя шумовую составляющую и измеряя вероятность битовой ошибки, получен график зависимости BER от интенсивности шумовой составляющей помехи, задаваемой программно, изображенный на рисунке 13.

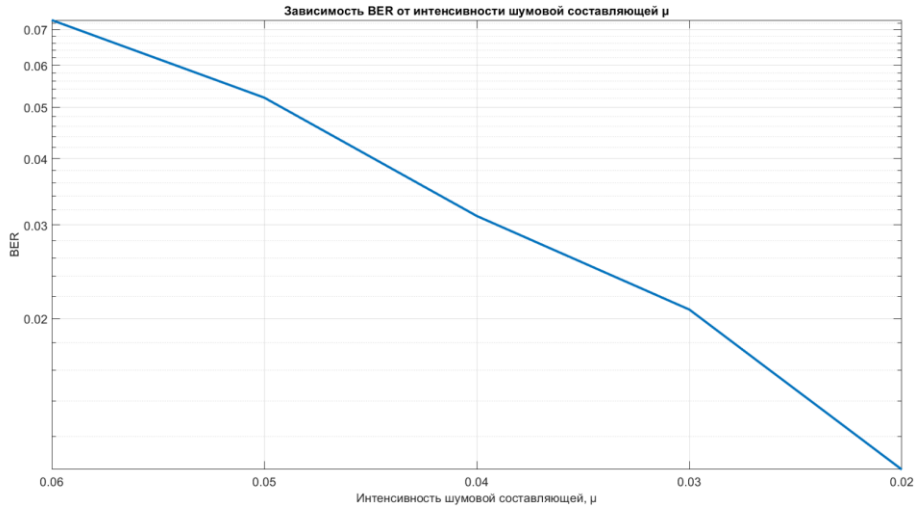


Рис. 13. График зависимости BER от интенсивности шумовой составляющей
Fig. 13. Plot of BER as a function of noise intensity

Из этого графика можно сделать вывод, что при увеличении интенсивности шумовой составляющей помехи повышается вероятность битовой ошибки, а значит ухудшается состояние линии связи. При максимальном значении интенсивности шумовой составляющей помехи (μ = 0.06) BER в 7 раз больше, чем при минимальном значении (μ = 0.02).

Заключение

В данной работе проведена оценка помехоустойчивости канала связи с синфазной антенной SDR-решеткой при использовании RTL-SDR и ZEDBOARD ZYNQ-7000 в качестве антенных элементов. Сравнивая полученные результаты при использовании антенной решетки с RTL-SDR, можно сделать вывод, что при использовании 8 антенных элементов в антенной решетке при модуляции 64-КАМ происходит увеличение выигрыша в 8,1 дБ по сравнению с 1 антенным элементом при модуляции 64-КАМ, при использовании модуляции 32-КАМ происходит увеличение выигрыша в 2,9 дБ, при использовании модуляции 16-КАМ происходит увеличение выигрыша в 7,5 дБ и при использовании модуляции 4-КАМ выигрыша по уровню не происходит. При использовании в качестве антенных элементов ZEDBOARD ZYNQ-7000 стояла цель добиться минимальной вероятности битовой ошибки, при оценке помехоустойчивости канала связи при программном изменении интенсивности шумовой составляющей было определено, что при максимальном значении интенсивности шумовой составляющей вероятность битовой ошибки в 7 раз больше, чем при минимальном значении.

Список источников

1. *Костин М.С., Ярлыков А.Д.* Архитектурно-конфигурируемые SDR-технологии радиомониторинга и телеметрии. Вологда, Инфра-Инженерия, 2021 – С. 7-11.
2. *Chen Yajing, Lu Shengshuo, Kim Hun-Seok, Blaauw David, Dreslinski Ronald G., Mudge Trevor*. Низкопотребляющий процессор радиоприёма с программным определением для Интернета вещей // Труды Международного симпозиума по высокопроизводительной архитектуре компьютеров (HPCA). Испания, 2016. С. 41–44.
3. *Буневич М.А., Майоров А.И., Врублевский И.А.* Применение SDR-приемопередатчиков в системах для поиска закладных радиоустройств. Цифровая трансформация. Минск, 2022. – Т. 28. - №4.– С. 65.
4. *Куликов Г.В.* Синфазная антенная решетка с электронно-регулируемой диаграммой направленности / *Костин М.С., Замуруев С.Н., Ярлыков А.Д., Полевода Ю.А*. // Патент на полезную модель RU 217728 U1, 2023.
5. *Куликов Г.В.* Следящая синфазная антенная решетка. / *Костин М.С., Замуруев С.Н., Полевода Ю.А, Коняшкин Г.В.* // Патент на полезную модель RU 224912 U1, 2023.
6. *Дворников С.В., Пшеничников А.В., Русин А.А., Дворников А.С.* Повышение помехоустойчивости сигналов КАМ-16 с трансформированными созвездиями // Вопросы радиоэлектроники. Серия Техника Телевидения. Москва, 2014. – №2. – С. 51.
7. *Троицкая А.Е., Полевода Ю.А.* Принцип создания канала связи с QPSK модуляцией в присутствии гауссовского шума в GNU RADIO// В сборнике: Радиолокация и связь - перспективные технологии. Сборник научных статей по материалам XX Всероссийская молодежная научно-техническая конференция. Москва, 2023. С 162-166.
8. *Трифонов П.А., Доан Т.Т*. Влияние узкополосных помех на точность оценки частотных параметров сверхширокополосных сигналов неизвестной формы // Охрана, безопасность, связь. Воронеж, 2023. – № 8-2. - С. 57-65.
9. *Сомов А.М., Корнев С.Ф*. Спутниковые системы связи: учебное пособие для вузов – М.: Горячая линия – Телеком, 2012. – 243с.
10. *Семенов О.Ю., Дёмко А.И*. Обработка радиосигнала в программе MATLAB SIMULINK // В сборнике: Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство. Сборник научных статей по итогам девятой международной научной конференции. Сургут, 2019. С. 165-169.

INTERFERENCE-RESISTANT COMMUNICATION CHANNEL WITH A COPHASED SDR ANTENNA ARRAY

I.V. Putilin [1], **Yu.A. Polevoda** [2]
[1–2] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] putilin.i.v@edu.mirea.ru, [2] polevoda@mirea.ru

Abstract

Problem statement. In the context of rapidly evolving communication technologies, ensuring the reliability and robustness of information transmission channels has become more critical than ever. This is particularly relevant with modern approaches such as phased array antennas and software-defined radio (SDR) systems, which open new possibilities for enhancing bandwidth and noise immunity in communication systems.

Objective. To evaluate the noise immunity of a communication channel using a phased array antenna implemented with SDR technology.

Results. The noise immunity of the communication channel was assessed, and graphical and numerical data were obtained showing the dependence of quadrature amplitude-modulated (QAM) signal positioning on relay interference levels.

Practical significance. The obtained results provide insights into the noise immunity of a phased array antenna based on SDR technology under real-world operating conditions.

Keywords

SDR, modulation, communication channel, positional stability, antenna array, signal constellation.

УДК.629.056.8

ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ В УСЛОВИЯХ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

Д.А. Туров[1], О.С. Макаров[2]
[1–2] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1]tda.93@mail.ru; [2]onardiy@yandex.ru

Аннотация

Постановка проблемы. С развитием технологий космической связи возрастает потребность в надёжной передаче информации в условиях воздействия внешних помех и больших расстояний. Особую актуальность приобретают вопросы разработки и совершенствования антенных систем радиопеленгаторов космического базирования, а также внедрение современных методов обработки сигналов, включая цифровую обработку и элементы искусственного интеллекта.

Цель. Исследовать архитектуру антенных систем и методы обработки сигналов для повышения устойчивости к космическим помехам, а также оценить эффективность современных кодов (Хэмминга, Рида-Соломона, LDPC, BB84) и нейросетевых алгоритмов при передаче данных с борта космических станций.

Результаты. Проведен анализ принципов работы антенных систем, описаны цифровые методы фильтрации, восстановления и кодирования сигналов, а также представлена блок-схема архитектуры обработки с применением ИИ. Приведены сравнительные характеристики кодов и параметры передачи при различных уровнях помех.

Практическая значимость. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании перспективных систем космической связи и навигации, обеспечивающих устойчивую и защищённую передачу данных в условиях реального космического воздействия.

Ключевые слова

Радиопеленгаторы, космическая навигация, помехоустойчивое кодирование, , цифровая обработка сигналов, искусственный интеллект.

Введение

Антенные системы радиопеленгаторов космического базирования – это сложные устройства, предназначенные для определения направления на источник радиосигнала в космическом пространстве. Они играют ключевую роль в навигации, связи, мониторинге космических объектов и обеспечении безопасности. В условиях растущего интереса к освоению космоса и увеличения количества спутников на орбите, актуальность разработки и совершенствования таких систем становится очевидной.

Особое внимание уделяется обработке кода для передачи информации на космической станции. [1] В условиях космоса, где расстояние между объектами может достигать тысяч километров, а уровень помех и угроз безопасности данных высок, необходимо использовать современные методы кодирования и шифрования.

Цель работы – Исследовать архитектуру антенных систем и методы обработки сигналов для повышения устойчивости к космическим помехам, а также оценить эффективность современных кодов (Хэмминга, Рида-Соломона, LDPC, BB84) и нейросетевых алгоритмов при передаче данных с борта космических станций.

Антенные системы радиопеленгаторов космического базирования. Принципы работы

Антенные системы радиопеленгаторов работают на основе анализа характеристик радиосигнала, таких как амплитуда, фаза и время прихода. [2] Основные методы пеленгации включают:

- **Амплитудный метод:** Основан на сравнении амплитуд сигналов, принимаемых разными антеннами.
- **Фазовый метод:** Использует разность фаз сигналов для определения направления на источник.
- **Временной метод:** Основан на измерении времени прихода сигнала на разные антенны.

Основные особенности

Антенные системы радиопеленгаторов космического базирования обладают рядом уникальных характеристик:

1. **Высокая точность пеленгации:** Современные системы способны определять направление на источник сигнала с точностью до долей градуса.
2. **Адаптивность к условиям космоса:** Антенны должны работать в условиях вакуума, радиации и перепадов температур.
3. **Компактность и энергоэффективность:** Ограниченные ресурсы космических аппаратов требуют минимизации размеров и энергопотребления антенных систем.
4. **Широкий диапазон частот:** Антенны работают в различных частотных диапазонах, что позволяет принимать сигналы от разных источников.

Применение

Антенные системы используются для:

- Космической навигации: Определение местоположения спутников и космических аппаратов.
- Мониторинга космического мусора: Отслеживание объектов на орбите для предотвращения столкновений.

Обработка кода для передачи информации на космической станции

Методы кодирования данных

Для передачи информации в космических условиях используются современные методы кодирования, такие как:

- Помехоустойчивое кодирование:

Позволяет исправлять ошибки, возникающие из-за помех и искажений сигнала. Наиболее распространенными являются коды Хэмминга и коды Рида-Соломона.

- Квантовое шифрование:

Обеспечивает высочайший уровень защиты данных, используя принципы квантовой механики.

Сравнительный анализ распространённых методов кодирования представлен в таблице 1. Он позволяет оценить уровень коррекции ошибок, скорость передачи и применимость конкретных подходов в условиях космической связи. [3-4]

Таблица 1. Сравнение методов кодирования по устойчивости к ошибкам

Метод кодирования	Уровень коррекции ошибок	Скорость передачи	Применимость в космосе
Код Хэмминга	Низкий	Высокая	Ограниченная
Код Рида-Соломона	Средний	Средняя	Широко используется
LDPC-кодирование	Высокий	Высокая	Перспективный метод
Квантовое шифрование BB84	Очень высокий	Низкая	В стадии апробации

Протокол BB84

Одним из наиболее распространенных протоколов квантового шифрования является BB84. Он использует поляризацию фотонов для создания секретного ключа, который известен только отправителю и получателю. [5-6] Этот метод устойчив к атакам с использованием квантовых компьютеров, что делает его идеальным для защиты данных в космических системах.

Примеры применения

- Международная космическая станция (МКС):

Для передачи данных между МКС и Землей используются антенные системы с помехоустойчивым кодированием.

• Миссия Вояджер:

Антенные системы на борту зондов «Вояджер» обеспечивают передачу данных на расстоянии более 20 миллиардов километров от Земли. [7-8]

Современные технологии обработки сигналов.Цифровая обработка сигналов (ЦОС)

ЦОС играет ключевую роль в работе антенных систем. Она включает:

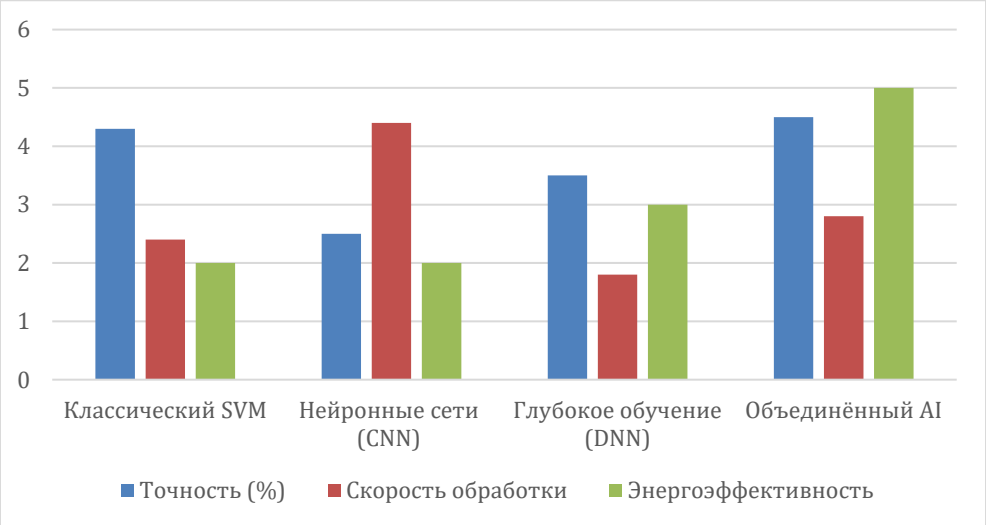
• Фильтрацию сигналов: для устранения помех и шумов.

• Анализ спектра: для определения частотных характеристик сигнала.

• Алгоритмы пеленгации: для точного определения направления на источник сигнала.

Для различных уровней внешних космических помех характерны отличия в качестве сигнала, скорости передачи и энергопотреблении. Эти параметры систематизированы в таблице 2.

Таблица 2. Сравнение алгоритмов ИИ по точности распознавания сигналов



Использование искусственного интеллекта

Искусственный интеллект (ИИ) применяется для оптимизации работы антенных систем. [9-10] Например, нейронные сети могут использоваться для автоматического распознавания сигналов и повышения точности пеленгации. Архитектура обработки сигналов с использованием нейросетей представлена на рисунке 1.

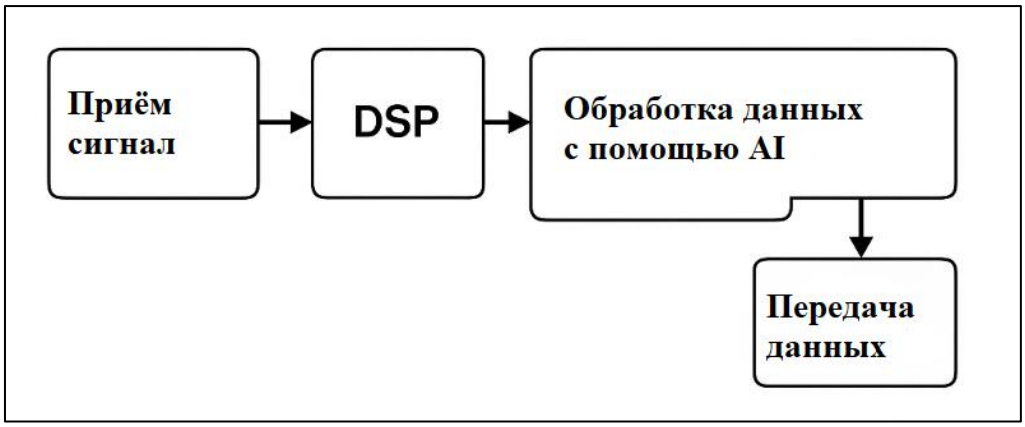


Рис 8. Структурная схема обработки сигнала с помошью AI

Fig 1. Block diagram of signal processing using AI

Такая система обеспечивает адаптивную фильтрацию, восстановление сигнала и интеллектуальное принятие решений.

Заключение

Антенные системы радиопеленгаторов космического базирования и современные методы обработки кода для передачи информации играют ключевую роль в развитии космических технологий. Их высокая точность, адаптивность и безопасность передачи данных делают их незаменимыми для решения задач навигации, мониторинга и связи в космосе. Дальнейшее развитие этих технологий открывает новые горизонты для освоения космоса и защиты информации в условиях растущих киберугроз.

Список источников

1. *Иванов И.И., Петров П.П.* Антенные системы космического базирования: теория и практика. // Космические исследования, 2022, том 60, выпуск 3. - С. 45-58.
2. *Сидоров А.А.* Квантовое шифрование в космических системах связи. Москва: Издательство "Космотех", 2021. - 320 с.
3. *Кузнецов А.В., Михайлов С.Н.* Антенные системы для спутниковой связи. // Вестник связи, 2021, том 45, выпуск 2. - С. 23-34.
4. *Белов Л.А., Смирнов К.Р.* Современные методы помехоустойчивого кодирования в космической связи. // Информационные технологии, 2020, том 12, выпуск 4. - С. 56-67.
5. *Коваленко В.И., Орлов Д.С.* Применение искусственного интеллекта в системах космической навигации. // Автоматика и телемеханика, 2023, том 84, выпуск 1. - С. 78-89.
6. *Романов С.А.* Квантовые технологии в космической связи. // Вестник космических технологий, 2023, том 12, выпуск 1. - С. 34-45.
7. *Яковлев П.И., Ларина О.Г.* Особенности проектирования фазированных антенных решеток для спутников. // Журнал радиотехнических наук, 2023, том 15, выпуск 2. – С. 75–83.
8. *Баранов А.Е.* Использование блокчейн-технологий для повышения защищённости космической связи. // Информационная безопасность, 2022, № 3. – С. 23–30.
9. *Мельников С.Ю.* Моделирование помехоустойчивых каналов связи в условиях орбитального движения. // Вопросы радиоэлектроники, 2020, № 8. – С. 41–48.
10. *Дроздов В.П.* Технологии спутниковой связи в условиях высокой плотности трафика. Москва: Техносфера, 2021. – 280 с.

PROCESSING OF INFORMATION SIGNALS IN OUTER SPACE

D.A. Turov[1], O.S. Makarov[2]
[1–2] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1]tda.93@mail.ru; [2]onardiy@yandex.ru

Abstract

The article discusses antenna systems of space-based radio direction finders, their main features, principles of operation and application in space navigation and monitoring. Special attention is paid to code processing methods for transmitting information on the space station, including noise-resistant encoding and quantum encryption. Modern signal processing technologies such as digital signal processing (DSP) and the use of artificial intelligence are described. The article also touches on the prospects for the development of antenna systems and data transmission methods in space exploration.

Keywords

Antenna systems, radio direction finders, space navigation, noise-resistant coding, quantum encryption, digital signal processing, artificial intelligence, space technologies.

УДК 629.783

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СИСТЕМАХ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ И ИХ ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

А.С. Шабардин[1], А.С. Мартынов[2]
[1–2] Межвидовой центр подготовки и боевого применения войск РЭБ (учебный и испытательный) Тамбов, Россия

Аннотация

Постановка проблемы. В настоящее время вопрос повышения качества связи актуален как никогда, так как в современном мире существует тенденция утяжеления трафика с каждым годом. Спутниковые системы связи набирают всё большую популярность среди людей, так как обеспечивают покрытием практически весь земной шар, в то время как наземные системы связи обеспечивают связью только те участки территории, которые выгодны операторам.

Цель. Оценить инновационные решения в сфере спутниковой связи, а также рассмотреть тенденции развития спутниковых систем связи.

Результаты. Рассмотрены основные технологии спутниковых систем связи и планы по их совершенствованию.

Практическая значимость. Обзор современных технологий и методов позволяет исследователям и разработчикам ориентироваться на достижения мировой науки и промышленности, разрабатывать собственные уникальные решения и внедрять их в производство.

Ключевые слова

Системы спутниковой связи, низкоорбитальные спутники, искусственный спутник Земли.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Космос давно стал ареной активных разработок, одна из главных сфер приложения усилий человечества здесь – создание и эксплуатация спутниковых систем связи. За десятилетия своего существования эта отрасль прошла долгий путь от простых прототипов до мощных многофункциональных комплексов, ставших основой глобализации информационного обмена. В данной статье будет рассмотрены актуальные тенденции и ключевые аспекты, характеризующие современное состояние и будущее направление развития спутниковых систем связи.

Спутниковые системы связи играют важную роль в современном мире, обеспечивая передачу данных между континентами, мобильную связь в труднодоступных регионах и доступ к Интернету там, где традиционные сети недоступны. В настоящее время происходят серьезные изменения в этой отрасли, обусловленные развитием новых технологий и увеличением спроса на высокоскоростные каналы связи.

Актуальностью спутниковых систем связи является то, что современные тенденции свидетельствуют о возрастающем значении спутников связи в различных сферах деятельности человека.

Эволюция спутниковых систем связи

Первая искусственная коммуникационная платформа – американский спутник Telstar 1, запущенный в июле 1962 года, положила начало новой эпохе телекоммуникаций. Тогда никто не предполагал, насколько сильно изменится ситуация спустя всего несколько десятилетий.

Со времен запуска первого спутника сфера космической связи расширялась стремительно: появились геостационарные орбиты, позволяющие поддерживать постоянную связь с определенной точкой земной поверхности, геометрически небольшие спутники начали конкурировать с крупными аппаратами, предлагая гибкость и экономичность [1].

Эволюция спутниковой связи прошла долгий путь от первых экспериментов до сегодняшних передовых технологий, способствующих быстрому распространению

телекоммуникаций во всех уголках мира. Рассмотрим основные этапы эволюции спутниковой связи:

Первый экспериментальный спутник связи Echo 1 был запущен NASA в августе 1960 года. Это была пассивная отражающая поверхность, используемая для переотражения сигналов. Затем последовал запуск активного спутника Telstar 1 в июле 1962 года, осуществивший первую трансатлантическую телевизионную передачу. Эти ранние попытки заложили основы для будущих поколений спутниковых систем.

23 апреля 1965 года был запущен на высокую эллиптическую орбиту первый отечественный спутник связи "Молния-1", который ознаменовал становление в нашей стране спутниковой радиосвязи. Почти одновременно в США был запущен на геостационарную орбиту первый спутник коммерческой связи Intelsat-1.

Таким образом, была реализована идея резкого увеличения дальности радиосвязи благодаря размещению ретранслятора высоко над поверхностью Земли, что позволило обеспечить одновременную радиовидимость расположенных в разных точках обширной территории радиостанций. Преимуществами систем спутниковой связи (СС) являются большая пропускная способность, глобальность действия и высокое качество связи.

Конфигурация систем СС зависит от типа искусственного спутника Земли (ИСЗ), вида связи и параметров земных станций. Для построения систем СС используются в основном три разновидности ИСЗ (представлены на рисунке 1) – на высокой эллиптической орбите, геостационарной орбите и низковысотной орбите. Каждый тип ИСЗ имеет свои преимущества и недостатки.

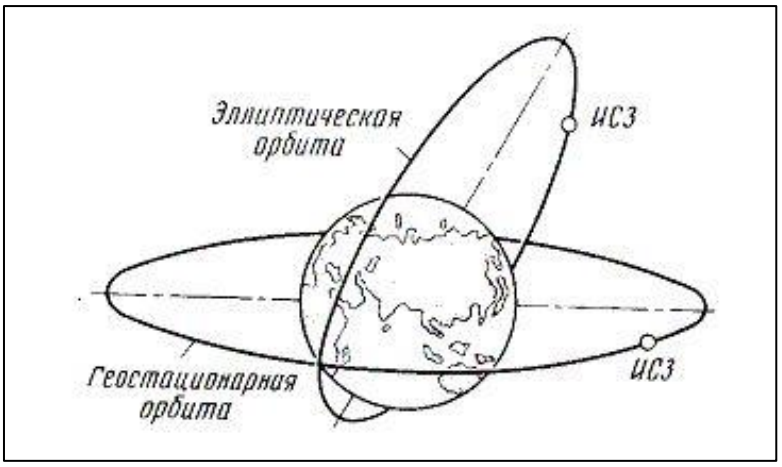


Рис. 1. Виды орбит искусственных спутников Земли
Fig. 1. Types of orbits of artificial Earth satellites

Запущенная в марте 1965 года первая геостационарная станция Early Bird (Intelsat I) открыла эпоху коммерческих спутниковых телекоммуникаций. Спутники начали обеспечивать устойчивые международные коммуникации, радио- и телевещание, телефонию и другие виды связи. Это позволило создать международную организацию Intelsat, объединявшую усилия многих государств для реализации глобальных телекоммуникационных проектов.

Появление цифровых технологий резко повысило производительность и функциональность спутниковых систем. Были разработаны цифровые компрессоры голоса и видеоданных, позволившие увеличить пропускную способность каналов [2]. Развитие компактных антенн сделало спутниковую связь доступной частным пользователям, впервые появились персональные спутниковые телефоны. Компании Iridium и Globalstar запустили первые спутниковые телефонные системы, предлагающие глобальную мобильную связь независимо от наличия наземных линий. Однако высокие цены и большие размеры аппаратуры ограничивали массовость таких сервисов.

Основное внимание переключилось на предоставление широкополосного доступа в Интернет через спутники. Такие компании, как Inmarsat, Eutelsat, HughesNet, предложили

услуги спутникового Интернета. Создание новых платформ, таких как Ka-band и Ku-band, обеспечило расширение зоны покрытия и увеличило скорости передачи данных. Проекты, вроде OneWeb и SpaceX's Starlink, направлены на создание гигантских группировок спутников на низкой орбите (LEO), которые обещают предоставить быстрый доступ к Интернету практически повсеместно. Появилась возможность массового распространения скоростного спутникового интернета, особенно востребованного в удалённых регионах и развивающихся странах.

Дальнейшее развитие основано на применении инновационных технологий, таких как оптические межспутниковые линии связи, многочастотные сети и квантовая криптография. Использование беспилотных воздушных судов и стратостатов дополняют традиционные спутники для усиления зон покрытия и повышения надежности связи. Внедрение 5G и дальнейшее развитие беспроводных технологий способствуют интеграции спутниковых систем с наземными инфраструктурами.

К началу XXI века сформировались полноценные коммерческие рынки спутниковой связи, предоставляющие услуги корпоративному сектору, государственным структурам и частным пользователям.

Сейчас мы наблюдаем новую фазу революционного скачка в развитии спутниковых технологий, связанный с ростом количества пользователей и потребностью в увеличении скорости передачи данных.

В таблице 1 представлены диапазоны частот спутниковой связи.

Таблица 1. Рабочие диапазоны частот спутниковой связи

Название диапазона	Частоты (согласно ITU-R V.431-6)	Применение
L	1,5 ГГц	Подвижная спутниковая связь
S	2,5 ГГц	Подвижная спутниковая связь
C	4 ГГц, 6 ГГц	Фиксированная спутниковая связь
X	Для спутниковой связи не определены, для радиолокации 8-12 ГГц	Фиксированная спутниковая связь
Ku	11 ГГц, 12 ГГц, 14 ГГц	Фиксированная спутниковая связь, спутниковое вещание
K	20 ГГц	Фиксированная спутниковая связь, спутниковое вещание
Ka	30 ГГц	Фиксированная спутниковая связь, межспутниковая связь
Q	40 ГГц	Фиксированная спутниковая связь
V	75 ГГц	Фиксированная спутниковая связь

Исторически спутниковая связь использовала преимущественно C-диапазон (4–8 ГГц) и Ku-диапазон (12–18 ГГц). Теперь широко применяются Ka-диапазон (26–40 ГГц) и более высокочастотные Q/V-диапазоны (40–75 ГГц), что позволяет иметь большее число спектральных каналов, более высокую пропускную способность и возможность одновременного покрытия больших площадей и точечной доставки трафика.

Современные тенденции в области спутниковой связи демонстрируют активное движение к созданию мощных и эффективных систем, охватывающих огромные территории и обеспечивающих стабильное интернет-подключение даже в самых удалённых уголках земного шара. Важнейшими элементами этих изменений становятся использование низких орбит, лазерные каналы связи и интеграция стандартных смартфонов в инфраструктуру спутниковой связи. Всё это способствует формированию перспективного будущего коммуникационных технологий, делая возможным глобальное цифровое равенство.

Основные технологические достижения

Современные спутниковые системы внедряют ряд инновационных решений, делающих их более эффективными и надежными: создаются новые поколения антенн и приемопередатчиков, которые позволяют передавать большие объемы данных с минимальной задержкой; используются низкоорбитальные спутники (LEO), технологии адаптивной

перестройки частот, которые позволяют оптимизировать пропускную способность канала в зависимости от нагрузки и внешних факторов, а также интеллектуальные алгоритмы обработки сигналов.

Традиционно большинство искусственных спутников размещали на высоких геостационарных орбитах (GEO), однако такие орбиты имеют существенные недостатки — значительную задержку сигнала (латентность) и относительно низкую пропускную способность [3]. Именно поэтому сейчас всё больше внимания уделяется использованию низкоорбитальных спутников (Low Earth Orbit, LEO).

Преимущества LEO-спутников очевидны:

- минимальная задержка сигнала;
- высокая пропускная способность;
- возможность развертывания обширных спутниковых группировок, покрывающих всю поверхность Земли.

Крупнейшие игроки, такие как Starlink (SpaceX), OneWeb и другие компании инвестируют миллиарды долларов в строительство группировок низколетящих спутников. Они обещают кардинально изменить представление о спутниковой связи, сделав её доступной даже в самых отдалённых уголках планеты.

Помимо перехода на LEO-системы, прогресс наблюдается и в самих технологиях передачи данных:

- фазированные антенные решетки (PAR) – позволяют менять направление луча антенны мгновенно, улучшая производительность спутниковых систем;
- квантовая криптография – обеспечивает защиту передаваемой информации путем квантового шифрования, которое невозможно взломать традиционными методами;
- оптоволоконные каналы – используется оптика для организации скоростных соединений между спутниками на орбите, повышая общую стабильность и эффективность системы.

Запуск миссии Artemis NASA открывает новое окно возможностей для развития спутниковых систем связи в дальнем космосе. Предполагается создание специализированных спутниковых ретрансляторов вокруг Луны и Марса, что обеспечит устойчивую связь для будущих пилотируемых экспедиций и исследовательских станций.

Несмотря на впечатляющий прогресс, существует целый ряд трудностей, связанных с эксплуатацией спутниковых систем. Число действующих спутников растёт экспоненциально, что создает риск столкновений и ухудшения состояния околоземного космического пространства. Несмотря на улучшение солнечных панелей и аккумуляторов, энергоснабжение остаётся важным фактором, ограничивающим длительность жизни спутника. Отсутствие единых международных стандартов и правил создаёт сложности для взаимодействия разных спутниковых систем друг с другом. Эти проблемы формируют поле активности для дальнейших исследований и инвестиций.

Перспективы развития

Для дальнейшего роста рынка спутниковых коммуникаций необходимы новые подходы и инновационные технологии:

- Создание масштабируемых группировок малых спутников: компании SpaceX и OneWeb строят крупные группировки небольших спутников (пример спутников и их группировок представлены на рисунках 2 и 3), которые позволят охватить весь мир высокоскоростной связью.
- Улучшение энергетических характеристик: разработка более эффективных солнечных батарей и аккумуляторов сделает спутники менее зависимыми от наземных источников энергии.

- Автоматизированные платформы обслуживания: автономные роботы смогут проводить обслуживание и ремонт спутников прямо на орбите, продлевая срок службы дорогостоящих аппаратных платформ.
- Расширение спектра услуг: помимо традиционного предоставления голосовой связи и Интернета, планируется развивать сервисы дистанционного зондирования земли, мониторинга окружающей среды и прогнозирования природных катаклизмов.



Рис. 2. Спутник Starlink
Fig. 2. Starlink satellite



Рис. 3. Группировка спутников Starlink
Fig. 3. Starlink satellite constellation

В России был создан Федеральный проект «Комплексное развитие космических информационных технологий» («Сфера») — проект глобальной многофункциональной инфокоммуникационной спутниковой системы (ГМИСС), федеральная целевая программа (ФЦП) комплексного развития космических информационных технологий на период до 2030

года, включающая в себя космические проекты в различных областях. Запланировано, что к 2030 году группировка, созданная в рамках программы «Сфера», должна насчитывать 640 космических аппаратов. Развитие «Сферы» также позволит организовать в России массовое движение беспилотников как в воздушном пространстве, так и на земле.

Программа «Сфера» была объявлена как развитие ранее анонсировавшейся глобальной спутниковой системы «Эфир», также известной как «Глобальная многофункциональная инфокоммуникационная спутниковая система» (ГМИСС), призванной конкурировать с зарубежными системами глобальной спутниковой связи OneWeb и Starlink.

Программа «Сфера» подразумевает запуск спутников связи и дистанционного зондирования Земли. Аппараты будут предоставлять широкополосный доступ в Интернет, а также Интернет вещей для 50 миллионов пользователей. Также «Сфера» обеспечит специальную связь — президентскую, правительственную, ведомственную.

Заключение

В данной работе проведен анализ примененных решений в современных спутниковых системах связи и разработок, которые будут использованы в будущем. Развитию спутниковых систем связи способствуют потребности бизнеса, правительства и общества в целом. Ожидается, что рынок продолжит расти быстрыми темпами, поскольку потребность в стабильной и надежной связи остается актуальной задачей для всех стран мира. Будущие инновации обеспечат снижение стоимости эксплуатации и повышение производительности, открывая новые горизонты для цифровизации и глобальной доступности сетей связи.

Список источников

1. *Немировский М.С.* Основы построения спутниковой связи: Учебное пособие/ Немировский М.С., Локшин Б.А., Аронов Д.А, 2016. – 432 с.
2. *Сомов А.В.* Спутниковые системы связи: Учебное пособие / Сомов А.В., Корнев С.Ф. 2024 – 244 с.
3. *Чечин Г.В*. Спутниковые системы связи на базе геостационарных ретрансляторов: Учебное пособие, 2022. – 96 с.

MODERN TECHNOLOGIES IN SATELLITE COMMUNICATION SYSTEMS AND THEIR DEVELOPMENT PROSPECTS

A.S. Shabardin [1], **A.S. Martynov** [2]
[1–2] Inter-service center for training and combat use of electronic warfare troops (training and test), Tambov, Russia

Abstract

Currently, the issue of improving the quality of communication is more relevant than ever, since in the modern world there is a tendency for traffic to become heavier every year. Satellite communication systems are gaining more and more popularity among people, since they provide coverage to almost the entire globe, while terrestrial communication systems provide communication only to those areas of the territory that are beneficial to operators.

Keywords

Satellite communication systems, low-orbit satellites, artificial Earth satellite.

УДК 621.3.019.3

МИКРОПОЛОСКОВЫЕ ФИЛЬТРЫ СИГНАЛОВ

У.О. Шландакова [1], **Е.А. Сальников** [2]
[1–2] МИРЭА – Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] Ulyanashlandakova@mail.ru, [2] salnikove05@gmail.com

Аннотация

Постановка проблемы. Полосно-пропускающие устройства, в частности микрополосковые фильтры, составляют часть чрезвычайно важных элементов современной техники связи и радиолокации. Микрополосковые фильтры (МПФ) активно используются в базовых станциях и пользовательских устройствах, спутниковой связи. Благодаря невысокой стоимости производства, высокой производительности и технологичности МПФ становятся ключевым компонентом СВЧ-электроники.

Цель. Изучить и описать современный метод и технологию дизайна и создания микрополосковых фильтров сигналов.

Результаты. Проведено изучение и описание современного метода дизайна и создания микрополосковых фильтров сигналов.

Практическая значимость. Полученные результаты позволяют оценить эффективность, простоту конструкции и изготовления МПФ.

Ключевые слова

Фильтр, микрополосковая линия, микрополосковый фильтр, DGS (Defected Ground Structure).

A brief version in English is given at the end of the article.

Введение

Многие системы связи имеют радиочастотную систему, которая из-за своей низкой стоимости обрабатывают сигнал с использованием радиочастотного микрополоскового фильтра. Микрополосковые фильтры (МПФ) – планарная структура, выполненная на диэлектрической подложке с металлизированными проводниками – используются для селекции частот, обеспечения фильтрации сигналов в заданном частотном диапазоне, позволяя значительно сэкономить место на печатной плате. Общо такие фильтры состоят из открытых и коротких токопроводящих полос, варьируясь по размерам в зависимости от частот, и работают на основе резонансных свойств микрополосковых линий.

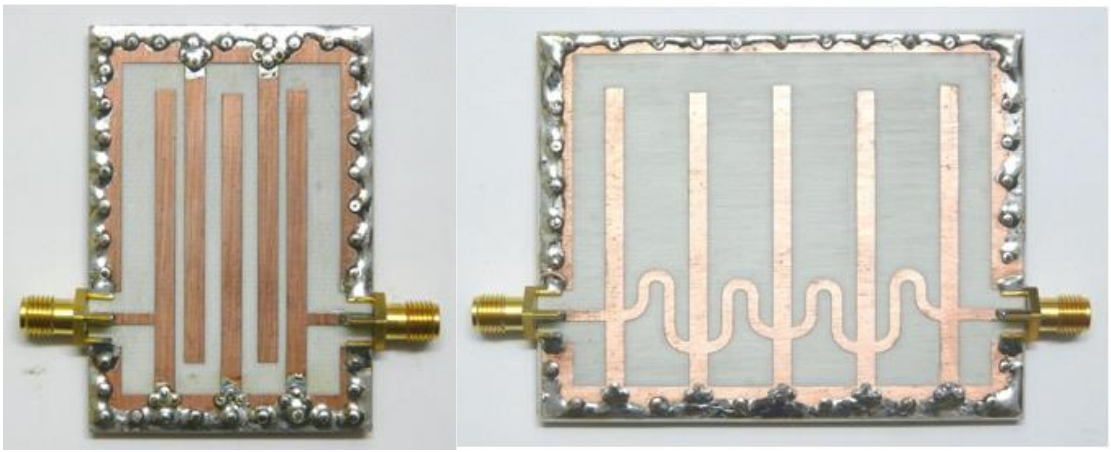


Рис. 1-2. Примеры дизайна микрополосковых фильтров
Fig. 1-2. Design examples of microstrip filters

Микрополосковая линия – расположенный на диэлектрической подложке проводник с одной воздушной, открытой, и одной заземленной сторонами. Диэлектрическая подложка – материал с низкой потерей и высокими диэлектрическими свойствами, как, например, FR-4 или Rogers. Резонатор – колебательная система, в которой происходит накопление энергии за счет резонанса с вынуждающей силой. Часто встречаются резонаторы с колебанием электромагнитных или механических величин.

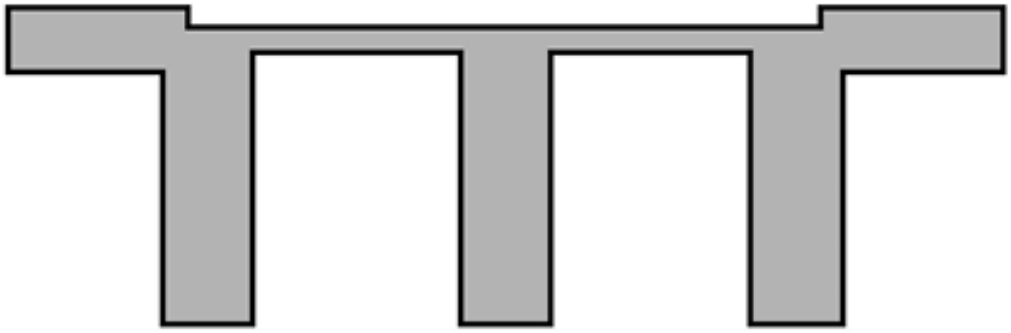


Рис. 3. Пример структуры микрополосковых линий фильтра
Fig. 3. An example of the structure of microstrip filter lines

Микрополосковые фильтры можно классифицировать по амплитудно-частотной характеристике (АЧХ) и по конструкции. Таблица 1 описывает группировку по АЧХ.

Таблица 1. Классификация МПФ по АЧХ

Тип фильтра	Описание	Устройство и принцип работы
Фильтры низких порядков	Пропускают сигналы ниже частоты среза и подавляют ВЧ-составляющие	Состоят из нескольких микрополосковых резонаторов, которые могут быть выполнены в виде отрезков проводника различной длины и ширины. Они настроены на определенный диапазон частот, а их взаимодействие создает характерный проходной и отражательный коэффициенты.
Фильтры высоких порядков	Пропускают сигналы выше частоты среза и задерживают НЧ	Устройства, содержащие большое количество резонаторов, что позволяет достичь более сложных характеристик фильтрации. Подобные фильтры способны обеспечивать лучшие передачи и подавления, что повышает эффективность фильтрации сигналов с близкими частотами.
Полосовые фильтры	Пропускают сигналы в заданной полосе частот	Содержат два или более резонаторов, настроенных на определенный диапазон частот, создавая “полосу” пропускания.
Высокоизбирательные фильтры	Задерживают сигналы в узкой полосе, пропуская остальные	Такие фильтры обеспечивают очень узкие полосы пропускания вместе с высокой степенью подавления внеполосных сигналов. В основе их работы лежат комбинации различных типов резонаторов и другие элементы, подобные LC-контурам.
Фильтры с индуктивными и емкостными связями	Фильтры с индуктивной связью пропускают ВЧ-сигналы, близкие к резонансной частоте, и задерживают НЧ, а емкостные - наоборот.	Как следует из названия, в фильтрах такого типа используются индуктивные и емкостные элементы. Индуктивные связи позволяют настроить достаточно широкий диапазон частот, а емкостные - обеспечить более узкие полосы пропускания.

По конструкции МПФ разделяют на планарные (однослойные), многослойные, гибкие и фильтры с дефектами в проводящей структуре (DGS, от англ. Defected Ground Structure). Планарные фильтры состоят из одного слоя, расположенного на диэлектрической подложке проводящего материала. Несколько подобных слоев вместе создают многослойный фильтр, позволяющий настраивать более сложные структуры. Для гибких МПФ в качестве материала подложки используются полиимид или другие гибкие диэлектрики. В фильтрах с дефектами в проводящей структуре микрополосковая линия имеет отверстия, вырезы или другие геометрические изменения, создающие дополнительные резонансные эффекты.

Подбор и подготовка материалов

Стеклотекстолит – распространенный в радио- и электротехнике материал. Необходим как диэлектрик с высокой прочностью. СТЭФ (ГОСТ 12562-74) – один из самых популярных видов, обладающий усредненными показателями прочности и плотности. На первом этапе проводится грубая очистка крупной наждачной бумагой (Р400 – Р600), на втором - полировка более мелкой (Р2000 – Р2500). Травление платы в химическом растворе является одним из рекомендуемых этапов подготовки, в процессе протекания которого происходит удаление с поверхности соединений меди и ее тонкого слоя. После подготовки травильного раствора происходит отмывка поверхности порошковыми чистящими средствами и последующее обезжиривание этиловым изопропиловым спиртом или ацетоном. По завершении плату также промывают дистиллированной водой.

Для подложки используются материалы, имеющие низкие потери, такие как FR-4, Rogers или Teflon. Проводящие слои создаются из металлов, зачастую из меди или золота, и покрываются защитой от коррозии. Впоследствии производится нанесение на подложку проводящего и светочувствительного слоев при помощи фотолитографии, а также взаимодействие со светом через специальную маску, определяющую формы проводящих элементов.

После изготовления фотошаблона паяльной маски ее необходимо распечатать на прозрачной пленке. Также необходимо нанести фоторезистивную пленку на подготовленный ранее стеклотекстолит. Обязательна засветка УФ-лампой.

После очистки платы от фоторезиста и последующего травления на плату наносится маска MECHANIC UVH900, часто применяющаяся для УФ-защиты. Непосредственно после просыхания маски происходит сверление отверстий и припаивание элементов.

Моделирование и оптимизация

Моделирование, симуляция поведения и последующая оптимизация характеристик и параметров программными средствами - важный этап в определении ключевых элементов конструкции. Наиболее распространенными программами являются HFSS, ADS, CST Microwave Studio. Для полного цикла моделирования плат выделяется EasyEDA.

Для исследования выделяются следующие параметры:

- Диэлектрическая проницаемость (ε)
- Частоты (f)
- Толщина (h_0)
- Конфигурация диэлектрической подложки: керамическое основание, учитывая дополнительные параметры.

Пример АЧХ параметров для фильтра 3 порядка:

- Центральная частота полосы пропускания (f_0) = 2.2 ГГц $\pm$ 5 МГц
- Ширина полосы пропускания по заданному уровню (Δf_0) = 220 МГц $\pm$ 5 МГц по уровню ΔL_0 = 3 дБ.
- Максимальный уровень потерь на отражение (R_{min}) < -14 дБ.
- Уровень затухания, определяющий симметричность АЧХ (L_x) = 30 дБ.

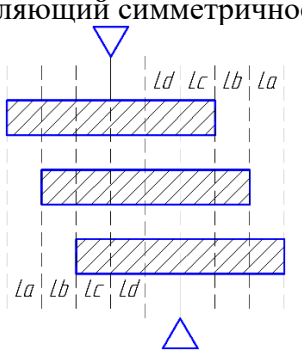


Рис. 4. Чертеж фильтра 3-го порядка
Fig. 4. Drawing of the 3rd order filter

Сборка фильтра

После описанных выше действий происходит непосредственная сборка фильтра. Производится соединение компонентов на плате, подключение заземленного слоя и добавление креплений, обеспечивающих механическую стабильность. В качестве дополнительной меры защиты готовый фильтр покрывается слоем лака или эпоксидной смолы для защиты от внешних механических воздействий. По завершении работ проводится приемочное тестирование фильтра на соответствие заданным на этапе моделирования параметрам, таким как, например, передаточная функция или затухание.

Заключение

Исследование отразило перспективность применения микрополосковых фильтров для обработки сигналов в современных радиотехнических системах. Технология изготовления МПФ методом фотолитографии на диэлектрических подложках с высоким качеством поверхности демонстрирует высокую эффективность и низкую себестоимость. Современные исследования могут быть направлены на улучшение и миниатюризацию МПФ, а также их интеграцию с активными компонентами для создания гибридных микросхем.

Список источников

1. *Медведев, А. М. Печатные платы.* Конструкции и материалы. / А. М. Медведев. - М.: Техносфера, 2005. - 305 с.
2. *Беляев, Б. А.* Параметрический синтез лестничного микрополоскового фильтра по заданной амплитудно-частотной характеристике: метод. Указания к выполнению лабораторной работы по курсу “Радиотехника” для студентов направления 210400 “Телекоммуникации” и 210300 “Радиотехника” очной форму обучения / Б. А. Беляев, А. М. Сержантов, С. А. Ходенков. - Красноярск: Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т, 2010. - 44 с.
3. *Галеев, Р. Г.* Микрополосковые резонаторы и СВЧ-устройства на их основе: учеб. Пособие / Р. Г. Галеев, А. С. Волошин, И. В. Говорун, А. М. Сержантов. - Красноярск, 2020. - 166 с.
4. *Малорацкий, Л. Г.* Проектирование и расчет СВЧ элементов на полосковых линиях / Л. Г. Малорацкий, Л. Р. Явич. - М.: Советское радио, 1972. - 232 с.

MICROSTRIP SIGNAL FILTERS

U.O. Shlandakova [1], **E.A. Salnikov** [2]
[1–2] MIREA – Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] Ulyanashlandakova@mail.ru, [2] salnikove05@gmail.com

Abstract

Problem statement. Band-pass devices, in particular microstrip filters, are part of the extremely important elements of modern communications and radar technology. Microstrip filters (MPFS) are actively used in base stations and user devices, satellite communications. Due to the low cost of production, high MPF performance and adaptability are becoming a key component of microwave electronics.

Goal. To study and describe the modern method and technology of design and creation of microstrip signal filters has been carried out.

Results. A study and description of the modern method of design and creation of microstrip signal filters has been carried out.

Practical significance. The results obtained make it possible to evaluate the efficiency, simplicity of the design and manufacture of MPFS.

Keywords

Filter, microstrip line, microstrip filter, DGS (Defected Ground Structure).

УДК 528.8

АРХИТЕКТУРА И РЕАЛИЗАЦИЯ ВЕБ-ГИС ПЛАТФОРМЫ POSTGRESQL И GEOSERVER

Н.К. Аржанова[1], **К.А. Лундин**[2], **А.А. Юстус**[3]
[1–3] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] arzhanova.n.k@edu.mirea.ru, [2] lundin.k.a@edu.mirea.ru, [3] yustus@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Современные города нуждаются в систематизации данных о предприятиях общепита, но отсутствие удобных инструментов визуализации и маршрутизации затрудняет их выбор и планирование инфраструктуры.

Цель. Разработка веб-ГИС платформы на базе PostgreSQL и GeoServer для интеграции, анализа и визуализации пространственных данных, а также построения маршрутов для различных объектов в городской среде.

Результаты. Разработана веб-ГИС платформа с пространственной БД, фильтрацией, анализом и маршрутизацией данных на базе GeoServer, PostgreSQL/PostGIS и Leaflet.

Практическая значимость. Проект упрощает доступ к данным о заведениях, поиск и маршрутизацию, а также предоставляет аналитику гастрономического разнообразия по районам для властей и исследователей.

Ключевые слова

Веб-ГИС, геопортал, пространственные данные, маршруты, GeoServer, PostgreSQL, PostGIS, Leaflet.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Анализ пространственных данных приобретает всё большее значение в условиях увеличения объёма информации о городской инфраструктуре [1]. Особенно актуальной становится задача систематизации и визуализации данных о предприятиях общественного питания — объектах, оказывающих значительное влияние на качество жизни населения и туристическую привлекательность города.

При этом возникает необходимость создания программного решения, которое бы не только отображало местоположение ресторанов, кафе и других заведений, но и обеспечивало бы функциональность по поиску, маршрутизации и анализу плотности их размещения.

Цель работы – разработка веб-ГИС платформы на базе PostgreSQL и GeoServer для интеграции, анализа и визуализации пространственных данных, а также построения маршрутов для различных объектов в городской среде.

Сбор данных

Разработка веб-ГИС платформы началась со сбора данных. Для создания базы геоданных были получены официальные сведения о предприятиях общественного питания в Рязани от Рязаньстата [2] (по состоянию на 01.01.2025). Далее данные прошли геокодирование (Яндекс.Геокодер) и импорт в QGIS [3]. Для более подробного анализа были добавлены векторные слои с границами города и районов (получены через модуль OSMInfo и сохранены в формате SHP). Все данные приведены к системе координат WGS 84 / UTM zone 37N. Для дорожной сети выполнены сбор и обработка данных из OpenStreetMap [4], включающих векторные слои автомобильных и пешеходных дорог. После импорта проведена фильтрация типов дорог: удалены непригодные для маршрутизации категории (строящиеся, грунтовые, планируемые). Проверка геометрии выполнена с помощью соответствующих модулей «Проверка топологии» и «Проверка геометрии» в QGIS. Удалены дубликаты, исправлены ошибки геометрии, самопересечения и разрывы.

Создана база данных в PostgreSQL [5] с активированным расширением PostGIS. Все слои экспортированы в неё через QGIS. В таблицу предприятий добавлено поле «Тип кухни», собранное из открытых источников. Это позволяет анализировать гастрономическое

разнообразие заведений. Установлены связи между таблицами, что позволяет проводить пространственный анализ и оценивать обеспеченность населения услугами общепита.

Развертывание и настройка системы

Для создания платформы геопортала развернут GeoServer 2.26.2 [6] на виртуальной машине Oracle VirtualBox с ОС Ubuntu Server 24.04.02. Настройка ВМ включала выделение ресурсов (4 ГБ ОЗУ, 2 ядра CPU, 30 ГБ HDD) и создание сетевого моста для внешнего доступа. После установки зависимостей (Java JDK 17.0.14) распакован дистрибутив GeoServer и запущен сервис. Проверка доступности подтвердила корректную работу веб-интерфейса геосервера через браузер основной системы. Также на виртуальной машине была установлена СУБД PostgreSQL 16.8, управление которой осуществлялось через pgAdmin, что обеспечило возможность хранения и пространственной обработки геоданных.

Для переноса базы данных между системами с разными версиями PostgreSQL и сохранения геоданных была создана резервная копия с помощью pg_dump в формате SQL. Такой формат обеспечил совместимость и упростил импорт. Бэкап включал таблицы и данные PostGIS. Для восстановления на виртуальной машине использовался psql, который исполнял SQL-дамп, включая создание таблиц и вставку данных. Была активирована поддержка PostGIS, что позволило корректно восстановить все пространственные данные.

В GeoServer было создано хранилище PostGIS для прямого подключения к PostgreSQL, где хранятся пространственные данные. Настроены параметры подключения (хост, база, пользователь), что обеспечило доступ к таблицам без промежуточных файлов. Слои (предприятия, районы) опубликованы напрямую из PostGIS с указанием системы координат EPSG:32637 и кодировки UTF-8 для кириллицы. Слоям были добавлены стили: точечные объекты категоризированы по типам кухни с цветовой дифференциацией и подписями, полигоны районов отображены с прозрачной заливкой и контурами.

Для обеспечения функциональности геопортала реализована поддержка ключевых стандартов взаимодействия с пространственными данными. WMS отвечает за отображение картографических слоев в виде изображений. WFS обеспечивает прямой доступ к векторным объектам. WCS используется для работы с растровыми покрытиями. WMTS оптимизирует передачу карт за счёт предварительно подготовленных тайлов, ускоряя загрузку. WPS расширяет возможности сервера, позволяя выполнять аналитические операции. Совместное применение этих стандартов создаёт универсальную среду для управления, анализа и визуализации геоданных.

В процессе интеграции компонентов геопортала были предприняты шаги по публикации и взаимодействию пространственных данных [7]. Через PostGIS-хранилище в GeoServer были опубликованы данные, дополнительно настроены CQL-фильтры для тематического отображения объектов на карте. Проведена работа по разделению серверной и клиентской логики: API-эндпоинты обрабатываются бэкендом, интерактивные элементы карты реализованы через отдельный клиентский JavaScript-файл. Решены проблемы с путями к ресурсам, проверена работа картографических инструментов. На финальном этапе проведено тестирование системы: проверена загрузка слоёв из GeoServer, работа фильтров, отображение всплывающих окон с данными, устранены ошибки CORS через настройку веб-сервера. Итогом стала рабочая основа геопортала, где серверная часть на Node.js взаимодействует с GeoServer и базой данных, а клиентская реализация на Leaflet [9] обеспечивает визуализацию пространственных данных.

Функциональность геопортала

В реализации поиска по предприятиям общественного питания используется форма, которая позволяет пользователю ввести название интересующего заведения. При отправке формы запускается JavaScript-функция, формирующая WFS-запрос к GeoServer. Этот запрос отправляется в формате HTTP GET-запроса и включает параметр CQL_FILTER, содержащий условие фильтрации по полю, в котором хранится название объекта. Таким образом, поиск осуществляется по совпадению введённой пользователем строки с данными в слое на сервере.

Результатом запроса является GeoJSON-объект, содержащий подходящие по условию геообъекты. После получения ответа из GeoServer найденные объекты отображаются на карте в виде жирных точек с использованием Leaflet. На рисунке 1 представлены результаты поиска объектов общественного питания в геопортале.

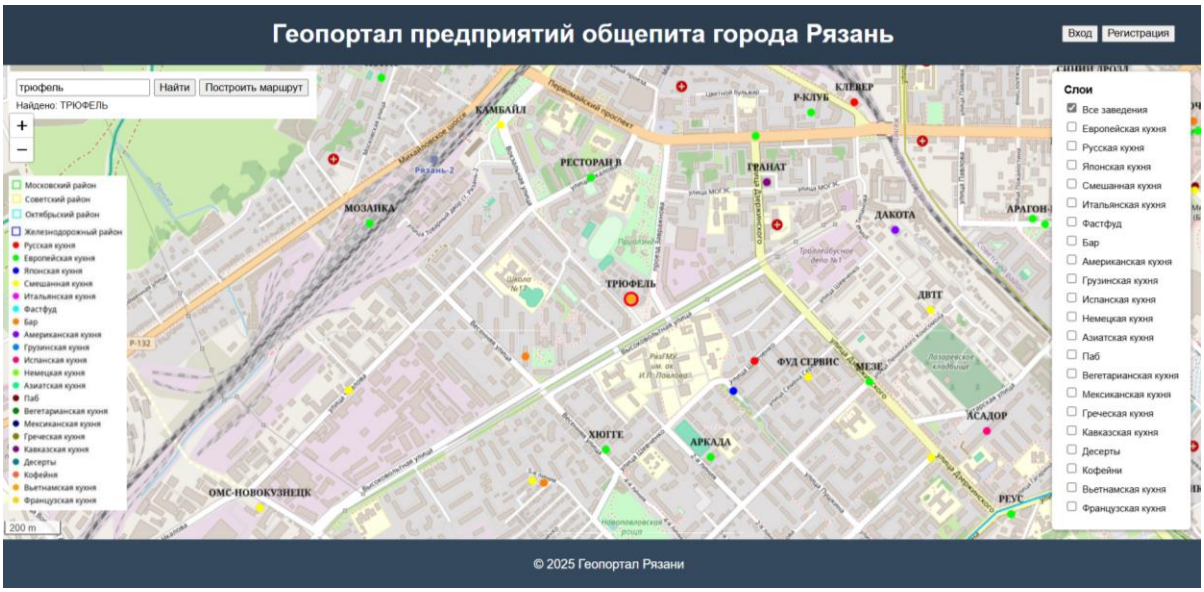


Рис. 1. Результаты поиска объектов общественного питания в геопортале
Fig. 1. The results of the search for catering facilities in the geoportal

В рамках проекта была разработана система построения маршрутов [8], основанная на интеграции pgRouting, PostGIS, Node.js и Leaflet. Пользователь выбирает начальную и конечную точки на веб-карте (Leaflet), координаты которых отправляются на сервер (Express.js). На сервере они преобразуются в геометрические точки (ST_MakePoint) и трансформируются в проекцию UTM (SRID 32637). Затем по расстоянию определяется ближайшая вершина из топологии, созданной функцией pgr_createTopology на таблице с дорогами. После определения ID начальной и конечной вершин выполняется запрос pgr_dijkstra, использующий таблицу с полями id, source, target, cost. Полученный маршрут (список рёбер с геометрией) преобразуется в GeoJSON и отображается на карте как маршрут. На рисунке 2 представлено построение маршрута между выбранными точками на карте.

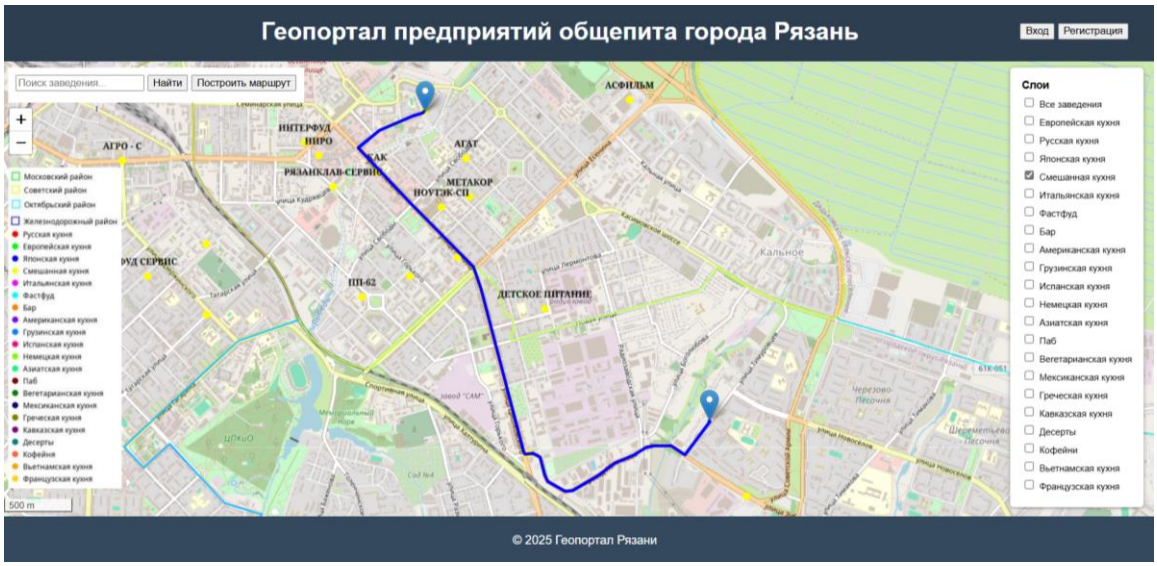


Рис. 2. Построение маршрута между выбранными точками на карте
Fig. 2. Plotting a route between selected points on the map

Платформа реализует систему авторизации: незарегистрированные пользователи могут просматривать заведения и фильтровать их по типу кухни, тогда как поиск по названию и

маршрутизация доступны только после авторизации. Регистрация включает проверку уникальности логина и шифрование пароля (библиотека bcrypt) с сохранением в PostgreSQL. Аутентификация выполняется путём сравнения введённого пароля с хэшем в базе. Клиентский интерфейс предоставляет модальные окна для ввода данных, а успешная авторизация открывает доступ к расширенному функционалу.

Веб-интерфейс геопортала разработан с учётом принципов удобства и доступности для пользователей [10]. Основное внимание было уделено простоте взаимодействия с картографическими данными и поисковыми функциями. Карты на геопортале отображаются в виде интерактивных слоёв с возможностью масштабирования и перемещения. Все элементы тщательно продуманы для обеспечения пользователю максимально удобного взаимодействия с геопорталом. Разработанная система обеспечивает локальную обработку данных без зависимости от внешних сервисов. В отличие от коммерческих платформ, таких как Яндекс.Карты или 2ГИС, решение на базе открытого ПО предоставляет полный контроль над данными, гибкость настройки и снижает затраты на разработку [11]. На рисунке 3 представлен общий вид геопортала.

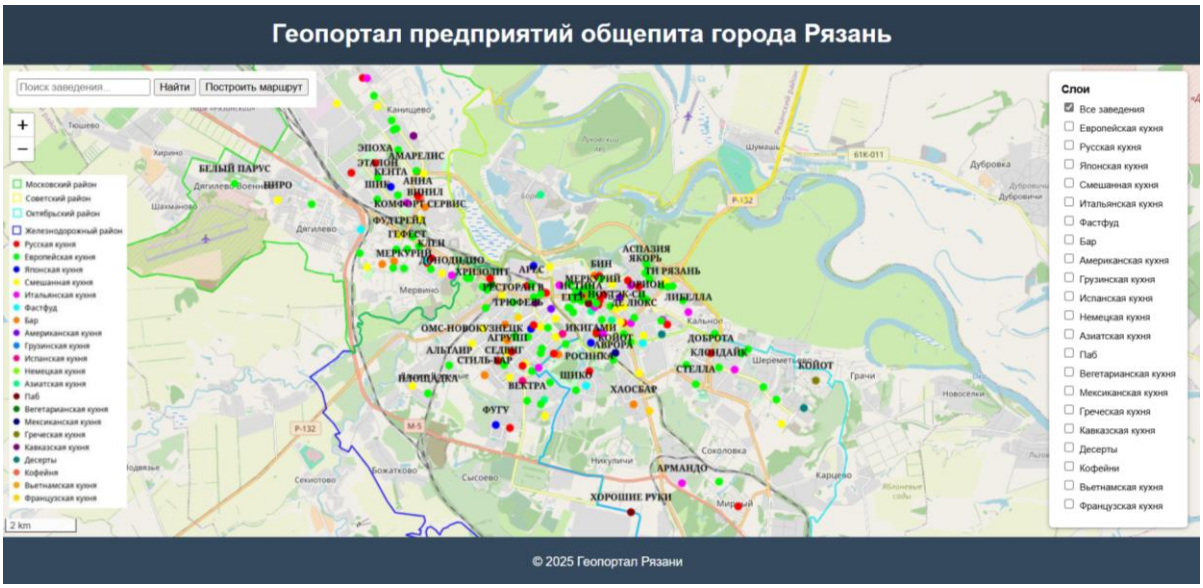


Рис. 3. Общий вид геопортала
Fig. 3. General view of the geoportal

Заключение

В ходе работы была реализована веб-ГИС платформа для анализа и маршрутизации предприятий общественного питания Рязани, основанная на архитектуре PostgreSQL и GeoServer. Система объединяет серверную и клиентскую части, использует PostGIS для хранения данных, GeoServer для их публикации, pgRouting для построения маршрутов и Leaflet для отображения карты. Реализованы функции поиска, фильтрации, маршрутизации, а также система управления доступом для пользователей. Результаты работы показали высокую эффективность системы. Разработка позволяет эффективно управлять пространственными данными и предоставляет инструменты для дальнейшего расширения функционала.

Список источников

13. *Тикунов В.С.* Геоинформатика: учебник для вузов. — Москва: Академия, 2018. — 432 с.
14. Рязаньстат. Официальные статистические данные по предприятиям общественного питания. — 2025. — URL: https://ryazanstat.gks.ru (дата обращения: 25.03.2025).
15. QGIS Development Team. Русскоязычная документация QGIS. — 2025. — URL: https://docs.qgis.org/3.28/ru/docs/user_manual/ (дата обращения: 27.03.2025).
16. OpenStreetMap contributors. Руководство по сбору данных (русская версия). — 2025. — URL: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/RU:Main_Page (дата обращения: 27.03.2025).
17. *Корнев В.В.* PostgreSQL для профессионалов. — Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2020. — 672 с.
18. *Иванов А.А., Петров С.К.* Геосервисы: руководство по GeoServer. — Москва: ДМК Пресс, 2021. — 256 с.
19. *Смирнов Н.Н., Кузнецов Д.Ю.* Веб-ГИС: технологии и применение. — Москва: ГИС-Ассоциация, 2019. — 180 с.

20. *Петров А.В., Сидоров К.Д.* Алгоритмы маршрутизации в пространственных данных // Геоматика. — 2022. — Т. 16. — № 4. — С. 28–35.
21. *Agafonkin V. Leaflet*: документация на русском языке. — 2025. — URL: https://leafletjs.com/reference-1.7.1.html (дата обращения: 15.04.2025).
22. *Иванова М.А., Петров С.Д.* Принципы проектирования пользовательского интерфейса веб-ГИС // Геоматика. — 2023. — Т. 17. — № 1. — С. 15–25.
23. *Соколов В.В.* Сравнение открытых и коммерческих ГИС-платформ. — Москва: Научная книга, 2022. — 154 с.

ARCHITECTURE AND IMPLEMENTATION OF THE POSTGRESQL AND GEOSERVER WEB GIS PLATFORMS

N.K. Arzhanova[1], **G.V. K.A. Lundin**[2], **A.A. Justus**[3]
[1–3] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] arzhanova.n.k@edu.mirea.ru, [2] lundin.k.a@edu.mirea.ru, [3] yustus@mirea.ru

Abstract

The article discusses the development of a web GIS platform based on PostgreSQL and GeoServer for analyzing data on catering establishments in Ryazan. The purpose of the study is to create a system for searching, filtering and building routes between establishments. The technologies used, such as GeoServer, PostgreSQL/PostGIS, pgRouting, and Leaflet, provide efficient data management and user-friendly navigation. The results of the work confirm the effectiveness of the proposed solution for urban planning and analysis.

Keywords

Web GIS, geoportal, spatial data, routes, GeoServer, PostgreSQL, PostGIS, Leaflet.

УДК 681.7: 681.782

О ВОЗМОЖНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ТЕХНОГЕННЫХ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ, БЛИЗКОМУ К РЕАЛЬНОМУ

С.А. Архипов[1], О.Б. Звездин[2], А.Т. Тунгушпаев[3]
[1-3]АО «НПК «СПП» (Москва, Россия)

Аннотация

Постановка проблемы. За последние три года в околоземном космическом пространстве (ОКП) резко возрастает потребность мониторинга событий с высокой динамикой и неопределённостью исхода (СВДН). К таким событиям относятся опасные ситуации с техногенными космическими объектами (ТКО) и маневры КА на орбите. В идеале для сопровождения СВДН технические средства (ТС) мониторинга ОКП должны получать целевую координатную информации в темпе, сопоставимом с динамикой СВДН, и пространственной локализацией, обеспечивающей восстановление траекторий ТКО, участвующих в СВДН. Очевидно, что, вследствие ограниченных возможностей ТС мониторинга ОКП, идеал не достижим.
Цель. сформулировать требования и предложить схемотехнические решения оптико-электронной КС ТКО, реализующей возможность сопровождения СВДН в. масштабе времени, близкому к реальному.
Результаты. Обосновано орбитальное построение восьми КА на солнечно-синхронной терминаторной орбите, обеспечивающее непрерывный круглосуточный мониторинг ОКП и прием целевой информации на один наземный пункт приема, разработаны: алгоритмы бортовой астрометрической обработки растровых кадров, предложена схема информационного обмена целевой информацией между оптико-электронными комплексами с использованием терминалов лазерной связи.
Практическая значимость. Полученные результаты обеспечивают возможность сопровождения СВДН в ОКП в масштабе времени, близкому к реальному, за исключение «взрывоподобных» событий.

Ключевые слова

Околоземное космическое пространство, опасные ситуации, космические аппараты, оптико-электронные комплексы.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

На протяжении всей космической эры, начиная с 1957 г., число запусков космических аппаратов (КА) и, соответственно, степень засоренности околоземного космического пространства (ОКП) техногенными космическими объектами (ТКО), к которым относят: действующие КА и космический мусор (прекратившие свое активное функционирование КА, различного рода материальные фрагменты космической деятельности, обломки КА), неуклонно и практически монотонно возрастают [1].

На сегодняшний день гарантированных методов защиты КА от столкновений с фрагментами космического мусора не существует. Наиболее эффективным остается подход, связанный с интеграций аппаратно-программных, общесистемных, информационных, коммуникационных, измерительных и организационных средства и технологий в автоматизированную систему предупреждения опасных сближений (АСПОС ОКП) [2], которая введена в эксплуатацию в 2016 году.

По аналогии с зарубежными аналогами развитие действующей АСПОС ОКП должно предусматривать наряду с развитием наземных радиолокационных и оптико-электронных технических средств мониторинга ОКП, создание оптико-электронные средства космического базирования [3, 4, 5].

За последние три года в околоземном космическом пространстве (ОКП) резко возрастает потребность мониторинга событий с высокой динамикой и неопределённостью исхода (СВДН). К таким событиям относятся опасные ситуации [6] с техногенными космическими объектами (ТКО) и маневры КА на орбите. В идеале для сопровождения СВДН технические

средства (ТС) мониторинга ОКП должны получать целевую координатную информации в темпе, сопоставимом с динамикой СВДН, и пространственной локализацией, обеспечивающей восстановление траекторий ТКО, участвующих в СВДН. Очевидно, что, вследствие ограниченных возможностей ТС мониторинга ОКП, идеал не достижим.

Наземные радиолокационные и часть наземных оптико-электронных технических средств реализуют барьерный способ мониторинга ТКО в ОКП, в котором получаемая целевая информация позволят восстанавливать лишь фрагментарные пространственно-временные характеристики СВДН с запаздываем до 12–24 часов.

В работе 2023 году авторами [7] предложена оптико-электронная космическую систему мониторинга техногенных космических объектов (КС ТКО), технические характеристики которой позволяют решать задачи действующей АСПОС ОКП. Потенциально схемотехнические решения КС ТКО могут реализовывать сопровождение СВДН на новом качественном уровне, обеспечивая глобальность обзора ОКП и возможность восстанавливать пространственно-временные характеристики СВДН с минимальным временным запаздываем.

Цель работы – сформулировать требования и предложить схемотехнические решения оптико-электронной КС ТКО, реализующей возможность сопровождения СВДН в. масштабе времени, близкому к реальному.

Задачи мониторинга ОКП, решаемые с использованием КС ТКО

Проведен сравнительный анализ перспективных задач АСПОС ОКП (далее – Система), указанных в [2,8]. За основу был принят перечень из Сборника основных задач перспективной АСПОС ОКП МАК «Вымпел» [8].

В ходе анализа была предложена следующая терминология. Задачи, решаемые на уровне Системы, сформулированные совместно с Потребителями информации (Заказчиками), предложено называть «заявками». Заявки поступают в главный информационно-аналитический центр (ГИАЦ). На основе заявок ГИАЦ формирует «задания» и направляет их в информационно-аналитический центр (ИАЦ) ТКО. Задания - массив текстовой и числовой информации, в котором приведены:

- размеры (орбиты, угловые размеры) области ОКП, подлежащей мониторингу;
- параметры движения (элементы орбит на данную эпоху, неопределённость положения и скоростей в инерциальной системе координат) ТКО.
- информация от внешних информационных систем, а также других составных частей Системы.

На основе полученных заданий ИАЦ ТКО формирует «задачи» для своих инструментов, один из которых – КС ТКО. Задача – массив текстовой и числовой информации, в котором приведено:

- размеры (орбиты, угловые размеры) области ОКП, подлежащей мониторингу параметры движения (элементы орбит на данную эпоху, неопределённость положения и скоростей в инерциальной системе координат) ТКО, учитывающий возможности и ограничения мониторинга с использованием КС ТКО.

В ходе сравнительного анализа задач Системы выявлено:

1) Если рассмотреть заявки с точки зрения инструмента (КС ТКО), то все они сводятся к трем видам функций: обнаружение ТКО; мониторинг ОКП; получение изображений ТКО. Эти функции реализуются выполнением задач КС ТКО.

2) Функции мониторинга ОКП:

- барьерный мониторинг ОКП;
- съемка заданной области ОКП с целью уточнения каталожных данных о ТКО;
- мониторинг с использованием стереосъемки двумя или тремя оптико-электронными камерами, установленными на различных КА;
- мониторинг траектории заданного ТКО за счет перенацеливания линии визирования аппаратуры (сопровождение).

3) Отдельной специальной функцией мониторинга является задача калибровки (валидации) КС ТКО.

В результате получен перечень задач КС ТКО, представленный в таблице 1.

Таблица 1. Перечень задач КС ТКО.

Условное наименование задачи	Формулировка задачи
Каталог	Мониторинг ОКП с целью получения координатной и некоординатной целевой информации (ЦИ) по заданным ИАЦ каталогизированным ТКО, расчет параметров их орбит, передача ЦИ и рассчитанных параметров орбит в ИАЦ для принятия решения об актуализации Каталога ТКО.
Барьер	Мониторинг заданной ИАЦ области контроля ОКП (зона барьера) на длительных интервалах времени с целью получения координатной и не координатной ЦИ по всем ТКО, движущимся в зоне барьера, передача ЦИ в ИАЦ.
Обнаружение	Мониторинг заданной ИАЦ области контроля ОКП с целью обнаружения отдельного некаталогизированного ТКО (гипотетического космического объекта -ГКО). Получение получения координатной и некоординатной ЦИ по ГКО, расчет параметров орбиты ГКО передача ЦИ и рассчитанных параметров орбит в ИАЦ для принятия решения о включении ГКО в каталог ТКО.
Стереосъемка	Синхронизированный мониторинг с использованием оптико-электронной аппаратуры, установленной на двух. /трех КА, заданной ИАЦ ТКО по заданным ИАЦ каталогизированным ТКО, расчет параметров их орбит, передача ЦИ и рассчитанных параметров орбит в ИАЦ для принятия решения об актуализации Каталога ТКО.
Сопровождение	Мониторинг в ОКП траектории ТКО, заданного ИА на длительных интервалах времени с целью получения координатной ЦИ поэтому ТКО, передача ЦИ в ИАЦ.
Изображение	Обнаружение заданного ИАЦ отдельного ТКО, получение изображений этого отдельного ТКО, придача изображений этого ТКО в ИАЦ.
Калибровка	Обнаружение в заданной области контроля заданных эталонных КО. получения координатной и некоординатной ЦИ по этим эталонным КО, сравнение полученной информации с заданной ИАЦ, корректировка настроечных параметров бортовой аппаратуры по результатам сравнения с целью точности координатных и фотометрических измерений.

Часть задач сопровождения, стереосъемки, получения изображений ТКО сводится к задачам сопровождения СВДН.

Требования к техническим средствам (ТС) мониторинга событий с высокой динамикой и неопределённостью исхода (СВДН)

В работе [6] предложена классификация опасных ситуаций в ОКП. Событие в околоземном космическом пространстве классифицируется как «опасная ситуация» в случае, если его наступление создает угрозу безопасному осуществлению космических операций, функционированию космических аппаратов, целостности космических объектов, штатной эксплуатации оборудования наземной космической инфраструктуры и населению Земли в целом.

Предложено различать следующие опасные ситуации:

- опасные сближения;
- столкновение двух космических объектов;
- астероидное-кометная опасность;
- неблагоприятное воздействие факторов окружающей среды;
- саморазрушение ТКО;
- неуправляемое возвращение в атмосферу.

Среди опасных сближений в работе [6] предложено различать два типа сближений

- кратковременное сближение, при котором относительная скорость объектов в точке с минимальным расстоянием между их траекториями превышает 10% от орбитальной скорости наиболее быстрого КО;

- продолжительное сближение, при котором относительная скорость КО в момент сближения меньше указанного порога. Такой вид сближений является характерным, например, для полетов в формации или для инспекции геостационарных КА.

Заметим, что с точки зрения возможностей инструмента (технического средства) мониторинга ОКП первичную классификацию событий в ОКП целесообразно проводить по критерию их динамики (скорости изменения во времени) и, соответственно, пространственной локализации событий. Исходя из этого, будем различать события с низкой динамикой и события с высокой динамикой.

К событиям с низкой динамикой отнесём события темп изменения которых сравним с периодом орбиты ТКО. Полагаем, что траектории и скорости ТКО в событиях с низкой динамикой могут быть рассчитаны по моделям возмущенного движения.

К событиям с высокой динамикой отнесем события, темп изменения которых превышает 10% характерной скорости изменения траектории ТКО в данном событии. Полагаем, что для таких событий неопределенность их исхода (апостериорные траектории и скорости ТКО) велика, поэтому назовем такие события, как событий с высокой динамикой и неопределённостью исхода (СВДН).

В таблице 2 приведен перечень СВДН с оценками пространственных и временных характеристик событий

Оценка интервала Т временной локализация события выполнена по формуле:

$$\mathrm{T} = 10\frac{\mathrm{Rл}}{\mathrm{V}}, \qquad (1)$$

где Rл – радиус пространственной локализация события;
V – характерная скорость изменения траектории ТКО в данном событии.

В идеале для сопровождения СВДН технические средства (ТС) мониторинга ОКП должны получать целевую координатную информации в темпе, сопоставимом с динамикой СВДН, и пространственной локализацией, обеспечивающей восстановление траекторий ТКО, участвующих в СВДН.

Очевидно, что, для сверхбыстрых событий с номерами (2, 3, 5, 6), вследствие ограниченных возможностей ТС идеал не достижим.

Наземные радиолокационные и большинство наземных оптико-электронных ТС реализуют барьерный способ мониторинга ТКО в ОКП, в котором получаемая целевая информация позволят восстанавливать лишь фрагментарные пространственно-временные характеристики СВДН с запаздываем до 12–24 часов.

Таблица 2. Перечень СВДН.

№	Событие	Радиус Rл пространственной локализация события	Характерная скорость V изменения траектории ТКО	Интервал Т временной локализация события
1	Опасное сближение с относительной скоростью более 10% от орбитальной	15 км	7 – 3 км/с	20 -45 с
2	Столкновение двух КА (принудительное, управляемое)	Два размера ТКО (примем 30 м)	7 – 3 км/с	0,04-0,1 с
3	Столкновение двух КО (неуправляемое)	Два размера ТКО (примем 30 м)	7 – 3 км/с	0,04-0,1 с
4	Отклонения траекторий группового полета формации КА	Критическое расстояние между КА (примем 50 км)	7 км/с	70 с
5	Саморазрушение (взрыв) ТКО (КА или КМ)	Размер ТКО (примем 15 м)	7 – 3 км/с	0,02-0,05 с
6	Управляемое разрушение ТКО	Размер ТКО (примем 15 м)	7 – 3 км/с	0,02-0,05 с

7	Быстрые маневры КА на орбите	Изменение траектории ~ 1 км	Изменение скорости 0,1 км/с	100 с
8	Нештатная стыковка ил разделение КА	Два размера ТКО (примем 30 м)	1 м/с	300 с

Для событий с номерами (1, 4, 7, 8) погрешности и темп координатных измерений с использованием наземных оптико-электронные станций и космических оптико-электронных комплексов (обеспечивающих динамическое перенацеливание линии визирования), сопоставимы с требуемой пространственной и временной локализаций события, что позволяет «снять вилеоролик» события, т.е. регистрировать пространственные и временные характеристики события в масштабе времени, близкому к реальному.

Отметим также, что апостериорная регистрация траекторий ТКО для сверхбыстрых событий с номерами (2, 3, 5, 6) с теми же, достижимыми ТС погрешностями, может позволить реконструировать пространственную структуру события.

Варианты построения КС ТКО

В соответствии с требованиями Технического задания на КС ТКО [8] в состав КС ТКО КС ТКО должна включать:

- ракетно-космический комплекс (РКК);
- наземный комплекс управления (НКУ);
- орбитальные средства (включают в себя КА с бортовыми оптико-электронными комплексами (ОЭК) после выведения их на целевую орбиту);
- наземный комплекс приема, обработки и распространения информации (НКПОР).

Очевидный вариант построения КС ТКО – использования готовых составных частей НКПОР, НКУ, РКК, адаптация существующей космической платформы под бортовой ОЭК. ОЭК может быть разработан специально или модернизирован на основе имеющегося задела. Этот вариант наиболее экономически выгоден, имеет минимальную цену и наименьшие риски реализации.

Следующий вариант построения КС ТКО – использование куб-сатов (микро космических аппаратов, массой до 100 кг. Оснащенных ОЭК) и готовых составных частей НКПОР, НКУ, РКК. Технические решения такого варианта представлены в обзоре [9]. Вариант имеет минимальную возможную стоимость микро-КА и ОЭК. Однако, низкая точность стабилизации углового положения микро-КА и ограниченная проницающая способность ОЭК требуют увеличивать группировку куб-сатов в 30–40 раз относительно численности группировки КС ТКО на основе малых КА.

Наиболее адекватным, на наш взгляд, является вариант, основанный на «осознании» роли и места КС ТКО в Системе.

КС ТКО является составной частью Системы и предназначена для получения координатной и некоординатной информации (ЦИ) по заданным ТКО с помощью ОЭК, установленных на космических аппаратах (КА), предварительной обработки полученной съемочной информации и передачи информации ЦИ в ИАЦ ТКО.

Естественно возникает вопрос – *Зачем нужно создавать КС ТКО, если можно продолжать развивать сеть наземных оптико-электронных станций?*

Для ответа на этот вопрос следует заметить, что космические ТС мониторинга ОКП имеют ряд преимуществ в сравнении с наземными ТС, а именно:

- отсутствует влияния атмосферы на результаты координатных и фотометрических измерений;
- отсутствует зависимость от погоды и времени суток, что позволяет получать целевую информацию круглосуточно;
- отсутствуют территориальные ограничения (в отличие от наземных средств, которые в основном размещаются на территории России), что дает уникальную возможность наблюдения всех ТКО на геостационарных и геосинхронных орбитах.

Исходя из указанных преимуществ, космических ТС, следует уточнить назначение КС ТКО: КС ТКО – функциональное дополнение Системы, обеспечивающее совершенствование тактико-технических Системы в целом, которое проблематично обеспечить путем развития лишь наземных оптико-электронных станций.

Следствием этого нового понимания роли и места КС ТКО в Системе является учтённая формулировка требований к техническим характеристикам КС ТКО: технические характеристики КС ТКО должны обеспечивать:

- требуемый уровень точности координатных и некоординатных измерений
- адаптивность (гибкость настройки) полей зрения по зонам контроля ТКО в пределах всей области ОКП
- своевременность получения ЦИ для решения целевых задач (см. таблицу 1), поставленных ИАЦ ТКО.

Предлагается создавать КС ТКО на основе нового понимания ее назначения, как функционального дополнения Системы.

Наземная часть КС ТКО включает в себя наземные комплексы управления (НКУ), большая часть средств которых заимствуется, центр управления полетом, центр планирования и обработки информации, комплексный моделирующий стенд.

Космическая часть КС ТКО – орбитальная группировка КА. В состав каждого КА входят:

- служебная платформа (большая часть бортовых систем и аппаратуры заимствуется);
- ОЭК, включающий в себя бортовую оптико-электронную аппаратуру (БОЭА).

Разработано два боротой аппаратуры. БОЭА с диаметром зрачка 200 мм (БОЭА-200) и БОЭА-600 с диаметром зрачка 600 мм (БОЭА-600).

Орбитальная группировка КА (рисунок 1) включает в себя восемь КА (четыре КА, каждый из которых оснащен БОЭА-600, и четыре КА, каждый из которых оснащен «веером» из шести БОЭА-200). КА расположены на солнечно-синхронной орбите (ССО) в плоскости терминатора. КА с БОЭА-200 и КА с БОЭА-600 размещены на ССО последовательно друг за другом с равномерным сдвигом 45 градусов. Поля зрения БОЭА ориентированы от Солнца (рисунок 2) на геосинхронную орбиту (ГСО).

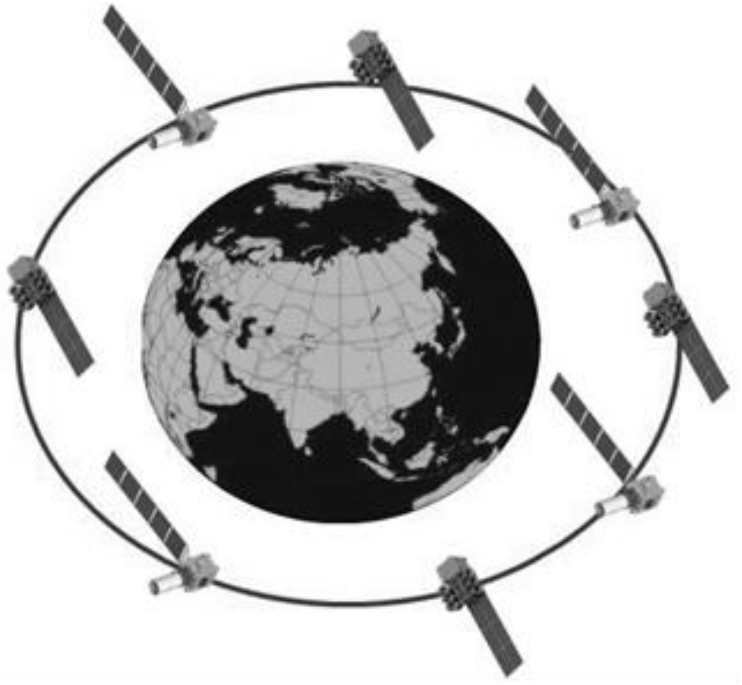


Рис. 1. Расположение КА с БОЭА-200 и КА с БОЭА-600 на ССО терминатора
Fig. 1. Location of spacecraft with BOEA-200 and spacecraft with BOEA-600 in a sun-synchronous terminator orbit

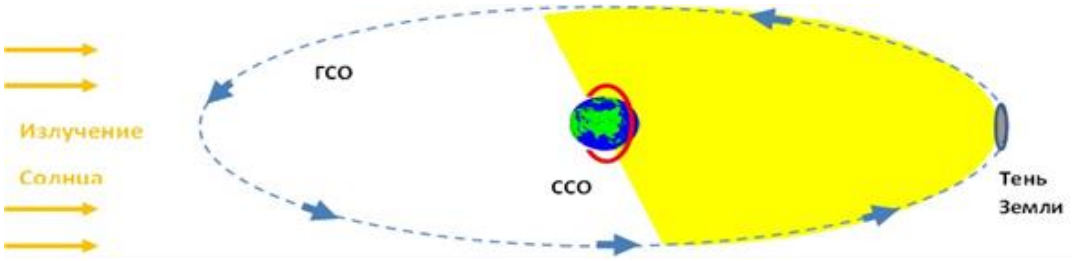


Рис. 2. Схема контроля ГСО (зона контроля КС ТКО обозначена светло-серым цветом; стрелки на ГСО – суточное движение КО)
Fig. 2. GEO control scheme (the control zone for the space monitoring system of man-made space objects is indicated in light gray; the arrows on the GEO indicate the daily movement of space objects)

КС ТКО обеспечивает детектирование ТКО со следующими характеристиками:
- проницающая способность 18^m (БОЭА-600), 14^m (БОЭА-200);
- точность угловых измерений 0.5 угл.с. (БОЭА-600), 3.0 угл.с. (БОЭА-200).

Схемотехнические решения КС ТКО, обеспечивающие сопровождение СВДН

Предложенные ранее схемотехнические решения КС ТКО [7] развиты и дополнены в части:

- уточнения орбитального построения КА, обеспечивающего максимальную глобальность обзора ОКП в зоне действия: по долготам от 0º до 360º, по наклонению от 0º до 180º, по высотам от 700 до 70000 км;
- обеспечения динамического переброса поля зрения (линии визирования) БОЭА;
- обеспечения стабилизированного углового движения линии визирования по заданному вектору перемещения КО
- обеспечения бортовой астрометрической обработки растровых кадров, регистрируемых БОЭА, с целью получения координатной ЦИ по соответствующим задачам (см. таблица 1)
- обеспечения передачи координатной ЦИ между КА с использованием терминалов лазерной связи. (ТЛС)
- выбора параметров ССО, обеспечивающих периодичность трассы КА и возможность непрерывного сброса ЦИ1 на наземные пункты приема информации НКПОР.

Из указанных решений рассмотрим те, которые обеспечивают возможность сопровождения СВДН.

а) Предложена схема ориентации КА в орбитальном построении (рисунок 3), Одна из строительных осей КА постоянно направлена по касательной к ССО. Линия визирования БОЭА-600, установленной на КА, ориентирована по направлению от Солнца. Одна из строительных осей КА постоянно направлена по касательной к ССО. Система ориентации и стабилизации (СОС) КА обеспечивает переброс линии визирования БОЭА-600 и стабилизация углового движения линии визирования вокруг оси касательной ССО.

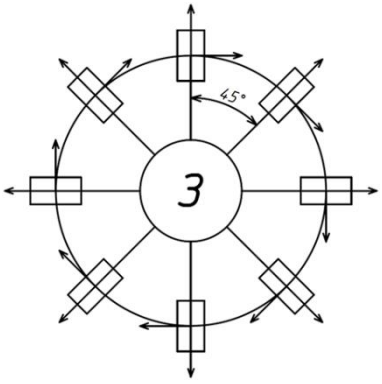


Рис. 3. Схема ориентации КА на ССО
Fig. 3. The orientation scheme of the spacecraft in a sun synchronous orbit

б) Введение в состав космической платформы устройства поворота (УП) БОЭА-200, которое обеспечивает переброс линии визирования БОЭА-200 и стабилизацию углового движения линии визирования вокруг оси, направленной от центра Земли КА. Размещение трех БОЭА-200, установленных на УП на космической платформе показано на рисунке 4. Схема ориентации КА с БОЭА-200 на ССО аналогично рисунку 3.

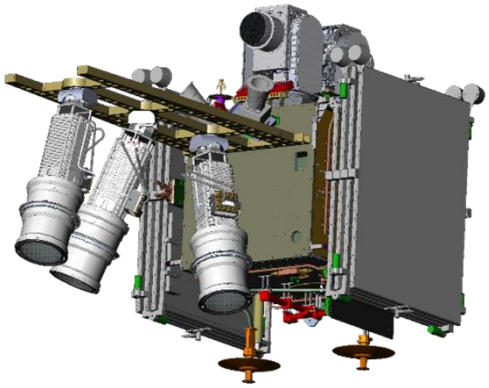


Рис. 4. Размещение трех БОЭА-200, установленных на УП на космической платформе
Fig. 4. Placement of three BOEA-200 mounted on a rotatable device on a space platform

в) Разработан бортовой алгоритм астрометрической обработки получаемых БОЭА растровых кадров в темпе съемки. Алгоритм включает следующие процедуры:

- радиометрическая коррекция кадра;
- удаление изображений звезд из кадра;
- поиск известных ТКО по каталожным данным, определение параметров их движения;
- поиск неизвестных (гипотетических) объектов, определение их параметров;
- коррекция дисторсии, аберрации света, временного параллакса;
- совместная обработка серии кадров.

Результат бортовой астрометрической обработки – снижение максимального информационного потока ЦИ от БОЭА с 2,2 Гбит/с до 20 Мбит/с.

г) Введение в состав ОЭК двух терминалов лазерной связи (ТЛС). Оптические оси ТЛС ориентированы вдоль оси касательной ССО (рисунок 3) навстречу друг другу. Технические характеристики ТЛС (разработка АО «НПК «СПП») представлены в таблице 4.

Таблица 4. Основные характеристики ТЛС

№	Параметр	Значение
1	Предельная пропускная способность	150 Мбит/с
2	Точность наведения луча, угл.сек.	1
3	Угол расходимости луча передатчика/маяка, угл.сек	13/247
4	Скорость слежения за приемным терминалом, град/с	До 1
5	Апертура приемника и передатчика, мм	100
6	Предельный диапазон углов, при которых возможно наведение передатчика на приемник (азимут, угол места , град	100 х 10
7	Предельная скорость изменения направления луча (не при слежении), град/с	10
8	Требуемая точность целеуказания, град	0,05

Характеристики и размеры рабочих световых полей ТЛС обеспечивают бесперебойную передачу информации между КА при развороте КА относительно оси касательной ССО на углы +- 180º.

Совокупность приведенных схемотехнических и конструкторские решений (а, б, в, г) позволяет создать единое информационное пространство между КА, что иллюстрирует на рисунке 5

Из бюджета времени $T_{ЦИ}$ получения и передачи ЦИ исчезает член $T_{пер}$ (указан увеличенными буквами):

$$T_{ЦИ} = T_{пер} + T_{астр\ обр} + T_{ЛС} + T_{расч\ пар\ орб}, \quad (2)$$

здесь $T_{пер}$~ 0,8 час для ССО, при условии одного НППИ;

$T_{астр\ обр}$ – время, необходимое для бортовой астрометрической обработки растровых кадров;

$T_{ЛС}$ – время, необходимое для передачи ЦИ межу ТЛС;

$T_{расч\ пар\ орб}$ – время, необходимое для расчета параметров орбит ТКО.

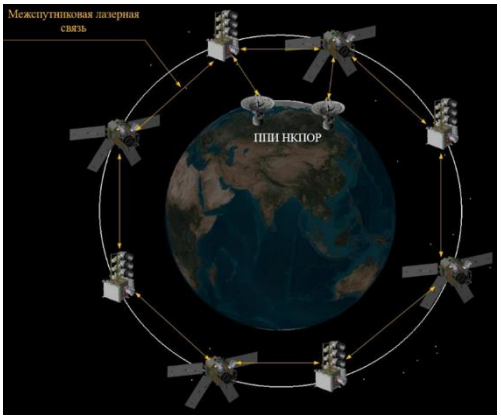


Рис. 5. Обеспечение передачи целевой информации в масштабе времени, близкому к реальному
Fig. 5. Ensuring the transmission of targeted information on a close-to-real time scale

БОЭА, установленная на КА непрерывно осуществляет съемку (растровые кадры) ОКП. Бортовой вычислитель БОЭА проводит астрометрическую коррекцию растровых кадров. Полученная ЦИ передаается ТЛС на все КА. Один из КА постоянно находится в зоне приема НППИ и передает в НППИ поток ЦИ полученный всеми БОЭА всех КА.

Оценки достижимых пространственных и временных характеристик КС ТКО по сопровождению СВДН

Минимальный размер сопровождаемого ТКО.

Для оценки минимального размера сопровождаемого ТКО используем известную формулу блеска условной ламбертовской сферы (УЛС):

$$m = -8 + 5 \cdot lg\left(\frac{Д}{d}\right), \quad (3)$$

здесь m – блеск УЛС;

Д – дистанция от наблюдателя до УЛС;

d – диаметр УЛС.

Для проницающей способности БОЭА-200, для низких орбит Д =2000 км, получаем d = 8 см.

Для проницающей способности БОЭА6200, для высоких орбит Д =40000 км, получаем d = 25 см.

Соотношение максимального радиуса Rл локализации СВДН размера его изображения на фотоприёмном устройстве (ФПУ) БОЭА.

Задаваясь угловым размером δ/f пиксела, числом N пикселов ФПУ, по формуле:

$$N \cdot Д\frac{\delta}{f} > R_{л}, \quad (4)$$

оцениваем размер проекции поля ФПУ на предметную область, где происходит СВПН, и сравниваем его с Rл.

Убеждаемся, что вся пространственная структура СВДН для максимального значения Rл = 50 км (строка 4 в таблице 2) укладывается с запасом в один растровый кадр.

Для БОЭА-200, для низких орбит Д =2000 км, получаем:

$$1000 \cdot 2000 \frac{11 \cdot 10^{-3}}{300} > 50 \text{ км}_{\text{л}}.$$

Для БОЭА-600, для низких орбит Д =40000 км, получаем

$$1000 \cdot 40000 \frac{9 \cdot 10^{-3}}{1200} > 50 \text{ км}_{\text{л}}.$$

Соотношение между интервалом Т временной локализация события и временем экспонирования растрового кадра

Из таблицы 2 минимальное время для СВДН с номерами (1, 4, 7, 8)

Т= 20 с. При времени экспортирования одного кадра от 0,2 до 2 с в «видеоролик» войдет более от 10 до 100 кадров, что вполне достаточно, чтобы восстановить изменение пространственной структуры СВДН.

Для «взрывоподоюбных» СВДН с номерами (2, 3, 5, 6), получать целевую координатную информации в темпе, сопоставимом с их динамикой невозможно.

Можно надеяться, что апостериорная регистрация траекторий ТКО для этих сверхбыстрых событий с номерами (2, 3, 5, 6) со экспортирования одного кадра от 0,2 до 2 с позволит реконструировать пространственную структуру этого взрывоподобного события.

Заключение

Обосновано орбитальное построение восьми КА на солнечно-синхронной терминаторной орбите, обеспечивающее непрерывный круглосуточный мониторинг ОКП и прием целевой информации на один наземный пункт приема, разработаны: алгоритмы бортовой астрометрической обработки растровых кадров, предложена схема информационного обмена целевой информацией между ОЭК с использованием терминалов лазерной связи (ТЛС).

Полученные результаты обеспечивают возможность сопровождения СВДН в ОКП в масштабе времени, близкому к реальном, за исключение «взрывоподобных» событий.

Список источников

1. *Вениаминов С.С., Червонов А.М.* Космический мусор – угроза человечеству. М.: ИКИ РАН, 2012.
2. Мониторинг техногенного засорения околоземного пространства и предупреждение об опасных ситуациях, создаваемых космическим мусором / под ред. Ю.Н. Макарова Монография. – ЦНИИмаш – Рязань: Изд-во РИНФО, 2015.
3. SBSS [Электронный ресурс] / URL – http://www.boeing.com/defense-space/ic/sis/news/2008/q2/080421b_nr.html (дата обращения 25.09.24)
4. SBSS [Электронный ресурс] / URL – http://www.vko.ru/oruzhie/bolshie-vozmozhnosti-pri-malyh-razmerah (дата обращения 25.09.24)
5. *Diego Escorial Olmos, Fernando E. Alemán Roda, Kevin Middleton, Joris. Naudet.* Space-based space surveillance operational and demonstration missions – 6th European Conference on Space Debris, 2013.
6. Формирование единого классификатора опасных ситуаций в околоземном космическом пространстве / Е.А.Павлова [и др.] // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2020. № 23. 22 с. http://doi.org/10.20948/prepr-2020-23 URL: http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2020-23
7. *Олейников И.И., Архипов С.А., Тунгушпаев А.Т.* Перспективная космическая система наблюдения космических объектов в околоземном космическом пространстве оптико-электронными средствами// Радиотехника, 2023, том 87, № 4 2023, https://doi.org/10.18127/j00338486-202303-03
8. Сборник основных задач ГИАЦ МП, разработанный МАК «Вымпел» от 25.10.2023.
9. *Малетин А.Н., Глушенко А.А., Мишина О.А.* Исследование возможностей современных космических средств по мониторингу объектов в околоземном космическом пространстве // Труды МАИ. 2022. № 127/ DOI: 10.34759/trd-2022-127-21

ON THE POSSIBILITY OF FUNCTIONING OF A SPACE MONITORING SYSTEM FOR NEAR EARTH SPACE OBJECTS ON A TIME SCALE CLOSE TO REAL

S.A. Arkhipov[1], O.B. Zvezdin[2], A.T. Tungushpaev[3]
[1-3]JSC «Precision Systems and Instruments» (Moscow, Russia)

Abstract

Problem statement. Over the past three years, the need for monitoring events with high dynamics and uncertainty of outcome (EHDU) has been sharply increasing in near-Earth space (NES). Such events include dangerous situations with man-made space objects (MSO) and spacecraft maneuvers in orbit. Ideally, to accompany the EHDU, the technical means (TM) of monitoring the NES should receive target coordinate information at a pace comparable to the dynamics of the EHDU and spatial localization, ensuring the restoration of the trajectories of the MSO involved in the EHDU. Obviously, as a result of the limited capabilities of the vehicle monitoring the NES, the ideal is not achievable.

Goal. To formulate requirements and propose circuit design solutions for the optoelectronic TM of MSO, which implements the possibility of monitoring EHDU, on a time scale close to real time. **Results.** The orbital construction of eight spacecraft in a sun-synchronous terminator orbit is justified, providing continuous round-the-clock monitoring of the NES and receiving target information to one ground-based reception point. Algorithms for on-board astrometric processing of raster frames have been developed. A scheme for the information exchange of target information between the optical and electronic complexes using laser communication terminals has been proposed.

Practical significance. The results obtained make it possible to track the EHDU in the NES on a time scale close to real, with the exception of "explosive" events.

Keywords

Near-Earth outer space, dangerous situations, spacecraft, optical and electronic complexes.

УДК 551.467

РЕЗУЛЬТАТЫ ДЕШИФРИРОВАНИЯ ОПАСНЫХ ЛЕДОВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ В АКВАТОРИИ ОБСКОЙ И ТАЗОВСКОЙ ГУБ

Е.М. Балашова[1]
[1] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] eva.balashova.02@mail.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Обская и Тазовская губы, как ключевые транспортные артерии Российской Арктики, играют важную роль в обеспечении грузоперевозок, включая экспорт сжиженного природного газа через порт Сабетта. Однако длительный ледовый период и активное формирование **опасных ледовых образований**, таких как торосы, гряды торосов и стамухи, создают серьезные риски для судоходства и инфраструктуры.

Цель. Выполнить дешифрирование опасных ледовых образований в акватории Обской и Тазовской губ с помощью методики ААНИИ по снимкам за весенний период 2025 года.

Результаты. Выполнено дешифрирование гряд и скоплений торосов, проанализировано их пространственное распределение. Результаты дешифрирования оформлены в виде картографических материалов.

Практическая значимость. Результаты данного исследования имеют важное **значение** для обеспечения безопасной навигации, защиты инфраструктуры и оптимизации хозяйственной деятельности в акватории Обской и Тазовской губ. Своевременное обнаружение **торосов** поможет предотвращать повреждения подводных трубопроводов, терминалов и портовых сооружений, а также планировать ледозащитные мероприятия для объектов **Арктик СПГ-2** и других промышленных проектов.

Ключевые слова

Обская губа, Тазовская губа, опасные ледовые образования, торосы, дешифрирование, спутниковые изображения, радиолокационные изображения.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Обская губа (рисунок 1) – это крупнейший залив в Карском море, эстуарий реки Обь, который является важной водной артерией для таких крупных портов, как Сабетта и Новый Порт, расположенных в Ямало-Ненецком автономном округе (ЯНАО). Ее площадь составляет 44 500 км^2, наибольшая глубина – 25 м, средняя глубина – 12 м. Лёд покрывает Обскую губу почти весь год [1, 2].

Тазовская губа (рисунок 1) – это пресноводный залив Обской губы в среднем до 9 м глубиной. Залив имеет длину примерно 330 км, а ширина у входа в Обскую губу составляет 45 км. Он образован затопленными долинами рек Таз и Пур, впадающих в него [3].

Актуальность темы настоящей работы обусловлена тем, что Обская и Тазовская губы играют ключевую роль в транспортной инфраструктуре России, так как они важны для транспортировки сжиженного газа, а также для доступа к порту Сабетта.

Опасные ледовые образования (ОЛО) представляют серьезную угрозу для хозяйственной деятельности и прибрежной инфраструктуры [4]. Своевременное обнаружение и мониторинг таких явлений критически важны для предотвращения аварий и катастрофических последствий.

Среди самых распространенных ледовых явлений выделяют торосы, гряды торосов, стамухи, айсберги, несяки, ледяные бугры и многолетний лед [5].

Торосы – это нагромождения льда высотой до 10-12 метров. У торосов присутствует надводная часть – парус и подводная часть, именуемая килем. Киль обычно в несколько раз больше паруса. Торосы образуются при сжатии ледового покрова из-за высокой скорости дрейфа льда к границе припая [5]. Они создают существенные препятствия для судоходства и могут повреждать гидротехнические сооружения.

Гряды торосов – это протяженные скопления нагроможденного льда.

Стамуха – частный случай тороса. Нагромождение льда, вросшее в донный грунт. Чаще всего встречаются в мелководных районах.

Айсберги – это отколовшиеся от ледников крупные массивы льда.

Несяки **–** дрейфующие ледяные острова.

Ледяные бугры – вспученные участки льда, возникающие из-за внутренних напряжений.

Многолетний лед – плотный и толстый ледяной покров, сохраняющийся несколько лет.

Для акваторий Обской и Тазовской губ в большей степени характерны торосистые образования, а именно торосы, гряды торосов и стамухи, поэтому прежде всего необходимо проводить их мониторинг для предотвращения чрезвычайных ситуаций.

Цель данной работы – выполнить дешифрирование торосов на основе технологии обнаружения стамух в арктических морях в период полярного дня по спутниковым радиолокационным снимкам и изображениям в оптическом диапазоне на акваторию Обской и Тазовской губ.

Красным цветом на рисунке 1 выделена зона для регионального исследования методики.



Рис. 1. Обская и Тазовская губы на карте [6]
Fig. 1. Location of the Ob and Taz Gulfs on the map

Исходные данные и методика выполнения работ

Еще в XX веке исследования ледового покрова акваторий морей (в том числе ОЛО) проводились с помощью аэрофотосъемки с самолетов, которые были оборудованы инфракрасными датчиками, а также радиолокационным станциями бокового обзора (РЛС БО). Со временем для уточнения дешифровочных признаков стали использоваться комбинированные методы радиолокационных и аэрофотографических съемок [7].

Однако аэрофотосъемка имеет существенные недостатки, такие как ограниченные площади съемки с малых высот и сложность получения данных для анализа без полевого обследования [7]. Поэтому в данном исследовании для достижения цели и поставленных задач были использованы данные с различных спутниковых систем, в особенности снимающих в СВЧ-диапазоне (радиолокационные спутниковые системы).

Так как стамуха является частным случаем тороса, то методы обнаружения стамух можно применить и для обнаружения торосов с учетом некоторых допущений (торосы не образуют ледяной массы, которая достигает дна).

В рамках выполнения работы для выделения на спутниковых снимках торосов за основу была взята методика ААНИИ для обнаружения стамух в морях в период полярного дня (рисунок 2) [5]. Она заключается в сопоставлении снимков видимого и радиолокационного диапазонов высокого пространственного разрешения. Радиолокационный снимок необходимо выбрать на день исследования (N). На снимках в видимом диапазоне должен быть

минимальный процент облачности (если таковой отсутствует на день N, то выбирается снимок на N-1 день, этот снимок анализируется на наличие облачности и т.д.). Далее нужно векторизовать на этих изображениях торосы по дешифровочным признакам, а затем пересечь полученные два слоя и получить шейп-файлы торосов на день N. Заключительным шагом является создание дешифровочной карты-схемы положения торосов на день N.

В качестве радиолокационной спутниковой системы была использована миссия Sentinel-1. Sentinel-1 – это спутниковая система радиолокационного зондирования Земли, разработанная Европейским космическим агентством (ESA) в рамках программы Copernicus. Она состоит из спутников Sentinel-1A (запущен в 2014 г.), Sentinel-1B (запущен в 2016 г., но выведен из эксплуатации в 2022 г. из-за неисправности) и Sentinel-1C (запущен в конце 2024 г. в качестве замены спутника Sentinel-1B). Все спутники группировки оснащены радаром с синтезированной апертурой С-диапазона**,** что позволяет получать изображения поверхности в любую погоду и время суток**.**

Для выполнения поставленной цели был загружен снимок спутниковой радиолокационной системы Sentinel-1C в Interferometric Wide Swath **(**IW) режиме (полоса обзора 250 км, пространственное разрешение 5×20 м). Наиболее интенсивное торошение в Карском море происходит в осенне-зимний период [8]. Выбор даты съемки (01.04.2025) обусловлен ограниченной репрезентативностью данных в открытом архиве GEODES: на рассматриваемый регион отсутствовали снимки в режиме IW за предшествующий период (ранее марта 2025 года), а также в связи с тем, что поздней осенью и зимой в широтах Российской Арктики невозможно получить изображения в видимом диапазоне.

Снимок был обработан в специализированном ПО ESA SNAP: был удален спекл-шум, а также было проведено геокодирование и ортотрансформирование снимка.

Также, для сопоставления результатов дешифрирования, как вспомогательный инструмент были использованы два снимка в оптическом диапазоне со спутниковой группировки Sentinel-2, которая состоит из спутников Sentinel-2A (запущен в 2015 г.) и Sentinel-2B (запущен в 2017 г.). Спутники предоставляют данные в 13 спектральных диапазонах с пространственным разрешением от 10 до 60 метров на пиксель.

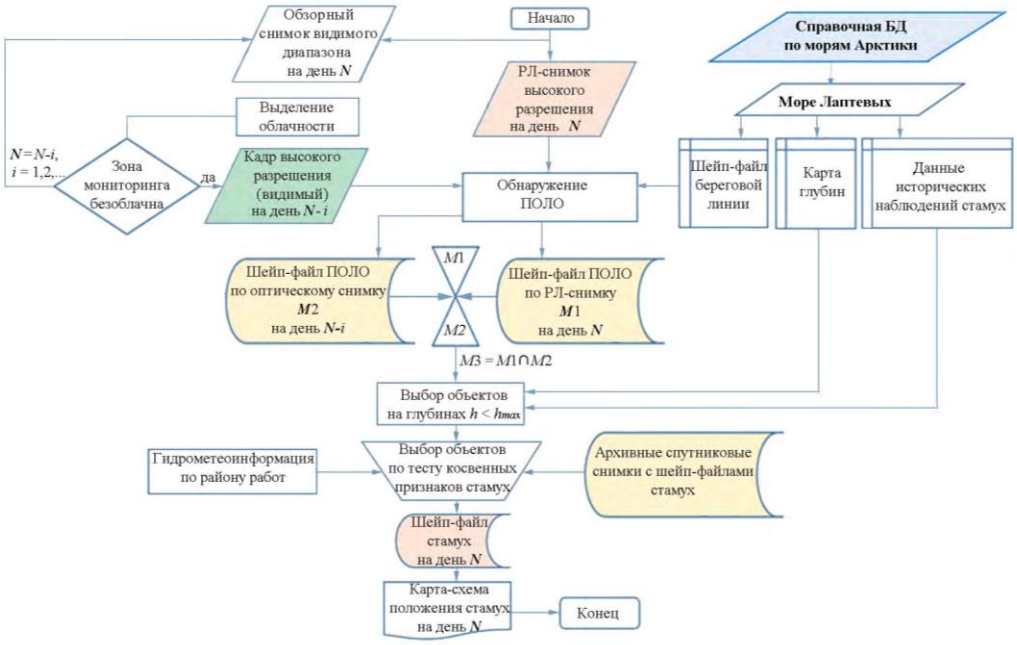


Рис. 2. Технологическая схема обнаружения стамух в арктических морях в период полярного дня по спутниковым радиолокационным снимкам и изображениям в оптическом диапазоне [5]

Fig. 2. Technological scheme for detecting grounded hummocks in the Arctic seas during the polar day using SAR and optical range images

Результаты работы

Характерным признаком тороса для изображения в видимом диапазоне является шероховатая, неоднородная поверхность, в отличие от ровного льда, а также выраженные тени, подчеркивающие неровности.

Для торосов характерным косвенным дешифровочным признаком является их близкое, как бы параллельное расположение к берегу, в связи с тем, что особенно сильные сжатия возникают при движении льдов с большой скоростью в сторону границы припая и берегов [2, 9]. На рисунке 3 проиллюстрирован пример гряды, который образовался параллельно берегу.

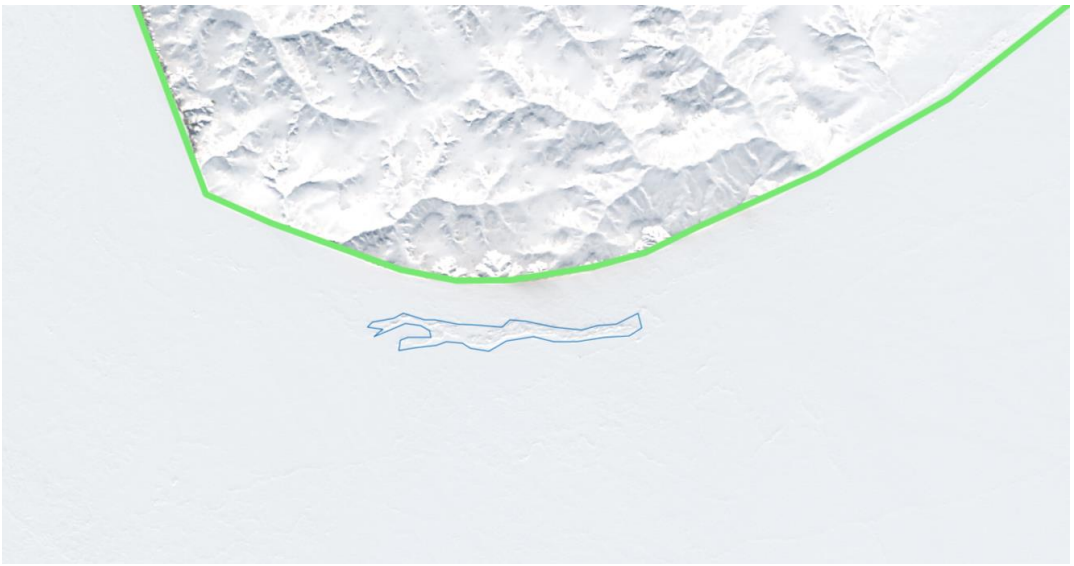


Рис. 3. Гряда торосов, выделенная по изображению в видимом диапазоне
Fig. 3. Ridge of hummocks, decoded from the image in the visible range

Торосы, представляющие собой хаотичные нагромождения обломков льда, обладают высокой отражательной способностью в радиолокационном диапазоне (в связи с большой степенью шероховатости), что проявляется в виде ярких (светлых) участков на радиолокационных снимках [10]. Это связано с уникальными физико-геометрическими характеристиками их поверхности. Крупная гряда торосов, выделенная по оптическому изображению, на радиолокационном снимке выглядит следующим образом (рисунок 4).

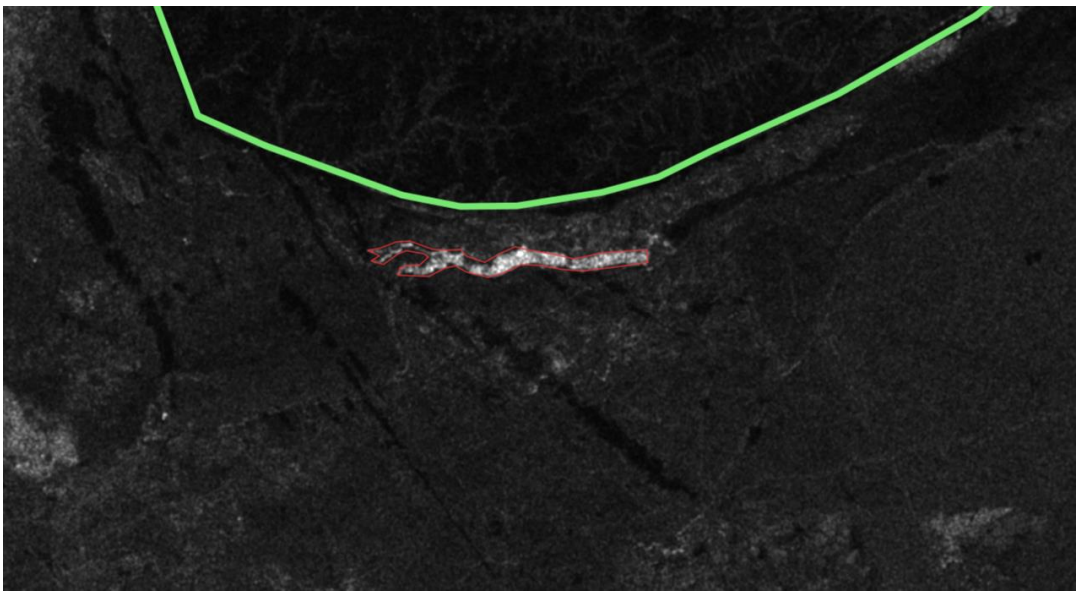


Рис. 4. Гряда торосов, выделенная по радиолокационному изображению
Fig. 4. Ridge of hummocks, decoded from the SAR image

Наличие столь крупной торосовой гряды на снимке представляет собой редкое явление. В связи с этим при работе с материалами среднего пространственного разрешения, соответствующими масштабу исследования, было принято решение идентифицировать торосы по наиболее ярким (и, следовательно, наиболее шероховатым) участкам радиолокационного изображения. Наиболее яркие пиксели на радиолокационном изображении были выделены следующим образом: в ГИС QGIS для области исследования была создана сетка 500 на 500 м, наложена маска суши, с помощью инструмента «Зональная статистика» было рассчитано максимальное значение яркости пикселов в границе каждой ячейки сетки и были выбраны значения яркости больше 240.

На снимках в видимом диапазоне торосы определялись на основе прямых дешифровочных признаков, включая характерную форму и теневые эффекты.

После совместного анализа и пространственного пересечения слоев, выделенных по данным радиолокационного снимка и снимка в видимом диапазоне, были определены наиболее вероятные локализации торосовых образований и восстановлена их геометрическая структура.

В результате выполнения всех шагов, описанных в предыдущем разделе, была получена дешифровочная карта-схема расположения торосов на 01.04.2025 (рисунок 5).

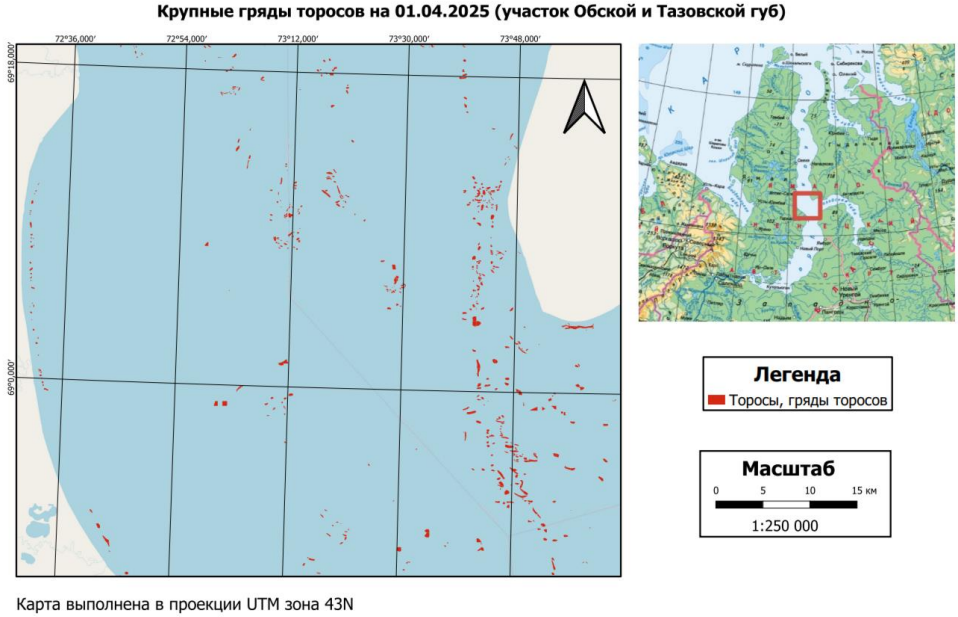


Рис. 5. Карта-схема расположения торосов на 01.04.2025
Fig. 5. Schematic map of the location of hummocks as of 01.04.2025

По данной карте можно выявить протяженность гряд торосов вдоль западного и восточного берегов Обской губы. Выше рассматривалось, что расположение торосов вдоль берегов является косвенным дешифровочным признаком.

Большое скопление торосов обнаружено и в месте слияния Обской и Тазовской губ. Это может быть связано с особенностями течений в рассматриваемой зоне, которые создают области возмущения [11] и способствуют перемещению льда и его нагромождению, формируя торосистые образования.

Заключение

В ходе проведенного исследования было выполнено дешифрирование гряд и скоплений торосов, проанализировано их пространственное распределение по методике дешифрирования ОЛО ААНИИ в акватории Обской и Тазовской губ.

Применение радиолокационных снимков Sentinel-1 и оптических изображений Sentinel-2 позволило идентифицировать и локализовать торосы, что было подтверждено результатами визуального анализа.

Анализ ОЛО на акваториях Обской и Тазовской губ позволяет выполнять накопление информации об условиях формирования и особенностях пространственного распределения ОЛО в исследуемых акваториях, которая имеет высокую практическую ценность для обеспечения безопасного судоходства, защиты прибрежной инфраструктуры и оптимизации хозяйственной деятельности в регионе.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на расширение базы данных спутниковых снимков, включение дополнительных параметров анализа и разработку автоматизированных систем мониторинга для оперативного обнаружения опасных ледовых образований. Это позволит повысить надежность и своевременность принимаемых решений в условиях меняющейся арктической среды.

Список источников

1. *Ильин Г. В.* Гидрологический режим Обской губы как новой области морского природопользования в российской Арктике //Наука юга России. – 2018. – Т. 14. – №. 2. – С. 20-32.
2. *Тарасенко А.Д., Селюженок В.В., Сандалюк Н.В., Абрамова И.А., Демчев Д.М*. Исследование ледовой обстановки Обской губы по современным спутниковым данным в 2007–2017 гг. // Проблемы Арктики и Антарктики. 2022. Т. 68. № 1. С. 48–63.
3. *Степанова В. Б. Зообентос* Тазовской губы //Вестник рыбохозяйственной науки. – 2014. – Т. 1. – №. 3. – С. 56-62.
4. *Лобанов А. В. и др.* Методология определения морфометрических характеристик торосистых образований по данным космосъемки применительно к акватории Обской губы //Газовая промышленность. – 2021. – №. 7. – С. 34-45.
5. *Смирнов В. Г., Бычкова И. А., Платонова Е. В.* Обнаружение по спутниковым данным опасных ледяных образований вблизи инженерных объектов хозяйственной деятельности на шельфе арктических морей. Методическое пособие. Санкт-Петербург. – 2017.
6. Национальный Атлас России: офиц. сайт. – URL: https://nationalatlas.ru/ (дата обращения: 01.04.2025).
7. *Бушуев А. В. и др.* Спутниковые методы определения характеристик ледяного покрова морей. – 2011.
8. *Зубакин Г.К.* (ред.) Ледяные образования морей Западной Арктики. — Санкт-Петербург: ААНИИ, 2006. — С. 102–109.
9. *Миронов Е. У., Порубаев В. С.* Формирование гряд торосов в прибрежной части Карского моря и их морфометрические характеристики //Современные проблемы науки и образования. – 2012. – №. 4. – С. 331-331.
10. *Чумаков М. М., Лужкова К. В.* Определение характеристик ледяного покрова на акваториях западной части Карского моря и Обско-Тазовского региона по радиолокационным и спектрорадиометрическим данным дистанционного зондирования Земли //Вести газовой науки. – 2013. – №. 3 (14). – С. 113-118.
11. *Лапин С. А*. Гидрологическая характеристика Обской губы в летне-осенний период //Океанология. – 2011. – Т. 51. – №. 6. – С. 984-984.

RESULTS OF DECIPHERING HAZARDOUS ICE FORMATIONS IN THE OB AND TAZ GULF WATERS

E.M. Balashova [1]**,**
[1] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] eva.balashova.02@mail.ru

Abstract

The Ob and Taz Gulfs serve as vital transport arteries in the Russian Arctic, playing a crucial role in cargo operations, including the export of liquefied natural gas (LNG) via the Port of Sabetta. However, the extended ice season and active formation of hazardous ice features – such as hummocks, ridges, and grounded hummocks – pose significant risks to maritime navigation and critical infrastructure. The study aims to identify and analyze hazardous ice formations within the Ob and Taz Gulfs using the Arctic and Antarctic Research Institute (AARI) methodology, based on satellite imagery from the spring of 2025. The research involved the interpretation of ice ridge formations and their spatial distribution patterns. The results were compiled into detailed cartographic materials. The findings hold substantial importance for ensuring safe navigation, safeguarding infrastructure, and optimizing industrial operations in the Ob and Taz Gulfs. Early detection of hummocks will help mitigate risks to subsea pipelines, port terminals, and other critical facilities, while also supporting ice management strategies for the Arctic LNG-2 project and other industrial developments in the region.

Keywords

Ob Gulf, Taz Gulf, dangerous ice formations, hummocks, decoding of space images, satellite images, radar images.

УДК 528.8:528.9

МАТЕМАТИЧЕСКИ ТОЧНОЕ ВЫЧИСЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ СФЕРОИДИЧЕСКОЙ ТРАПЕЦИИ

Г.Б. Воронов[1]
[1] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] voronov_g@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. В современном мире вопрос вычисления площади участка земной поверхности при решении задач математической картографии и сфероидической геодезии весьма актуален. Работа посвящена математически точному вычислению площади сфероидической трапеции, ограниченной меридианами и параллелями на поверхности земного эллипсоида. Получена формула, позволяющая вычислять площади таких трапеций с использованием параметров заданного эллипсоида. Используемые на практике методы вычисления площадей сфероидических трапеций часто базируются на численных подходах, которые не всегда удовлетворяют требованиям точности. Необходима аналитическая формула для расчёта площади сфероидических трапеций.

Цель. Разработать и представить аналитическое выражение, обеспечивающее математически точное вычисление площади сфероидической трапеции.

Результаты. Получены формулы, позволяющие вычислять площадь сфероидической трапеции с использованием интегрального исчисления, параметров эксцентриситета и сжатия эллипсоида. Приведены конкретные примеры расчёта площади одноградусной и двухградусной трапеций на разных эллипсоидах.

Практическая значимость. Разработанные формулы могут быть применены в геодезических и картографических расчётах, повышая точность и эффективность вычисления площадей на поверхности Земли и других небесных тел.

Ключевые слова

Сфероидическая трапеция, большая полуось эллипсоида, сжатие, эксцентриситет.
A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Математическая картография изучает вопросы создания и использования карт, связанные с отображением выпуклых поверхностей на плоскость. Одной из фундаментальных задач является вычисление площадей элементов на поверхности эллипсоида вращения, что требует применения точных математических методов и формул.

Цель работы – решение вопросов математической картографии, касающихся проблемы точного вычисления площадей сфероидических трапеций на поверхности земного эллипсоида, а также разработка математически строгого метода для абсолютно точного вычисления площади сфероидической трапеции с использованием аналитического интегрирования. Показана значимость точных аналитических решений в противовес приближённым численным методам.

Вычисление площади сфероидической трапеции

Математическая картография - одна из дисциплин науки картографии. Эта дисциплина изучает те вопросы создания карт и их использования, которые связаны с изображением на плоскости выпуклых поверхностей шарообразной или близкой к ней формы, а именно: земного шара и эллипсоида, планетарных тел и небесной сферы. Предметом математической картографии является математическая основа географических карт, рассматриваемая в целом, а также отдельные математические элементы, и прежде всего проекции географических и астрономических карт [1,2,3].

Опираясь на понятие о математической основе карты, можно кратко сказать, что математическая картография является учением о математической основе географических и астрономических карт.

При решении задач математической картографии с большим успехом используют аппарат высшей математики, особенно математического анализа. Ряд первостепенного

значения разработок по теории проекций выполнен при помощи интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений и дифференциальных уравнений в частных производных. Так как точное вычисление интегралов иногда очень сложно или даже невыполнимо, то в ряде случаев прибегают к приближённому, но удовлетворяющему практические запросы численному интегрированию.

Всё большее применение в картографии находят различные приложения численных методов математики [4,5,6].

В качестве исходной координатной поверхности принимается математическая поверхность эллипсоида вращения. Размеры и ориентировка в пространстве этой поверхности устанавливаются так, чтобы она была достаточно близка к основной уровенной поверхности - геоиду. Такой эллипсоид вращения называется земным эллипсоидом или земным сфероидом.

Сфероидической трапецией называется часть поверхности земного эллипсоида, ограниченная меридианами и параллелями [7,8] (рис. 1).

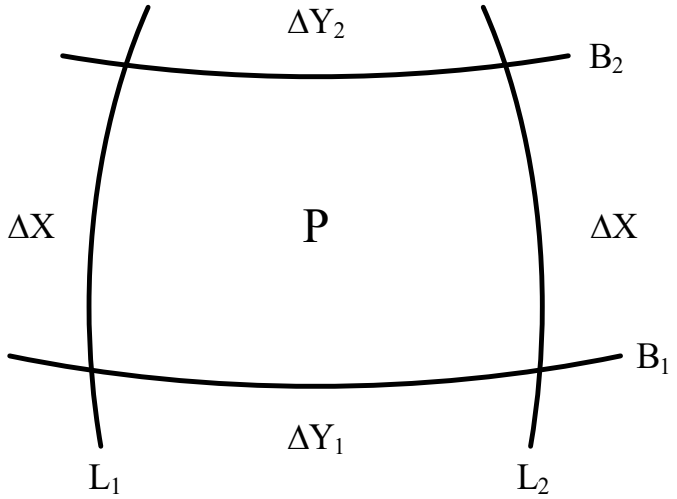


Рис. 1. Сфероидическая трапеция
Fig. 1. Spheroidal trapezoid

На рисунке параллели обозначены B_1, B_2; а меридианы – L_1, L_2. Найдём формулу для вычисления площади сфероидической трапеции [Морозов В. П. Курс сфероидической геодезии. / Изд. 2, перераб. и доп., М., Недра, 1979, 296 с.]. Элемент площади dP равен произведению дифференциалов дуг координатных линий dX и dY, значения которых определяются формулами (1) и (2):

$$dX = \frac{a(1-e^2)}{W^3}dB \tag{1}$$

и

$$dY = \frac{a\cos B}{W}dL, \tag{2}$$

где величина сфероидической геодезии W, зависящая от эксцентриситета эллипсоида и широты, определяется следующим выражением (3):

$$W = \sqrt{1-e^2\sin^2 B}. \tag{3}$$

a – большая полуось эллипсоида;
e^2 – квадрат эксцентриситета эллипсоида.

Эксцентриситет эллипсоида вычисляется по формуле $e = \sqrt{2a-a^2}$.

В настоящее время установлена государственная геоцентрическая система координат «Параметры Земли 1990 года» (ПЗ-90), отнесённая к эпохе 2010.0 и обозначаемая как ПЗ-

90.11, в которой используется общеземной эллипсоид с большой полуосью a = 6 378 136 м и сжатием α = 1/298,25784 [9,10].

ПЗ-90.11 введён в действие в качестве национального стандарта с 1 июля 2018 г. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 сентября 2017 г. № 1055-ст в межгосударственном стандарте ГОСТ 32453-2017 [17].

Искомый элемент площади dP (4):

$$dP = \frac{a^2(1-e^2)\cos B}{W^4} dBdL. \quad (4)$$

Так как малая полуось эллипсоида (5):

$$b = a(1-\alpha) \quad (5)$$

и уравнения (6) и (7):

$$a^2(1-e^2) = b^2 \quad (6)$$

$$W^2 = 1 - e^2\sin^2 B, \quad (7)$$

то интегрированием можно вычислить площадь (8):

$$P = b^2 \int_{L_1}^{L_2} \int_{B_1}^{B_2} \frac{\cos B}{(1-e^2\sin^2 B)^2} dBdL. \quad (8)$$

Отсюда предварительно найдём (9):

$$P = b^2(L_2 - L_1) \int_{B_1}^{B_2} \frac{\cos B}{(1-e^2\sin^2 B)^2} dB. \quad (9)$$

Интеграл в правой части этого равенства может быть выражен в элементарных функциях. Пользуясь подстановкой (10)

$$e\sin B = \sin B\psi. \quad (10)$$

Находим (11)

$$\int_{B_1}^{B_2} \frac{\cos B}{(1-e^2\sin^2 B)^2} dB = \frac{1}{e}\int \frac{\psi}{\cos^3\psi}. \quad (11)$$

В правой части интеграл уже является табличным.

В результате интегрирования и возврата к исходной переменной вместо равенства (9) получим следующее выражение (12)

$$P = \frac{b^2}{2}(L_2 - L_1)\left|\frac{\sin B}{1-e^2\sin^2 B} + \frac{1}{2e} ln\frac{1+e\sin B}{1-e\sin B}\right|_{B_1}^{B_2}. \quad (12)$$

Примеры использования полученных формул

Вычислим площадь P одноградусной трапеции для эллипсоида Красовского (большая полуось a = 6 378,245 км; сжатие = 1/298,3 по заданным значениям:

$$B_1 = 55, B_2 = 56, L_1 = 37, L_2 = 38,$$

где B_1 и B_2 – нижняя и верхняя широта трапеции;

L_1 и L_2 – левая и правая долгота трапеции.

Решение:

Вычислим малую полуось эллипсоида

$$b = a(1 -) = 6\,356{,}863 \text{ км и}$$

эксцентриситет эллипсоида

$$e = \sqrt{1-\frac{b^2}{a^2}} = \frac{\sqrt{a^2-b^2}}{a} = \frac{\sqrt{a^2-(a-\alpha a)^2}}{a} = \frac{\sqrt{2\alpha a^2-\alpha^2 a^2}}{a} = \sqrt{2\alpha-\alpha^2} = 0{,}081813340$$

Площадь трапеции найдём по формуле (12)

$$P = \frac{b^2}{2}(L_2 - L_1)\left|\frac{\sin B}{1 - e^2 \sin^2 B} + \frac{1}{2e} ln \frac{1 + e \sin B}{1 - e \sin B}\right|_{B_1}^{B_2} = 7\,035{,}911 \text{ км2}$$

А теперь определим площадь P двухградусной трапеции для общеземного эллипсоида государственной геоцентрической системы координат ПЗ-90.11 с большой полуосью a = 6 378 136 м и сжатием α = 1/298,25784 по заданным значениям:

$$B_1 = 54, B_2 = 56, L_1 = 36, L_2 = 38,$$

где B_1 и B_2 – нижняя и верхняя широта трапеции;

L_1 и L_2 – левая и правая долгота трапеции.

Решение:

Вычислим малую полуось эллипсоида

$$b = a(1 -) = 6\,356{,}754 \text{ км и}$$

эксцентриситет эллипсоида:

$$e = \sqrt{2\alpha - \alpha^2} = 0{,}081813334$$

Площадь трапеции найдём по формуле (12)

$$P = \frac{b^2}{2}(L_2 - L_1)\left|\frac{\sin B}{1 - e^2 \sin^2 B} + \frac{1}{2e} ln \frac{1 + e \sin B}{1 - e \sin B}\right|_{B_1}^{B_2} = 28\,494{,}679 \text{ км}^2$$

Заключение

В работе представлен математически обоснованный подход к вычислению площадей сфероидических трапеций. Полученные результаты позволяют значительно повысить точность и надёжность геодезических и картографических расчётов, что имеет особую актуальность в современных условиях применения высокоточных технологий и может быть успешно использовано для решения задач геодезии и картографии, в которых требуется высокая точность расчётов.

Список источников

1. ГОСТ 32453-2017 ГЛОНАСС. Методы преобразований координат определяемых точек. Принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации по результатам голосования (протокол от 30 августа 2017 г. № 102-П). Взамен ГОСТ 32453-2013. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 сентября 2017 г. № 1055-ст межгосударственный стандарт ГОСТ 32453-2017 введен в действие в качестве национального стандарта с 1 июля 2018 г.
2. *Морозов В. П.* Курс сфероидической геодезии. / Изд. 2, перераб. и доп., М., Недра, 1979, 296 с.
3. ГОСТ 22268-76 Геодезия. Термины и определения. Утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 21 декабря 1976 г. № 2791.
4. ГОСТ Р 52572-2006 Географические информационные системы. Координатная основа. Общие требования. Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 сентября 2006 г. № 215-ст.
5. Параметры Земли 1990 года (ПЗ-90.11). Специализированный справочник. ВТУ ГШ ВС РФ. 2-е издание - Москва. - 2020. - 52 с.
6. *Герасимов А. П.* Местные системы координат. // Геопрофи. - 2009. - № 4. - с. 32 - 34.
7. *Герасимов А. П., Назаров В. Г.* Местные системы координат. М.: ООО «Издательство «Проспект». - 2010. - 64 с.
8. Геодезия, картография, топография, фотограмметрия, геоинформационные системы, пространственные данные. Справочник стандартных (нормативных) терминов. / Под общ. ред. В. Г. Плешкова, Г. Г. Побединского / Изд. 2-е, перераб. и доп. - М.: ООО Издательство «Проспект», 2015. - 672 с.
9. ГОСТ Р 8.699-2010 Государственная система обеспечения единства измерений. Величины, единицы, шкалы измерений, используемые в глобальной навигационной спутниковой системе.
10. Государственные геодезические сети новой структуры как основа высокоэффективной системы геодезического, картографического и навигационного обеспечения /Г. В. Демьянов, В.И. Зубинский, В. Б. Непоклонов, Г. Г. Побединский // В кн. ГЛОНАСС и геодезия. - М.: ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД», 2016. -с. 29 - 38.

MATHEMATICALLY ACCURATE CALCULATION OF THE AREA OF A SPHEROIDAL TRAPEZOID

G.B. Voronov [1]
[1] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] voronov_g@mirea.ru

Abstract

Problem Statement. In the modern world, the issue of calculating the area of a section of the earth's surface when solving problems of mathematical cartography and spheroidal geodesy is very relevant. The work is devoted to the mathematically accurate calculation of the area of a spheroidal trapezoid bounded by meridians and parallels on the surface of the earth's ellipsoid. A formula is obtained that allows calculating the areas of such trapezoids using the parameters of a given ellipsoid. The methods for calculating the areas of spheroidal trapezoids used in practice are often based on numerical approaches that do not always meet the accuracy requirements. An analytical formula is needed to calculate the area of spheroidal trapezoids.

Objective. To develop and present an analytical expression that provides a mathematically accurate calculation of the area of a spheroidal trapezoid.

Results. Formulas are obtained that allow calculating the area of a spheroidal trapezoid using integral calculus, eccentricity parameters and ellipsoid oblateness. Specific examples of calculating the area of one-degree and two-degree trapezoids on different ellipsoids are given.

Practical significance. The developed formulas can be used in geodetic and cartographic calculations, increasing the accuracy and efficiency of calculating areas on the surface of the Earth and other celestial bodies.

Keywords

Spheroidal trapezoid, major semi-axis of ellipsoid, compression, eccentricity.

УДК 528.77

АНАЛИЗ ИСТОЧНИКОВ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В ИНТЕРЕСАХ ДЕШИФРИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ЗАСТРОЙКИ

С.Д. Гордеева[1], С.О. Ануфриев[2]
[1–2] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] s.d.gordeeva@gmail.com, [2] anufriev_s@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. В настоящее время существует множество как открытых, так и коммерческих аэрокосмических материалов, многие из которых можно использовать в обучении или исследовательских целях. В связи с этим требуется оценить, какие из свободно доступных снимков целесообразно использовать при дешифрировании объектов застройки, а также сравнить отечественные и зарубежные аэрокосмические снимки.

Цель. Проанализировать возможность и удобство работы с аэрокосмическими снимками из открытых и коммерческих источников в контексте дешифрирования объектов застройки, в частности, мегаполисов.

Результаты. Произведено дешифрирование снимков на муниципальный округ Хамовники г. Москва с использованием рассмотренных материалов аэрокосмической съёмки и сравнение получившихся результатов.

Практическая значимость. Полученные результаты позволяют оценить целесообразность использования снимков из открытых источников для дешифрирования объектов застройки.

Ключевые слова

Аэрокосмическая съёмка, дешифрирование, застройка, космический аппарат, снимок

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Современное развитие аэрокосмических технологий открывает новые горизонты для анализа объектов застройки, что имеет важное значение для градостроительства, экологии и безопасности. Снимки, полученные с помощью космических аппаратов, могут использоваться как в обучении, так и в государственных и частных проектах. Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью оценки удобства работы с аэрокосмическими данными как из открытых источников, так и коммерческих. Полученные результаты могут служить основой для принятия обоснованных решений в области планирования и управления городской инфраструктурой.

Цель работы – оценить эффективность работы с аэрокосмическими снимками из открытых зарубежных и отечественных источников при дешифрировании объектов застройки, в частности, мегаполисов.

Обзор источников аэрокосмической информации

Под аэрокосмической информацией подразумеваются данные о расположенных на поверхности Земли объектах и элементах гидросферы, включая рельеф дна Мирового океана, получаемые как космическими, так и воздушными средствами съёмки. Словослияния «аэрокосмическая» и «аэрокосмические» в данном контексте будут применяться к информации в целом и методам её получения, но не к понятию снимка (оптического, оптико-электронного, радиолокационного, теплового и пр.), поскольку, как ранее отметил выдающийся советский и российский учёный Сергей Валентинович Кнорозов, «…встречающееся в последнее время в отечественной технической и научной литературе словообразование “аэрокосмический фотоснимок”»… столь же сомнительно, как «дубососновая доска» [1].

В настоящее время наиболее используемыми при дешифрировании являются снимки с различных космических аппаратов (КА) Landsat. Преимуществами являются свободный доступ к данным (после регистрации), доступность снимков с различных миссий Landsat (первый КА Landsat был запущен в 1972 году [5]) и быстрая обработка новых снимков, что позволяет использовать наиболее актуальные снимки. Среди других открытых источников

аэрокосмической информации выделяется миссия Sentinel-2 европейской космической программы Copernicus. Снимки также находятся в открытом доступе (доступны к скачиванию после регистрации). Из отечественных аэрокосмических материалов чаще всего используют снимки с космического аппарата Ресурс-П.

Сравнение данных Landsat, Sentinel, Ресурс-П
Ресурс-П

По данным статьи «Возможности использования российских данных ДЗЗ из космоса в учебном процессе вуза» [2], материалы съемки КА «Ресурс-П» №1 представляют собой набор узких спектральных каналов видимой и ближней инфракрасной части спектра в высоком пространственном разрешении. Мультиспектральная съемка выполняется с разрешением 3 метра, панхроматическая – не хуже 1 метра. Синтез поканальных изображений в натуральной цветопередаче позволяет изучить прямые и косвенные дешифровочные признаки по предоставленным материалам.

Технические особенности КА «Ресурс-П» были взяты с сайта Научного центра оперативного мониторинга Земли (НЦОМЗ) [3]:

- сверхвысокое пространственное разрешение 0,7 - 1,0 м;
- возможность стереоскопической съемки;
- орбита – околокруговая солнечно-синхронная со средней высотой 475 км;
- разрешение на местности в надире в 5-ти узких спектральных диапазонах 3-4 м;
- ширина полосы захвата в надире 38 км;
- площадная съёмка 100х300 км;
- стереосъёмка с разных маршрутов шириной до 115 км;
- гиперспектральная съёмка с разрешением 25-30 м и полосой захвата 25 км;
- точность орбитальной привязки (по RPC) 15-20 м;
- срок активного существования 5 лет.

Таблица 1. Уровни обработки снимков с КА «Ресурс-П»

Уровень	**Описание**
1	**2**
1А	Панхроматический снимок с радиометрической и геометрической коррекцией, без трансформирования в картографическую проекцию, с коэффициентами RPC-полиномов
2А	Панхроматический снимок с радиометрической и геометрической коррекцией, трансформированный в картографическую проекцию по данным бортовой системы навигации на среднюю высоту с плановой точностью (СКО) не хуже 50 м, с коэффициентами RPC-полиномов
2В	Панхроматический снимок, ортотрансформированный в картографическую проекцию по опорным точкам местности (ОТМ) с ЦМР. СКО от 5 до 30 м, в зависимости от характера рельефа местности, точности ОТМ и ЦМР и условий выполнения съемки. Опорную информацию предоставляет заказчик.
3А	Мозаичное изображение из снимков уровня обработки 2А с плановой точностью (СКО) не хуже 50 м
3В	Мозаичное изображение из снимков уровня обработки 2В. СКО) от 5 до 30 м, в зависимости от характера рельефа местности, точности ОТМ и ЦМР, условий выполнения съемки. Опорную информацию предоставляет заказчик
4А	Комплексированное изображение панхроматического (уровня 2А) и мультиспектрального снимков одной и той же территории (Pansharpening) СКО не хуже 50 м
4В	СКО от 5 до 30 м, в зависимости от характера рельефа местности, точности ОТМ и ЦМР, условий выполнения съемки. Опорную информацию предоставляет заказчик

Landsat-8

По данным официального сайта миссии Landsat [8] космический аппарат Landsat-8 регулярно получает 725 снимков в день. Это увеличивает вероятность получения снимков без облаков для всей суши мира. Размер снимка Landsat-8 составляет 185x180 километров. Номинальная высота полета космического аппарата составляет 705 км. Для обработки данных Landsat-8 требуется картографическая точность не менее 12 м (включая компенсацию влияния рельефа местности). На рисунке 1 приведены спектральные каналы для всех космических аппаратов Landsat [8]. В таблице 2 приведено сравнение и характеристика всех получаемых в процессе съёмки каналов [7].

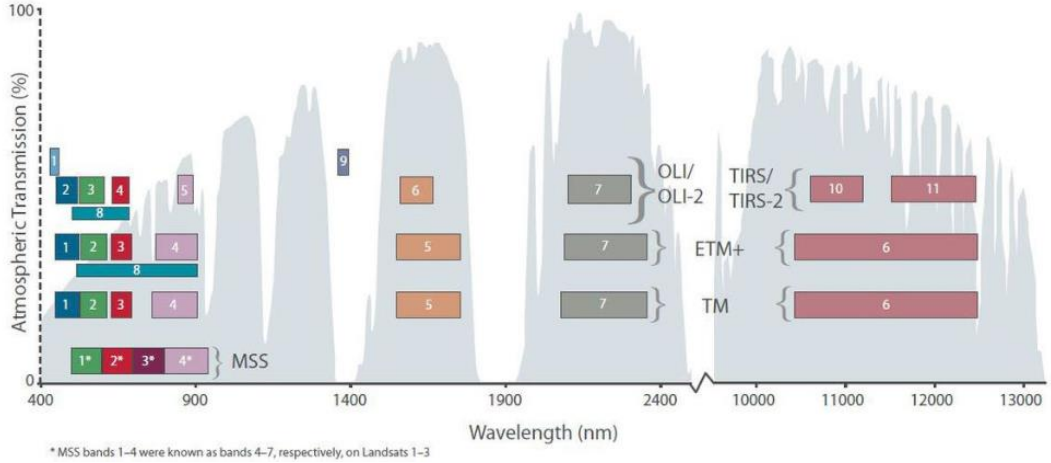


Рис. 1. Спектральные каналы снимков с КА Landsat
Fig.1. Spectral bands for Landsat satellite imagery

Таблица 2. Спектральные каналы Landsat-8 и Landsat-9

Каналы	Длина волны, мкм	Разрешение, м
1	**2**	**3**
Канал 1 – Побережья и аэрозоли	0.43-0.45	30
Канал 2 – Видимый голубой	0.45-0.51	30
Канал 3 – Видимый зелёный	0.53-0.59	30
Канал 4 – Видимый красный	0.64-0.67	30
Канал 5 – Ближний инфракрасный (NIR)	0.85-0.88	30
Канал 6 – Коротковолновый инфракрасный (SWIR) 1	1.57-1.65	30
Канал 7 – Коротковолновый инфракрасный (SWIR) 2	2.11-2.29	30
Канал 8 - Панхроматический	0.50-0.68	15
Канал 9 – Перистые облака	1.36-1.38	30
Канал 10 – Тепловой инфракрасный (TIRS) 1	10.6-11.19	100 (уменьшается до 30)
Канал 11 – Тепловой инфракрасный (TIRS) 2	11.50-12.51	100 (уменьшается до 30)

Технические особенности КА Landsat-8 были взяты с сайта Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства США [8]:

- Дата запуска: 11 февраля 2013 года;
- Сенсоры: OLI, TIRS;
- Наклонение орбиты: 98.2°
- Орбита: приполярная, солнечно-синхронная со средней высотой 705 километров;

Sentinel-2

По данным официального сайта программы Copernicus [9], миссия Sentinel-2 состоит из двух идентичных космических аппаратов, работающих совместно - Sentinel-2B (запущен в 2017

году) и Sentinel-2C (запущен в 2024 году), которые были запущены с помощью европейской ракеты-носителя VEGA. Каждый из этих КА весит примерно 1,2 тонны.

Поскольку десятилетний срок эксплуатации Sentinel-2A (запущенного в 2015 году) закончился в 2025 году, Sentinel-2C заменил Sentinel-2A 21 января 2025 года. Sentinel-2C был запущен 5 сентября 2024 года.

Срок службы КА Sentinel-2 составляет 7,25 лет, включая трехмесячный этап ввода в эксплуатацию на орбите. Два КА Sentinel-2 работают одновременно, развернутые под углом 180° друг к другу, на солнечно-синхронной орбите со средней высотой 786 км. Положение каждого КА Sentinel-2 на его орбите измеряется приемником двухчастотной глобальной навигационной спутниковой системы (GNSS). Точность определения орбиты поддерживается специальной двигательной установкой.

Технические особенности КА Sentinel-2 [9]:

• Сенсор: MSI (Multispectral Imager);

• Дата запуска: Sentinel-2A запущен 3 апреля 2015 (на момент написания статьи выведен из эксплуатации), Sentinel-2B запущен 7 марта 2017 года, Sentinel-2C запущен 5 сентября 2024 года;

• Орбита: приполярная, солнечно-синхронная со средней высотой 786 км;

• Наклонение орбиты: 98.62°.

В мультиспектральном приборе (MSI) используется концепция «метлы» (push-broom). Датчик «метлы» собирает ряды данных изображения по всей орбитальной полосе и использует поступательное движение космического аппарата по траектории орбиты для получения новых рядов данных. Средний период наблюдения за сушей и прибрежными районами составляет приблизительно 17 минут, а максимальный период наблюдения - 32 минуты [9].

Свет, отраженный прибором MSI от Земли и ее атмосферы, собирается телескопом с тремя зеркалами (M1, M2 и M3) и фокусируется с помощью светоделителя на двух узлах фокусной плоскости (FPA): один для десяти длин волн VNIR и один для трех длин волн SWIR [9].

Дешифрирование объектов застройки на примере снимков территории муниципального округа Хамовники г. Москва с использованием материалов Landsat-8, Sentinel-2, Ресурс-П

Для анализа были использованы снимки Landsat-8, Sentinel-2 и Ресурс-П за летний период 2020 года. Использованные снимки:

1. Landsat-8 – панхроматический канал снимка LC08_L1TP_178021_20200617_20200824_02_T1 от 17.06.2020 [11];
2. Sentinel-2 – видимый красный канал снимка S2B_MSIL1C_20200728T084559_N0500_R107_T37UDB_20230613T055516 от 28.07.2020 [13];
3. Ресурс-П – снимок 0041_0102_39099_1_09260_05_G_S_23 (лето 2020) [12].

Работы по дешифрированию объектов застройки выполнялись в свободной географической информационной системе QGIS [14] на примере крупного здания со сложной формой. На рисунке 2 приведено сравнение получившихся после дешифрирования результатов.

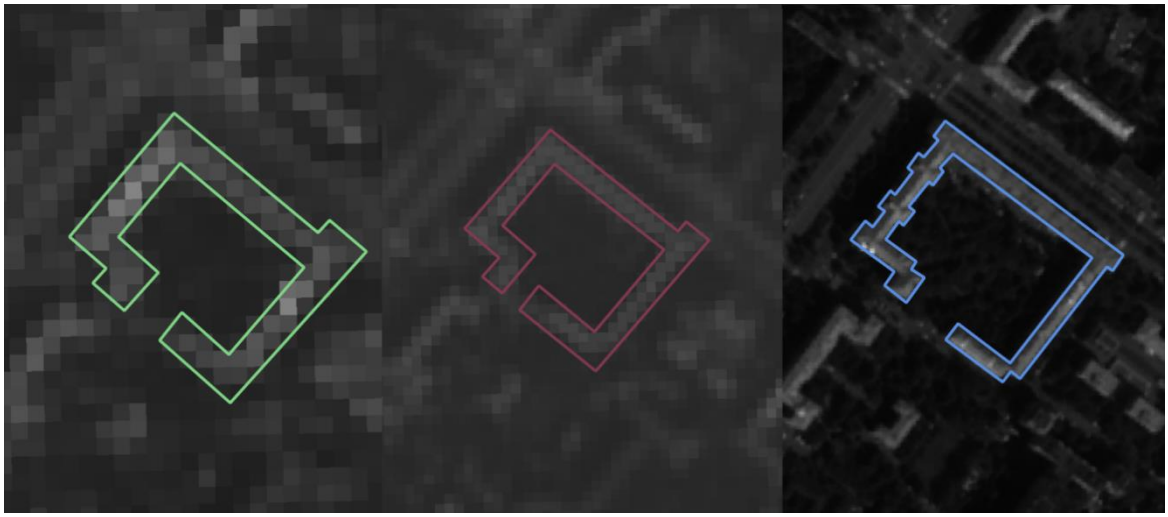


Рис. 2. Сравнение результатов дешифрирования (слева направо: Landsat-8, Sentinel-2, Ресурс-П)
Fig. 2. Comparison of decryption results (from left to right: Landsat-8, Sentinel-2, Resurs-P)

На рисунке 3 представлено наложение получившихся векторных слоёв на тайловый слой OpenStreetMap [10]. Как видно из рисунка 3, наилучшие результаты дешифрирования показали снимки с космического аппарата Ресурс-П.



Рис.3. Наложение результатов дешифрирования на тайловый слой OpenStreetMap (слева направо: Landsat-8, Sentinel-2, Ресурс-П)
Fig. 3. Decryption results overlay on the OpenStreetMap tile layer (from left to right: Landsat-8, Sentinel-2, Resurs-P)

Заключение

Дешифрирование объектов застройки по выбранным космическим снимкам показало, что наилучшие результаты получаются при использовании снимков с космического аппарата «Ресурс-П». За счёт сверхвысокого пространственного разрешения и высокой контрастности изображений получившиеся контуры объектов застройки наилучшим образом совпадают с контурами зданий с портала OpenStreetMap.

Однако, в случае недоступности снимков с КА «Ресурс-П» снимки из открытых источников (в частности, снимки с КА Sentinel-2) при использовании панхроматического слияния панхроматического и мультиспектральных каналов (паншарпенинга) могут давать приемлемые результаты, например, в образовательных или исследовательских целях.

Список источников

1. *Ануфриев С.О.* Обработка аэрокосмической информации с использованием геоинформационных технологий : учебное пособие для вузов / С.О. Ануфриев, О.С. Ануфриев. – Санкт-Петербург : Лань. – 2025. – 172 с. – ISBN 978-5-507-52410-5 https://e.lanbook.com/book/465332
2. *Подольская Е.С. и др.* Возможности использования российских данных ДЗЗ в учебном процессе вуза / Дистанционное зондирование Земли из космоса в России. – 2022. – №2. – с. 72-75.
3. Космические аппараты типа «Ресурс-П» [Электронный ресурс] // сайт Научного оперативного мониторинга Земли. – URL: https://ntsomz.ru/resurs-p/ (дата обращения: 18.04.2025).

4. Landsat 8-9 Collection 2 Level 2 Science Product Guide [Электронный ресурс] // US Geological Survey: офиц. сайт. – URL: https://www.usgs.gov/media/files/landsat-8-9-collection-2-level-2-science-product-guide (дата обращения: 18.04.2025)
5. Landsat 8 Data Users Handbook [Электронный ресурс] // US Geological Survey: офиц. сайт. – URL: https://www.usgs.gov/media/files/landsat-8-data-users-handbook (дата обращения: 18.04.2025)
6. Landsat Collection 2 Generation Timeline [Электронный ресурс] // US Geological Survey: офиц. сайт. – URL: https://www.usgs.gov/media/images/landsat-collection-2-generation-timeline (дата обращения: 18.04.2025)
7. What are the band designations for the Landsat satellites [Электронный ресурс] // US Geological Survey: офиц. сайт. – URL: https://www.usgs.gov/faqs/what-are-band-designations-landsat-satellites (дата обращения: 18.04.2025)
8. Landsat Science [Электронный ресурс] // NASA: офиц. сайт. – URL: https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-8/ (дата обращения: 18.04.2025)
9. SentiWiki [Электронный ресурс] // Космическая программа Copernicus: офиц. сайт. – URL: https://sentiwiki.copernicus.eu/web/s1-mission (дата обращения: 18.04.2025)
10. Некоммерческий веб-картографический проект по созданию подробной свободной и бесплатной географической карты мира // OpenStreetMap — URL: https://www.openstreetmap.org (дата обращения: 18.04.2025)
11. USGS Earth Explorer data portal [Электронный ресурс] // U.S. Department of the Interior — URL: https://earthexplorer.usgs.gov/ (дата обращения: 18.04.2025)
12. РКС – Российские Космические Системы [Электронный ресурс] // РКС – офиц. сайт. – URL: https://ntsomz.ru/ (дата обращения: 18.04.2025)
13. GEODES - Portail du CNES sur l'Observation de la Terre // CNES – офиц. сайт. – URL: https://geodes.cnes.fr/ (дата обращения: 18.04.2025)
14. Свободная географическая информационная система с открытым кодом QGIS: офиц. сайт. – URL: https://qgis.org/ru/site/

SATELLITE IMAGERY SOURCES ANALYSIS IN THE BUILDING SITES DECRYPTION USE

S.D. Gordeeva [1], **S.O. Anufriev** [2]
[1–2] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] s.d.gordeeva@gmail.com, [2] anufriev_s@mirea.ru

Abstract

The article deals with the actual problem of satellite imagery use in building sites decryption. Nowadays there are many satellite imagery sources, both free and commercial. Some of them can be used in building sites decryption, however not many provide decent spatial resolution in terms of megalopolises study. Thus, the aim of the study is to compare different available satellite images in urban objects decryption. For this study, the images for the Khamovniki municipal district of Moscow were decrypted using the considered satellite imagery and the results were compared. The results of the study make it possible to assess the feasibility of using satellite images from open sources to decrypt building sites, which is important for education and urban planning purposes.

Keywords

Satellite imagery, building, decryption, spacecraft, aerospace photography

УДК 537.591

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАЩИТНОЙ ЭКРАНИРУЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ СРЕДСТВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ПРИ ИХ ПРИМЕНЕНИИ В УСЛОВИЯХ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

А.А. Двилянский[1]
[1] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] dvilyanskiy@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Необходимость разработки способов построения экранирующих конструкций (ЭК) средств вычислительной техники (СВТ) на основе известных моделей и методов, применяемых в теории электромагнитного экранирования в целях дальнейшей оценке эффективности их применимости в условиях ионизирующего излучения космического пространства.

Цель. Провести имитационное моделирование ЭК для дополнения теории электромагнитного экранирования и обеспечения связи между теоретической формой знания и практикой их конструктивно-технологического проектирования (КТП) и последующего их практического применения.

Результаты. Имитационное моделирование позволило произвести оценку качества ЭК по показателям эффективности при возможном сохранении независимого, относительно известных моделей и методов, теоретического конструкта

Практическая значимость. Учитывая специфику и цель решаемой проблемы, соответствующую этапам разработки и КТП ЭК и имеющегося теоретического базиса исследования данных конструкций, элементы теории и методологии синтеза рассматриваются и раскрываются в рамках как уже применяемых теоретических методов, так и методов, их дополняющих.

Ключевые слова

Электромагнитное экранирование, имитационное моделирование, качество экранирования

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Электромагнитное экранирование (ЭМЭ) представляет собой сложный электродинамический процесс, связанный с распространением электромагнитных полей источника ЭМИ в средах с различными ЭФС и зависящий от относительных диэлектрической ε и магнитной проницаемости μ, удельной электрической проводимости σ анализируемых сред и конструктивных особенностей экрана, т. е. количества слоёв, геометрических размеров и формы экранирующей конструкции, а также от расположения и компоновки технологических неоднородностей экрана и их взаимодействия друг с другом.

Цель работы – провести имитационное моделирование ЭК для дополнения теории электромагнитного экранирования и обеспечения связи между теоретической формой знания и практикой их конструктивно-технологического проектирования (КТП) и последующего их практического применения.

Аналитическое решение задач экранирования ЭМП производится для экранов канонических форм (цилиндрической, сферической или эллипсоидальной), поэтому при расчетах защитных свойств геометрические формы экрана следует приводить к каноническому виду.

Для качественной оценки защитной способности электромагнитного экрана используют коэффициент экранирования, под которым понимается отношение максимальной напряженности электрического и магнитного полей ЭМИ в заданной точке пространства при отсутствии экрана к напряженности электрического и магнитного полей в той же точке при его наличии.

Защитная (экранирующая) способность выражается в дБ [1,2,3,4]:

$$\eta_E[\text{дБ}] = 20lg\frac{\text{E}_1}{E_3}; \quad (1)$$

$$\eta_H[\text{дБ}] = 20lg\frac{\text{H}_1}{H_3}, \quad (2)$$

где E_1, H_1 – напряженности электрического и магнитного полей воздействующего ЭМИ; E_3, H_3 – электрическая и магнитная напряжённость поля ЭМИ, проникающего внутрь экранирующей конструкции. Далее, величины, будем обозначать, как E^{in} и H^{in}. При анализе необходимо достичь максимума коэффициента экранирования с целью снижения величины проникающего внутрь экранирующего объема электрической и магнитной напряженности, что приведёт к снижению энергии поражения, воздействующей на конструктивные элементы СВТ.

Имитационное *3D*-компьютерное моделирование эксперимента по оценке воздействия ионизирующих излучений на СВТ и анализ распределения полей данного излучения во внутреннем объеме экранирующей конструкции при данном воздействии проводилось в программной системе конечно-элементного анализа (ПСКЭА) *COMSOL MOltIphysIcs4.4* (*COMSOLv. 4.4*) [5,6,7,8,9,10,14,16,17,18]. На рисунке 1 представлена смоделированная в среде *COMSOLv. 4.4* многослойная экранирующая конструкция (МСЭК) с внешним ЭМП в виде идеально-поглощающей области с использованием конечно-элементного анализа. Рисунок 2 представляет распределение составляющих ЭМП ЭМИ во внешнем пространстве и внутри экранирующей конструкции при однослойном экранировании.

Как видно из рисунка, уровень проникающих в экранирующий объем составляющих ЭМП ЭМИ максимален. Распределение составляющих ЭМП ЭМИ во внешнем пространстве и внутреннем объеме многослойной экранирующей конструкции СВТ в условиях ионизирующего излучения космического пространства в координатах *x-y-z* и электрической напряженности в координатах *x-y* представлен на рисунках 2 и 3, соответственно с учетом конструктивных особенностей при следующих исходных данных:

– частота электромагнитных излучений *f* от 0,8 ГГц до 10 ГГц;

– постоянная нарастания электромагнитного излучения $\alpha=4\cdot10^6$ с$^{-1}$ и постоянная спада электромагнитного излучения $\beta=5\cdot10^8$ с$^{-1}$;

– аппроксимирующий множитель $A_\text{М}$=1,707;

– геометрические размеры:

– *h*=0,35 м.;

– *L*=0,4 м., *d*=0,2 м.;

– $\delta_{\text{экр}}$=0,006 м – толщина металлического слоя экрана;

– $\delta_{1,3}$=0,0048 м толщина РППКМ;

– *q*=0,006 м – диаметр описанной окружности около правильного шестиугольника;

– количество волноводов *N*=675;

– значение магнитная постоянной $\mu_0=4\pi\cdot10^{-7}$ Гн/м и электрической постоянной ε_0=8, 8542·10^{-12} Ф/м.

Электрофизические свойства (ЭФС) трехкомпонентного гибридного радиопоглощающего полимерного композита *NEOGEL 8323*, используемый для нанесения на разрабатываемую конструкцию, представлены в Таблице 1 [7].

Применение ЗПВ в форме полых призм с сечением в форме правильных шестиугольников в качестве технологических неоднородностей, расположенных в шахматном порядке и параллельно друг другу, когда запредельные волноводы каждого слоя являются продолжением запредельных волноводов предыдущего слоя [8,9,14,15, 16,20,21,22].

Таблица 1. Электрофизические свойства трехкомпонентного гибридного радиопоглощающего полимерного композита NEOGEL 8323

Наименование композиционного материала	Толщина покрытия, мм	Частотный диапазон, ГГц	Диэлектрическая проницаемость ε / магнитная проницаемость μ	Удельное сопротивление σ, Ом·см
NEOGEL 8373	0,4689	0,1–10	2,8/4	10^{11}

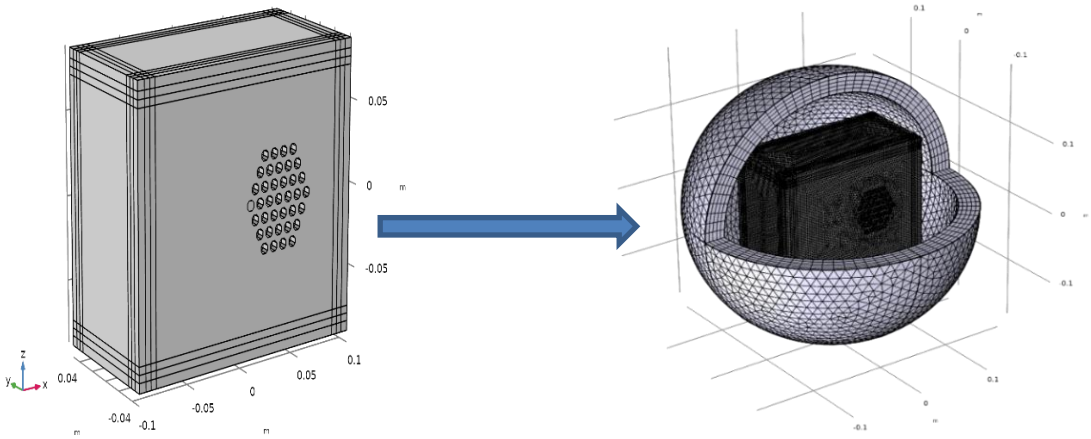


Рис. 1. *3D*- моделирование многослойной экранирующей конструкции в ПСКЭА *COMSOLv. 4.4* с представлением внешнего ЭМП в виде идеально-поглощающей области

Fig. 1. 3D modeling of a multilayer shielding structure in the COMSOL v4.4 with the representation of the external EMF in the form of an ideally absorbing area

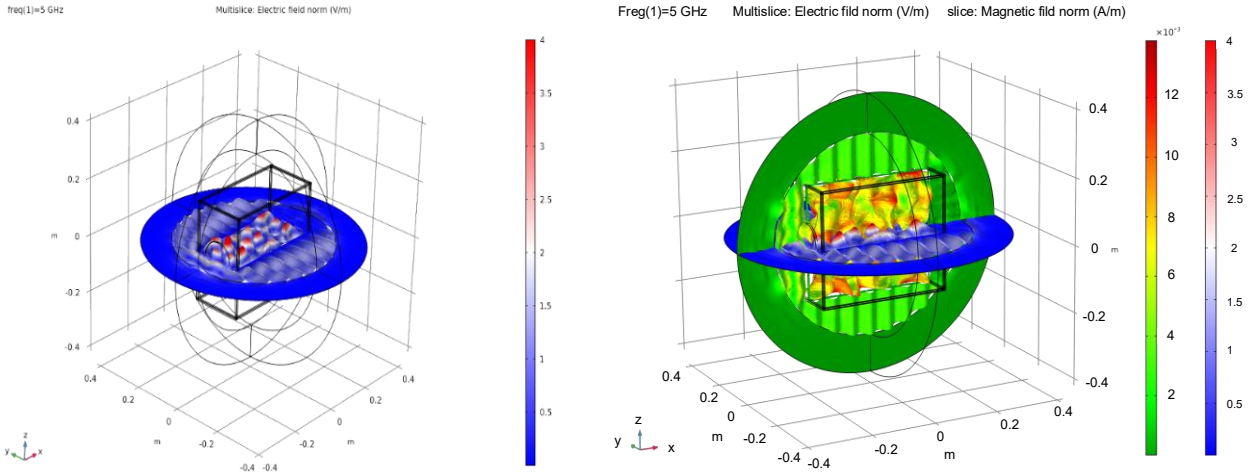


Рис. 2. Распределение составляющих ЭМП ЭМИ во внешнем пространстве и внутри экранирующей конструкции при однослойном экранировании

Fig. 2. Distribution of EMF EMF components in the external space and inside the shielding structure during single-layer shielding

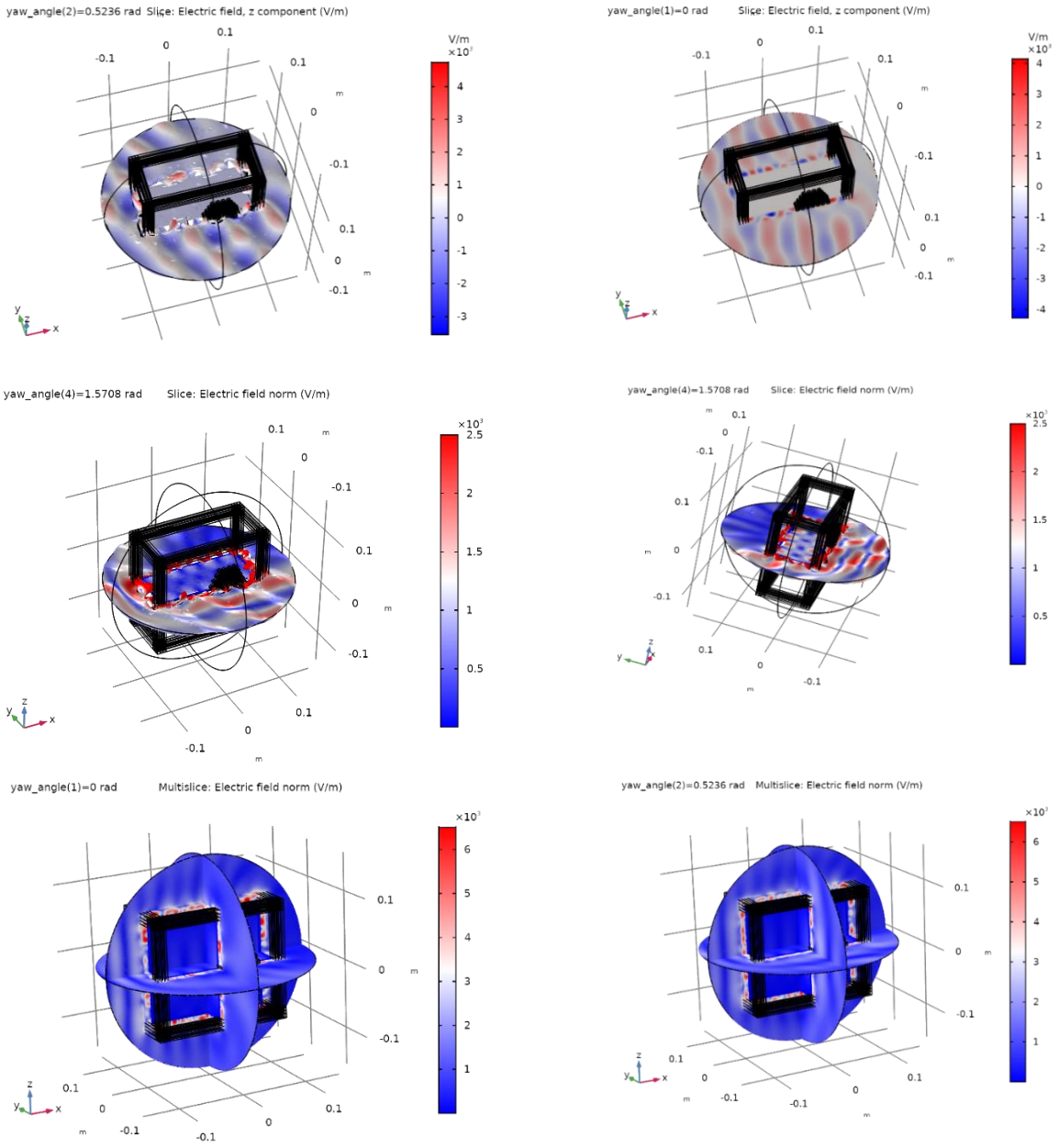


Рис. 3. Распределение электрической и магнитной напряженности ЭМП ЭМИ во внешнем пространстве и внутреннем объеме МСЭК СВТ при воздействии мощными ЭМИ с частотой 5 ГГц в координатах *x-y-z*

Fig. 3. Distribution of electrical voltage EMF in the external space and internal volume of a multilayer shielding structure of computer equipment when exposed to powerful EMF with a frequency of 5 GHz in x-y-z coordinates

Анализ рисунков показывает, что уровень составляющих ЭМП ЭМИ, проникающих в экранирующий объем СВТ, находящегося в условиях ионизирующего излучения, минимален и не приводит к функциональным отказам элементов СВТ. На рисунке 5 представлен график распределения электрической напряженности ЭМП ЭМИ во внешнем пространстве и внутри смоделированной многослойной экранирующей конструкции (МСЭК) с учетом геометрических размеров экрана, принятых при моделировании (при ограничении расчетной области) ЭФС слоев экрана и характеристик воздействующего ЭМИ.

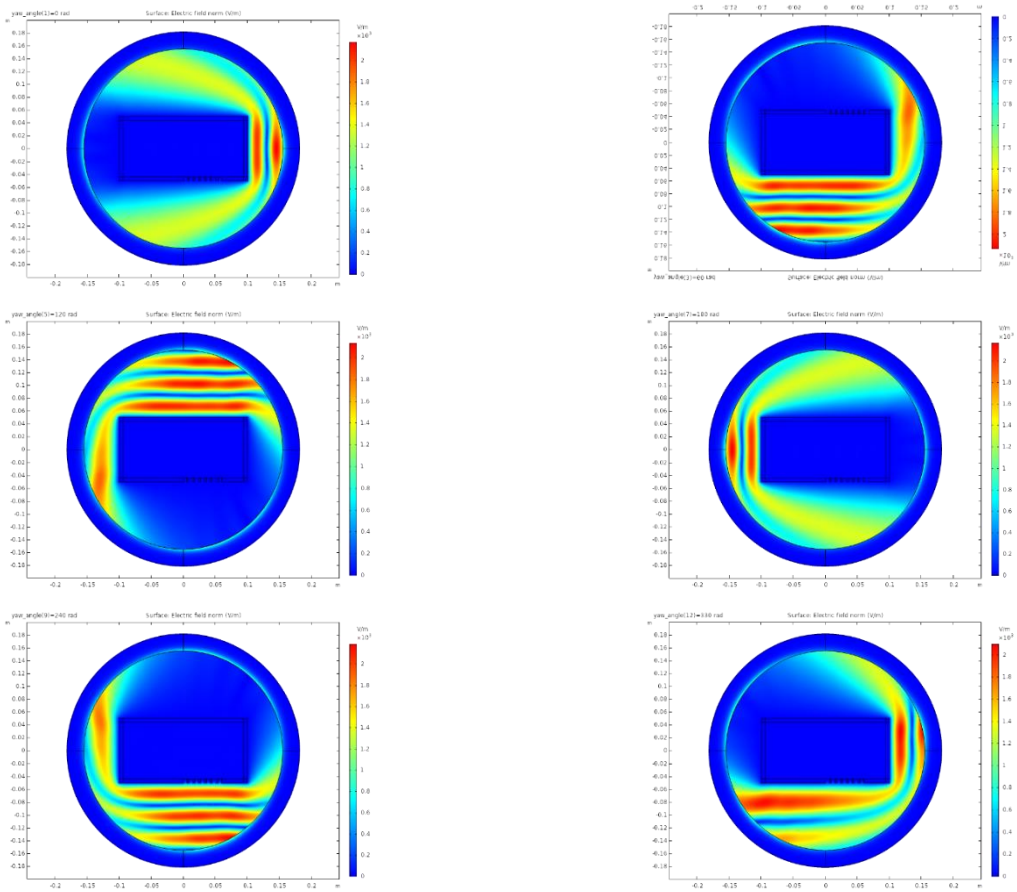


Рис. 4. Распределение электрической напряженности
ЭМП ЭМИ во внешнем пространстве и внутреннем объеме МСЭК СВТ
при воздействии мощными ЭМИ с частотой 5 ГГц в координатах *x-y*
Fig. 4. Distribution of electrical voltage
EMF in the external space and internal volume of a multilayer shielding structure of computer equipment
when exposed to powerful EMF with a frequency of 5 GHz in x-y coordinates

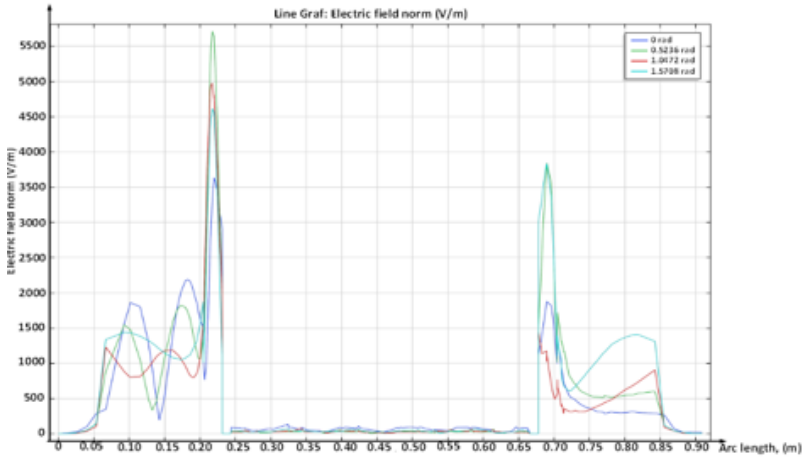


Рис. 5. График распределения электрической напряженности ЭМП ЭМИ во внешнем пространстве и внутри смоделированной многослойной экранирующей конструкции с учетом геометрических размеров экрана, принятых при моделировании (при ограничении расчетной области) ЭФС слоев экрана и характеристик воздействующего ЭМИ
Fig. 5. Graph of the distribution of the EMF EMF electric voltage in the external space and inside the modeled multilayer shielding structure, taking into account the geometric dimensions of the screen, the electrophysical properties of the screen layers and the characteristics of the impacting EMF assumed during modeling (while limiting the computational domain)

Перспективы развития

Разработанная модель МСЭК опирается на наиболее перспективные подходы, производные от которых подразумевают применение аппроксимирующих функций в безразмерных (Гильбертовых) пространствах, что в перспективе позволит получить частотно-селективную структуру, обладающую тензорными свойствами относительно распределения электромагнитных полей. Данный подход базируется на учете потенциала ЭМП, рассматривающий минимизацию функционала вариационной задачи (с учетом метода собственных импедансов) на совокупности функций, каждая из которых определена на своей подобласти с приложением тензорного метода и установлением общих закономерностей исследования сложных систем путем их разделения на дискретные компоненты, что позволит в перспективе создать универсальную среды моделирования, объединяющую теоретико-множественную (дифференциальных уравнений, теории функций и т. д.) и комбинаторную топологию (тензорного метода) в единый инженерный метод анализа и расчета сложных систем с целью достижения необходимого уровня живучести СВТ, находящихся в условиях ионизирующего излучения космического пространства.

Заключение

Целью работы было проведение имитационного моделирования ЭК СВТ в условиях ионизирующего излучения космического пространства для дополнения теории электромагнитного экранирования и обеспечения связи между теоретической формой знания и практикой их конструктивно-технологического проектирования и последующего их практического применения.

Решение такой задачи с учётом большого объема матриц, которые получаются при дискретизации конечных элементов и большого объема оперативной памяти ЭВМ (нескольких гигабайт), необходимого для решения таких трехмерных задач, возможно с помощью систем автоматизированного проектирования (САПР), представляющих собой программные системы конечно-элементного анализа (*3D* – компьютерное имитационное моделирование) являются *COMSOLv. 4.4.*

Список литературы

1. *Полонский, Н. Б.* Конструирование электромагнитных экранов для радиоэлектронной аппаратуры / Н. Б. Полонский.– Москва : Советское радио, 1979. – 216 с.
2. *Шапиро, Д. Н.* Основы теории электромагнитного экранирования / Д. Н. Шапиро.– Ленинград : Энергия, 1974.– 112 с.
3. *Аполлонский, С. М.* Расчёт электромагнитных экранирующих оболочек / С. М. Аполлонский.– Ленинград : Энергоиздат, 1983. –156 с.
4. *Рогинский, В. Ю.* Экранирование в радиоустройствах / В.Ю. Рогинский / В. Ю. Рогинский.–Ленинград : Энергия, 1970. – 112 с.
5. *Двилянский, А.А.* Выбор и обоснование математического аппарата для моделирования электромагнитных экранов, обеспечивающих защиту от ЭМИ и наводок / А. А. Двилянский, И. В. Иванов // «Вопросы радиоэлектроники», Серия «Системы и средства отображения и информации и управления специальной техникой. Электронная вычислительная техника», ОАО «Центральный научно-исследовательский институт «Электроника», г. Москва. № 1, серия РЛТ, 2013, январь, вып. 1, С. 139-154
6. *Двилянский, А.А.* Обоснование подхода к постановке задачи на разработку математического метода моделирования параметров экранирующей конструкции, обеспечивающей функциональную устойчивость компонентов объектов критической информационной инфраструктуры при воздействии электромагнитных импульсов / А. А. Двилянский, Ю.В. Моисеев // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении: Брянский государственный технический университет. – № 1 (07), 2020. – С. 17–25
7. *Charles Tak, MIng ChoI, B.S.* Adapt*I*ve F*I*n*I*te Element Analys*I*s of Unbounded Electromagnet*I*c Wave Problems. A thes*I*s subm*I*tted to the Faculty of Graduate Stud*I*es and Research *I*n part*I*al fulf*I*llment of the requ*I*rements for the degree of Doctor of Ph*I*losophy Computat*I*onal Analys*I*s and Des*I*gn Laboratory Department of Electr*I*cal Eng*I*neer*I*ng, McG*I*ll Un*I*vers*I*ty Montreal, Quebec, Canada. October, 1993. – 157 s.
8. *Двилянский, А.А.* Модель поверхности, экранирующей воздействие электромагнитного импульса на средства инфокоммуникации / А. А. Двилянский, В. М. Куприенко, И. В. Иванов // Информационные системы и технологии. – Орел: ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс». Номер: 4-2, 2004. – С. 263-273.

9. *Струтинский, М. Н.* Компьютерные технологии в электродинамических задачах / М. Н. Струтинский// Термоэлектричество № 4, 2009 *I*SSN 1726-7693.
10. *Струтинский, М. Н.* Компьютерные технологии в электродинамических задачах / М. Н. Струтинский// Термоэлектричество № 4, 2009 *I*SSN 1726-7693.
11. *Drexler, P., Fiala P*. Methods for High Power EM Pulse Measurement. Dept. of Theoretical and Exper*i*mental Electr*i*cal Engi*n*eering, Brno Uni*v*ersi*t*y Of Technology, Kolejní 2906/4, 612 00 Brno, Czech Repu*bl**I*c.
12. *Drexler, P., Fiala P*. Methods for High Power EM Pulse Measurement. Dept. of Theoretical and Exper*i*mental Electr*i*cal Engi*n*eering, Brno Uni*v*ersi*t*y Of Technology, Kolejní 2906/4, 612 00 Brno, Czech Repu*bl**I*c.
13. *Двилянский, А. А.* Модель структуры экрана для повышения защищенности средств электронно-вычислительной техники в условиях воздействия электромагнитным импульсом / А. А. Двилянский, В. А. Иванов, И. С. Константинов, В. М. Куприенко, М. А. Сонькин // Вестник компьютерных и информационных технологий. Выпуск № 1. – Москва : Машиностроение, 2008. – С. 41–51.
14. *Banks, H.T., Gabriella, A. Pinter*. High Frequency Pulse Propagation in Nonlinear Dielectric Materials. Center for Research in Scientific Computation North Carolina State University Raleigh. Department Of Mathematical Sciences University Of Wisconsin, Milwaukee, 2003
15. *Кириленко, А.А.* Резонансные свойства перфорированного экрана с двумя запредельными круглыми отверстиями различного диаметра в периодической ячейке / А. А. Кириленко, А. О. Перов, С. Л. Сенкевич // Радиофизика и радиоастрономия. Т.13. – №1, 2009, – С. 45-57
16. [Электронный ресурс] URL: https://www.comsol.ru/ Особенности постобработки и визуализации в COMSOLMult*I*phys*I*cs. Руководство COMSOL
17. [Электронный ресурс] URL: https://prIst.ru/produces/pdf/gsp-7830.pdf. Дата обращения 23.03.2017 г.
18. [Электронный ресурс] URL: https://www.priborelektro.ru/product/price/antenny-izmeritelnye-2/5364.html. Дата обращения 23.03.2017 г.
19. Устройство защиты средств электронно-вычислительной техники от электромагнитных излучений // Патент на изобретение RU № 2541225 C2 Рос.Федерация; МПК *H01Q 17/00* (2006.1), *H05K 9/00* (2006.1) заявитель и патентообладатель Академия ФСО России – № 2013129163; заявл. 24.06.2013 г.; Дата начала отсчета срока действия патента: 24.06.2013 г. опубл. 10.02.2015 . Бюл. № 3. – 10 с.
20. *Двилянский, А.А.* Моделирование экранирующих конструкций для обеспечения функциональной устойчивости объектов критической информационной инфраструктуры для деструктивных электромагнитных воздействий / М.Ю. Рытов, В.А. Иванов, В.А.Шкаберин // Промышленные АСУ и контроллеры : Научтехлитиздат. – № 1, 2023. – С. 14–23.
21. Устройство защиты от электромагнитного импульса // Патент на полезную модель № 100338 Рос.Федерация; заявитель и патентообладатель Академия ФСО России – № 20101128775; заявл. 13.04.2010; опубл. 20.09.2010 Бюл. № 13. – 12 с.
22. Устройство защиты средств электронно-вычислительной техники объектов информатизации от побочного электромагнитного излучения // Патент на изобретение № 2445736 Рос.Федерация; заявитель и патентообладатель Академия ФСО России – № 20101128774; заявл. 13.04.2010; опубл. 20.03.2012 Бюл. № 8. – 21 с.

SIMULATION MODELING OF PROTECTIVE SHIELDING DESIGN OF MEANS OF COMPUTING EQUIPMENT AT THEIR APPLICATION IN CONDITIONS OF IONIZING OUTER SPACE RADIATION

A.A. Dvilyansky[1]
[1]MIREA - Russian Technological University (Moscow, Russia)
[1]dvilyanskiy@mirea.ru

Abstract

Necessity to develop methods of construction of shielding structures (SS) of computer equipment (CTE) on the basis of known models and methods used in the theory of electromagnetic shielding in order to further assess the effectiveness of their applicability in the conditions of ionizing radiation of outer space.

Objective. To carry out the simulation modeling of the EC to supplement the theory of electromagnetic shielding and to provide the connection between the theoretical form of knowledge and the practice of their constructive-technological design (CTP) and their subsequent practical application.

Results. The simulation modeling allowed to estimate the quality of EC by efficiency indices at possible preservation of independent, relative to known models and methods, theoretical design

Practical significance. Taking into account the specificity and purpose of the problem being solved, corresponding to the stages of development and CTP of ECs and the available theoretical basis for the study of these designs, the elements of the theory and methodology of synthesis are considered and disclosed within the framework of both already applied theoretical and theoretical methods and methods that complement them.

Keywords

Electromagnetic shielding, simulation modeling, shielding quality

УДК 332.72

ВЕБ-КАЛЬКУЛЯТОР ДЛЯ РАСЧЁТА РЫНОЧНОЙ СТОИМОСТИ ЗЕМЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ ИЖС В МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ: ПОДХОДЫ И РЕАЛИЗАЦИЯ

А.А. Двилянский[1], **А.Д. Захаренко**[2], **М.М. Коленкина**[3]
[1–3] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] dvilyanskiy@mirea.ru, [2] zakharenko.a.d@edu.mirea.ru, [3]kolenkina@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. В современных условиях рынок земельных участков для индивидуального жилищного строительства (ИЖС) остаётся слабо структурированным, что затрудняет предварительную оценку их рыночной стоимости. Существующие онлайн-сервисы ограничены в функциональности, не учитывают важные параметры участков и редко предоставляют наглядную визуализацию, что снижает их прикладную ценность для частных пользователей.

Цель. Разработать веб-калькулятор для ориентировочной оценки стоимости земельных участков ИЖС в Московской области, основанный на открытых данных и учитывающий ключевые характеристики участка, такие как район, удалённость от МКАД, наличие инфраструктуры и рельеф.

Результаты. Создан одностраничный веб-сервис с интегрированной интерактивной картой и формой ввода параметров, реализована упрощённая модель расчёта стоимости с применением корректирующих коэффициентов, проведена демонстрация работы калькулятора на примерах.

Практическая значимость. Разработанный инструмент может быть использован частными лицами и специалистами на ранних этапах принятия решений о покупке или продаже участков, а также в образовательных и демонстрационных целях при обучении основам оценки недвижимости.

Ключевые слова

Оценка стоимости, земельные участки, ИЖС, веб-калькулятор.

Cost assessment, land plots, individual housing construction, web calculator.

Введение

Рынок земельных участков для индивидуального жилищного строительства (ИЖС) в Московской области отличается высокой вариативностью и ограниченной прозрачностью. Для частных лиц и застройщиков зачастую недоступны удобные инструменты, позволяющие быстро получить ориентировочную оценку стоимости участка.

Цель работы – разработка веб-калькулятора, который предоставляет пользователю возможность рассчитать приближённую рыночную стоимость земли под ИЖС на основе открытых данных и эмпирических параметров.

Предлагаемый инструмент не заменяет профессиональную оценку, но может служить вспомогательным средством на этапе предварительного анализа. В статье рассматриваются архитектура системы, используемые данные и возможные сценарии применения веб-калькулятора.

Обзор существующих решений

В последние годы на российском рынке появилось несколько цифровых инструментов, позволяющих оценивать рыночную стоимость объектов недвижимости, включая земельные участки. Однако большинство из них ориентировано преимущественно на жилую недвижимость или ограничено в функциональности, когда речь идёт о земле под индивидуальное жилищное строительство (ИЖС). В данном разделе рассматриваются наиболее заметные решения и проводится их краткий анализ с точки зрения применимости к задаче, решаемой в настоящей работе.

1. DomClick от Сбербанка

Онлайн-сервис DomClick [1] предоставляет пользователям возможность получить оценку рыночной стоимости объектов недвижимости по заданному адресу или кадастровому номеру. Оценка строится на данных Сбербанка и партнёрских агентств. Несмотря на высокую степень автоматизации и простоту использования, сервис в большей степени ориентирован на

квартиры и дома, нежели на земельные участки. Также отсутствует гибкая настройка параметров участка, таких как рельеф, форма или удалённость от инженерной инфраструктуры.

2. Онлайн-калькулятор «Оценка-Участок»

Сервис «Оценка-Участок» [2] предлагает более специализированную оценку стоимости земельных участков с различными категориями и видами разрешённого использования. Пользователь может ввести площадь, район, наличие коммуникаций и строений. Однако алгоритм оценки закрыт, а источник рыночных данных не указан, что затрудняет верификацию результатов. Кроме того, визуализация участка на карте и работа с пространственными данными в интерфейсе отсутствуют.

3. Коммерческие оценочные компании

Многие профессиональные компании, такие как Центр оценки «Аналитика» [3] и ООО «Велес-Траст» [4], публикуют методики и отчёты по оценке недвижимости, включая землю. Эти документы содержат подробные описания затратного, сравнительного и других подходов, но не представляют собой цифровых сервисов. Таким образом, ими сложно воспользоваться в режиме онлайн или для предварительных расчётов. Они ориентированы на заказные экспертные заключения, зачастую требующие личного обращения и оплаты.

4. Публичная кадастровая карта

Портал Росреестра [5] предоставляет доступ к официальной кадастровой информации, включая кадастровую стоимость и границы участков. Однако сервис не предоставляет оценку рыночной стоимости, а также не учитывает рыночные факторы, такие как спрос, транспортная доступность или инфраструктура.

5. Общие выводы

Анализ показал, что существующие решения:

- либо ориентированы на другие типы недвижимости (жилую или коммерческую),
- либо предоставляют оценки без детализации по важным параметрам участка,
- либо не обладают визуальным представлением данных и картографическим интерфейсом.

На этом фоне актуальной представляется разработка инструмента, сочетающего простоту использования, визуализацию участков на карте и гибкую настройку параметров, влияющих на стоимость. Такое решение может занять нишу между профессиональной оценкой и массовыми онлайн-сервисами, предоставляя ориентировочные оценки для предварительного анализа.

Методология оценки стоимости

Оценка рыночной стоимости земельных участков может осуществляться с использованием различных методических подходов, принятых в профессиональной практике. В рамках данной работы в веб-калькуляторе применён упрощённый эмпирический метод, основанный на элементах сравнительного и затратного подходов, с учётом доступных пользователю характеристик земельного участка.

1 Основные подходы к оценке

В оценочной деятельности традиционно применяются три базовых подхода: сравнительный, затратный и доходный. Каждый из них используется в зависимости от типа объекта, цели оценки и доступности рыночной информации [6]:

- Сравнительный подход основан на анализе цен продажи аналогичных участков. Он применим, если на рынке представлено достаточное количество достоверных и сопоставимых предложений [6].
- Затратный подход исходит из принципа воспроизводства, при котором стоимость объекта рассчитывается как сумма затрат на создание аналогичного имущества, за вычетом накопленного износа [6].

- Доходный подход, как правило, применяется при оценке объектов, приносящих регулярный доход, например, арендных земельных активов [6].

Для целей данной разработки был выбран сравнительный подход, как наиболее наглядный и понятный конечному пользователю, при этом без опоры на реальные сделки, что обусловлено отсутствием структурированной открытой базы рыночных цен.

2 Особенности оценки в условиях ограниченной информации

Оценка участков ИЖС в Московской области часто сталкивается с недостатком рыночных данных – например, когда сделки проходят без отражения полной информации в открытых источниках. В таких условиях целесообразно использовать оценку по совокупности характеристик объекта, включая:

- территориальную принадлежность;
- расстояние до крупного города или МКАД;
- наличие инфраструктуры;
- кадастровую стоимость;
- параметры участка (форма, площадь, рельеф).

Как отмечено в работе Третьяковой Г.Б., при дефиците рыночной информации необходимо опираться на дополнительные признаки – включая инженерную обеспеченность, транспортную доступность и тип разрешённого использования [7].

3 Учет комплексных объектов

В ряде случаев при расчёте стоимости можно использовать информацию о комплексных объектах недвижимости – участках, проданных с домами или другими постройками. Метод Лейфера Л.А. позволяет извлекать стоимость земли путём декомпозиции сделки на земельную и строительную составляющую [8]. Такой подход полезен, когда прямые аналоги отсутствуют.

4 Принципы, заложенные в калькулятор

В данной работе реализован упрощённый механизм расчёта, основанный на модификации кадастровой стоимости с учётом поправочных коэффициентов. Они отражают влияние ряда факторов:

- районный коэффициент – повышающий или понижающий множитель в зависимости от престижности локации;
- удалённость от МКАД – снижает итоговую стоимость на 1% за каждый километр, с ограничением минимального значения;
- наличие асфальта и строений – положительно влияет на итоговую стоимость;
- форма и рельеф – определяют удобство строительства и вводятся как корректирующие параметры.

Такая методика, хоть и не даёт точной рыночной оценки, позволяет пользователю быстро и наглядно получить ориентир, исходя из заданных характеристик, что особенно ценно на раннем этапе принятия решений.

Архитектура и реализация веб-калькулятора

Разработанный веб-калькулятор реализован в виде одностраничного веб-приложения, доступного через браузер. Сервис не требует установки, регистрации или внешних подключений и позволяет пользователю визуально оценить участок на карте и задать ключевые параметры для расчёта стоимости.

1 Общая структура приложения

Веб-приложение построено на фронтенд-стеке без серверной части (рисунок 1). Используемые технологии:

- HTML + CSS – верстка интерфейса и базовая стилизация;
- Vanilla JavaScript – реализация логики расчёта и взаимодействия;
- Leaflet.js – библиотека для отображения интерактивных карт [10];
- GeoJSON – формат данных для отображения границ районов Московской области [11].



Рис. 1. Общий интерфейс веб-приложения
Fig. 1. Common interface of calculator and map

2 Компоненты пользовательского интерфейса

Приложение содержит два основных компонента:

1. Интерактивная карта

Отображает границы районов Московской области. Подключены публичные тайлы OpenStreetMap. Файл Moskou-oblast.geojson используется для построения синих контуров, отображающих районы московской области.

При наведении на район выводится название с помощью bindPopup() (рисунок 2).

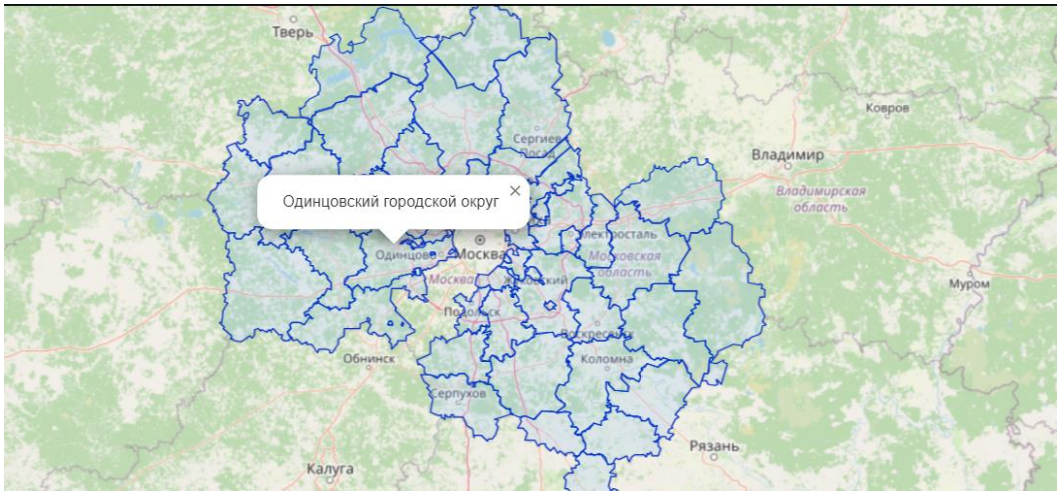


Рис. 2. Отображение границ районов и всплывающих подписей
Fig. 2. Display district boundaries and pop-up labels

2. Форма параметров участка

HTML-интерфейс позволяет пользователю задать (рисунок 3):

- район;
- наличие асфальтированного проезда;
- расстояние до МКАД;
- наличие строений;
- кадастровую стоимость;
- площадь участка;
- форму участка;
- перепад рельефа.

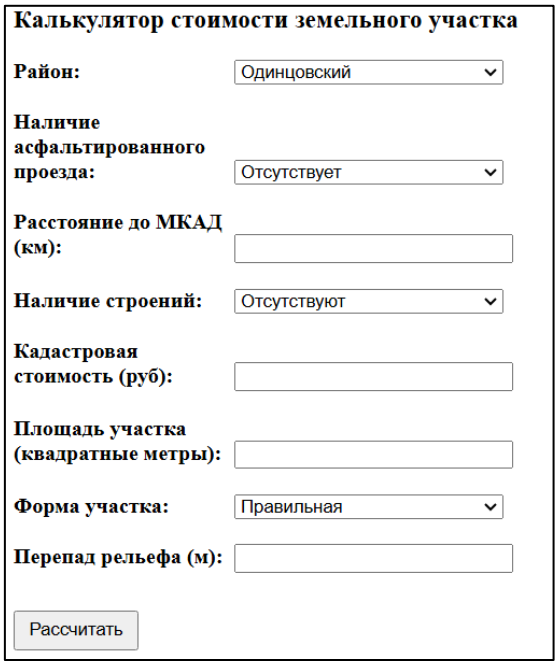


Рис. 3. Интерфейс формы для ввода параметров участка
Fig. 3. Interface of the form for entering site parameters

3. Логика расчёта стоимости

Функция calculateCost() реализует расчёт на основе пользовательских данных и заданных в коде коэффициентов:

- Районный коэффициент – от 1.0 до 1.2;
- Коэффициент удалённости – уменьшается на 1% за каждый км от МКАД (нижний предел – 0.2);
- Факторы инфраструктуры – учитываются наличие строений и асфальта (множитель 1.1);
- Форма участка – правильная форма = 1.05;
- Перепад рельефа – снижает стоимость при высоких значениях (нижний предел – 0.7).

Результат выводится в виде строки: «Ориентировочная стоимость: XXXXX руб.»

4.4 Работа с геоданными

Пространственные данные обрабатываются в формате GeoJSON. Загружаются через fetch() и отображаются с помощью L.geoJSON(). Каждый район карты можно визуально выделить, и это помогает пользователю соотнести расчёт с конкретной территорией.

4.5 Ограничения текущей реализации

Приложение не взаимодействует с базами данных или внешними API. Все коэффициенты и логика зашиты в код. Отсутствует сохранение истории расчётов, фильтрация по кадастровому номеру и адаптивная верстка. Также отсутствует мобильная версия.

Перспективы развития

Разработанный веб-калькулятор представляет собой прототип, демонстрирующий возможность быстрой ориентировочной оценки стоимости участков ИЖС на основе пользовательских параметров. В дальнейшем инструмент может быть значительно расширен за счёт подключения к внешним источникам данных – в первую очередь, кадастровым и рыночным базам, таким как API Росреестра и платформы объявлений недвижимости. Это позволит автоматизировать ввод данных и повысить актуальность результатов.

Также перспективным направлением является переход от фиксированных коэффициентов к адаптивной модели, основанной на статистическом анализе или машинном

обучении. Это даст возможность учитывать региональные и локальные особенности, а также динамику рынка.

Наконец, инструмент может быть масштабирован на другие регионы России. Текущая архитектура калькулятора универсальна и допускает замену геоданных и справочных коэффициентов без изменения базовой логики. Таким образом, проект обладает потенциалом для трансформации в более сложную и прикладную систему поддержки решений в области недвижимости.

Заключение

В данной работе представлен веб-калькулятор для ориентировочной оценки рыночной стоимости земельных участков под индивидуальное жилищное строительство в Московской области. Описаны методологические принципы, лежащие в основе модели расчёта, реализован пользовательский интерфейс с возможностью ввода ключевых параметров участка и визуализации на карте. Разработанное решение демонстрирует, как с использованием открытых данных и простых эмпирических алгоритмов можно создать удобный прикладной инструмент для предварительного анализа стоимости земли.

Список литературы

1. DomClick – сервис оценки недвижимости от Сбербанка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://price.domclick.ru, свободный. – Дата обращения: 13.04.2025.
2. Онлайн-сервис оценки земельных участков «Оценка-Участок» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ocenka-uchastok.ru, свободный. – Дата обращения: 13.04.2025.
3. Центр оценки «Аналитика». Методика оценки объектов недвижимости [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.c-a.ru/realestate_met.htm, свободный. – Дата обращения: 13.04.2025.
4. *Велес-Траст*. Примеры отчётов об оценке недвижимости [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://veles-trust.ru/Content/UploadedFiles/perlovskiy, свободный. – Дата обращения: 13.04.2025.
5. Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии. Публичная кадастровая карта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://pkk.rosreestr.ru, свободный. – Дата обращения: 13.04.2025.
6. *Григораш Е.В., Хохлова И.А., Павловская И.А.* Теоретические аспекты оценки стоимости недвижимости // Управленческий учёт. – 2023. – Т. 4, № 54. – С. 112–119. – Режим доступа: https://uprav-uchet.ru/index.php/journal/article/view/1004 – Дата обращения: 13.04.2025.
7. *Третьякова Г.Б.* Практика оценки земельных участков в условиях недостаточности рыночной информации [Электронный ресурс] // КиберЛенинка. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/praktika-otsenki-zemelnyh-uchastkov-v-usloviyah-nedostatochnosti-rynochnoy-informatsii, свободный. – Дата обращения: 13.04.2025.
8. *Лейфер Л.А.* Метод оценки земельных участков, основанный на использовании рыночных данных о единых объектах недвижимости [Электронный ресурс] // КиберЛенинка. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/metod-otsenki-zemelnyh-uchastkov-osnovannyy-na-ispolzovanii-rynochnyh-dannyh-o-edinyh-obektah-nedvizhimosti, свободный. – Дата обращения: 13.04.2025.
9. *Скрябин С.А., Пак М.В., Воротников С.Н.* Принципы оценки стоимости земли в современных условиях [Электронный ресурс] // КиберЛенинка. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/printsipy-otsenki-stoimosti-zemli-v-sovremennyh-usloviyah, свободный. – Дата обращения: 13.04.2025.
10. Leaflet. Leaflet.js documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://leafletjs.com/reference.html, свободный. – Дата обращения: 13.04.2025.
11. GIS-Lab. GeoJSON – формат представления пространственных данных [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://gis-lab.info/docs/geojson_ru.html, свободный. – Дата обращения: 13.04.2025.

WEB CALCULATOR FOR CALCULATING THE MARKET VALUE OF INDIVIDUAL HOUSING CONSTRUCTION LAND PLOTS IN THE MOSCOW REGION: APPROACHES AND IMPLEMENTATION

A.A. Dvilyansky[1], **A.D. Zakharenko**[2], **M.M. Kolenkina**[3]
[1–3] MIREA - Russian Technological University (Moscow, Russia)
[1] dvilyanskiy@mirea.ru, [2] zakharenko.a.d@edu.mirea.ru, [3]kolenkina@mirea.ru

Abstract

Problem statement. In modern conditions, the market of land plots for individual housing construction (IHC) remains poorly structured, which complicates the preliminary assessment of their market value. Existing online services are limited in functionality, do not take into account important parameters of plots and rarely provide visualization, which reduces their practical value for private users.

Objective. To develop a web calculator for an approximate assessment of the cost of land plots for individual housing construction in the Moscow region, based on open data and taking into account key characteristics of the plot, such as the district, distance from the Moscow Ring Road, availability of infrastructure and terrain.

Results. A one-page web service with an integrated interactive map and a form for entering parameters was created, a simplified model for calculating the cost using correction factors was implemented, and a demonstration of the calculator was conducted using examples.

Practical significance. Individuals and professionals can use the developed tool at the early stages of decision-making on the purchase or sale of plots, as well as for educational and demonstration purposes in teaching the basics of real estate valuation.

Keywords

Cost assessment, land plots, individual housing construction, web calculator.

УДК 528.88, 004.056.5:528.88

KERBEROS В ЗАЩИТЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ПЛАТФОРМ: УЯЗВИМОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Ю.В. Молодцова[1], М.Д. Новиков[2], Д.В. Крюкова [3], М.А.Окелла[4]
[1-4]МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация
[1]mol_ji@bmstu.ru, [2] nmd@bmstu.ru , [3]kryukova.d@bmstu.ru, [4]okellama@student.bmstu.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Геоинформационные системы (ГИС) всё чаще интегрируются в критические сегменты цифровой инфраструктуры — от городских ЦОДов до распределённых платформ мониторинга и управления (например, в лесном хозяйстве, экологии, транспорте, чрезвычайных службах). Одним из базовых компонентов обеспечения их безопасности выступает централизованная аутентификация пользователей и сервисов. Kerberos применяется в ГИС для: защиты доступа к пространственным базам данных (PostGIS, Oracle Spatial и др.); безопасной авторизации в СУБД и middleware (ArcGIS Server, GeoServer, QGIS Server); разграничения прав пользователей при работе с картографическими слоями; защиты REST-API и SOAP-сервисов, предоставляющих геопривязанные данные; контролируемой интеграции с Active Directory и удостоверяющими центрами.

Цель исследования: комплексный анализ угроз безопасности , связанных с эксплуатацией протокола аутентификации Kerberos, применяемого в инфраструктуре ГИС.

Практическая значимость. Раскрыты и приведены направления по выявлению атак и обозначены перспективы развития защищенных ГИС с учетом актуальных угроз

Результаты. В работе рассмотрены угрозы безопасности, связанные с эксплуатацией протокола аутентификации Kerberos, применяемого в инфраструктуре ГИС. Описаны атаки Golden Ticket, Silver Ticket и Pass-the-Ticket, их механизм в условиях ГИС, а также возможные последствия для пространственных данных, платформ управления геоинформацией и автоматизированных решений в сфере мониторинга.

Практическая значимость. Раскрыты и приведены направления по выявлению атак и обозначены перспективы развития защищенных ГИС с учетом актуальных угроз

Ключевые слова

Kerberos, Golden Ticket, Silver Ticket, Pass-the-Ticket, Active Directory, TGT, TGS, аутентификация, эксплуатация уязвимостей, кибербезопасность, поддельные билеты, атаки в локальной сети

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Для начала необходимо отметить, что существует три различных понятия: идентификация, аутентификация и авторизация. Идентификация – распознавание пользователя, по его уникальному идентификатору. Аутентификация – проверка подлинности пользователя, а далее – авторизация, завершающая процедура, после которой происходит наделение пользователя правами в системе на выполнение определённых действий. Kerberos – сетевой протокол аутентификации. Он обеспечивает безопасный доступ пользователей к ресурсам внутри сети для безопасной идентификации. Во время того, как пользователь выполняет успешную первичную аутентификацию (Authentication Service, AS), центр выдачи ключей (Key Distribution Center, KDC) выдает первичное «удостоверение» или, как называют чаще всего – тикет (Ticket Granting ticket, TGT), пользователя для доступа к сетевым ресурсам. На примере: когда пользователь вводит логин и пароль в систему, его клиент отправляет запрос AS-REQ на контроллер домена, где AS проверяет учетные данные и, если они верны, то возвращает «ответ» AS-REP, содержащий тикет (TGT). Далее, при запросе к отдельным сетевым ресурсам, пользователь «предъявляет» полученный первичный тикет (TGT) и от центра выдачи ключей получает тикет сервиса – Ticket Granting Service (TGS). Таким образом,

Kerberos – протокол, основанный на симметричном шифровании, позволяющий пользователю получить доступ к сетевым ресурсам, не передавая пароль по сети. Включает такие элементы:

– KDC (Key Distribution Center) – центр распределения ключей;

– AS (Authentication Service) – компонент центра распределения ключей, отвечающий за первичную аутентификацию пользователя;

– TGT (Ticket Granting Ticket) – тикет, который выдается после первичной аутентификации и используется для получения тикетов к сервисам;

– Service Ticket (ST или TGS Ticket) – тикет, который используется для доступа к конкретным сервисам (например, SMB).

Kerberos-тикеты хранятся в памяти сервиса проверки подлинности локальной системы безопасности (LSASS) и используются системой автоматически. Их можно просматривать через команду ***klist*** (команда для отображения списка кэшированных учетных данных в системе Kerberos), а в случае компрометации извлекать при помощи специальных инструментов (например, Mimikatz).

В условиях геоинформационной инфраструктуры атака Golden Ticket позволяет злоумышленнику получить несанкционированный доступ ко всем подсистемам: от каталогов метаданных до серверов пространственного анализа. При компрометации учетной записи KRBTGT в Active Directory возможна подделка тикетов TGT, что предоставляет полный контроль над компонентами, включая геохранилища и модульные API.

1. Golden Ticket: В условиях геоинформационной инфраструктуры атака Golden Ticket позволяет злоумышленнику получить несанкционированный доступ ко всем подсистемам: от каталогов метаданных до серверов пространственного анализа. При компрометации учетной записи KRBTGT в Active Directory возможна подделка тикетов TGT, что предоставляет полный контроль над компонентами, включая геохранилища и модульные API. Опасность в ГИС: доступ к конфиденциальным пространственным данным (например, координатам стратегических объектов); нарушение целостности тематических слоёв;вмешательство в процессы пространственного моделирования и предсказательного анализа.

2.Silver Ticket: Использование поддельного сервисного тикета может позволить атакующему получить доступ к отдельному узлу, например, серверу рендеринга карт или файловому хранилищу с ортофотоснимками. Эта атака особенно опасна, если злоумышленник знает SPN службы (например, http/gis-server.domain.local). Опасность в ГИС: несанкционированный экспорт геоданных; подмена слоёв и нарушений логики отображения информации; доступ к службам публикации карт в реальном времени.

3. Pass-the-Ticket: Атака позволяет атакующему повторно использовать извлечённые тикеты с одного устройства на другом, получая доступ к геоинформационной системе от имени легитимного пользователя (например, системного администратора геосервиса). Опасность в ГИС: захват привилегий разработчиков или инженеров технической поддержки; организация скрытого наблюдения за действиями пользователей; внесение скрытых и труднообнаруживаемых изменений в пространственные данные.

Стоит отметить, что Golden Ticket – это тип атаки, при котором злоумышленник, получивший доступ к секретному ключу служебной учетной записи KRBTGT в Active Directory, может подделывать билеты TGT (Ticket Granting Ticket) от имени любого пользователя домена. KRBTGT – это системная учётная запись, используемая контроллерами домена для подписи всех TGT. Если атакующий завладеет её ключом (т. е. хэшем пароля), то он получает возможность самостоятельно формировать TGT с любыми правами доступа, которые будут восприняты как подлинные. Хэш пароля KRBTGT можно получить с помощью техники сброса учетных данных операционной системы и привилегированного доступа к контроллеру домена. Критичность такого подхода усиливается тем, что ключ KRBTGT редко меняется. По умолчанию это происходит только по инициативе администратора или при переустановке контроллера домена. Процесс смены ключа может повлиять на работу

аутентификации в сети. Последовательность атаки можно представить в виде следующих пунктов:

1) Получение доступа к контроллеру домена и извлечение хэша учетной записи KRBTGT.
2) Создание поддельного TGT.
3) Использование тикета для аутентификации в домене и доступа к ресурсам от имени любого пользователя.

Silver Ticket – атака, подразумевающая создание поддельного «сервисного» тикета (TGS/TS) для конкретной службы (например, файловый сервер), используя парольный хэш этой службы. Затрудняет обнаружение такой атаки то, что в данном случае отсутствует взаимодействие с центром выдачи ключей. Хэши паролей также можно получить с помощью сброса учетных данных операционной системы или подтехнике по краже/подделки тикетов (Kerberoasting). Последовательность атаки:

1) Получение NTLM-хэша учетной записи службы, которая привязана к SPN.
2) Создание поддельного «сервисного» тикета с необходимым SPN и пользователем.
3) Передача тикета на целевой сервер для получения доступа через KDC.

SPN (Service Principal Name) – это идентификатор, который используется в протоколе Kerberos для связи между именем службы и учетной записью, под которой работает данная служба. Он сообщает системе, какая учетная запись отвечает за конкретную сетевую службу. В момент, когда пользователь подключается к сервису, клиент делает запрос тикета для SPN и контроллер домена ищет, к какой учетной записи он привязан, чтобы выдать тикет.

Pass-the-Ticket – атака, суть которой заключается в повторном использовании легитимных тикетов, извлечённых из памяти одной машины, на другой. Если атакующий получает доступ к тикетам TGT или TGS (например, с помощью дампа процесса LSASS), он может скопировать и вставить его в свою сессию, тем самым аутентифицируясь от имени другого пользователя. Это особенно полезно при горизонтальном перемещении по сети и часто сочетается с другими техниками. Последовательность атаки:

1) Получение доступа к LSASS на скомпрометированной машине и извлечение легитимных тикетов.
2) Внедрение тикета на другой машине или сессии.
3) Использование тикета для доступа к ресурсам от имени пользователя, которому он принадлежал.

Таким образом, вышеперечисленные атаки – разные способы злоупотребления механизмом протокола Kerberos. Golden Ticket – создание поддельного TGT, компрометация хэша учетной записи KRBTGT, работа на уровне контроллера домена. Silver Ticket – подделка TGS, использование хэша пароля. Pass-the-ticket – использование действительных тикетов из памяти скомпрометированного хоста.

Выявление атак на Kerberos-протокол, таких как Golden Ticket, Silver Ticket и Pass-the-Ticket, возможно на основе анализа событий безопасности в журналах Windows. Несмотря на то, что данные атаки используют легитимный механизм аутентификации, существуют косвенные признаки, позволяющие выявить подозрительную активность:

1.Атака Golden Ticket предполагает генерацию поддельного TGT на основе ключа KRBTGT. Такие билеты не требуют запроса к контроллеру домена, поэтому возникают аномалии: Event ID 4768 – Kerberos Authentication (AS-REQ). Это событие фиксирует запрос на получение TGT. При использовании Golden Ticket этот запрос отсутствует, но TGT всё же появляется и используется.

1) Event ID 4769 – Kerberos Service Ticket Request (TGS-REQ). Указывает, что TGS выдан на основе TGT. В случае Golden Ticket можно обнаружить TGS-запросы без соответствующего AS-REQ ранее, что подозрительно.

2) Event ID 4624 – Successful Logon. Может указывать на вход с поддельным билетом. Признаками могут быть: нехарактерный логон с высоким уровнем привилегий (например, krbtgt, `Enterprise Admins`); аномально длительный срок действия сессии.

3) Несоответствие имени пользователя и его SID (Security Identifier). При создании поддельного билета злоумышленник может вручную вписать любое имя пользователя, но при этом использовать несоответствующий ему SID (например, задать имя обычного пользователя, но SID от администратора). Такое расхождение между SID и учетной записью может выявляться при анализе логов 4769 или 4624, особенно в случае, если SID не соответствует информации в Active Directory.

2. Silver Ticket: Silver Ticket используется для создания поддельного TGS без обращения к контроллеру домена, что делает его ещё менее заметным. Однако можно фиксировать следующие признаки:

1) Event ID 4769 – Service Ticket Request (TGS-REQ). Если виден TGS-запрос без предшествующего TGT-запроса (4768), это может свидетельствовать о Silver Ticket. Подозрения вызывают: запросы к чувствительным сервисам (сервисы, к которым доступ может дать злоумышленнику: прямой доступ к файлам, данным, или возможность выполнения кода/управления системой); билеты, выданные от имени пользователей, которые не работают с данным сервисом; необычные времена или частота запросов. Event ID 4624 – Successful Logon: если вход в систему происходит через Kerberos с привилегиями, нехарактерными для пользователя, либо от имени устаревшего или отключенного аккаунта – это может быть результатом использования поддельного TGS.

3 Pass-the-Ticket: Эта техника использует легитимные TGT/TGS, полученные из памяти скомпрометированной машины и повторно использованные с другой. Детектирование возможно через следующие признаки:

1) Event ID 4769. Повторяющиеся запросы TGS от одного и того же пользователя, но с разных IP-адресов или хостов – возможный признак передачи билета.

– Event ID 4624. Успешные входы с одинаковым именем пользователя, но: с разных устройств; в близком промежутке времени; с использованием Kerberos-аутентификации (Logon Type 3 или 9) — указывает на сетевой доступ или подмену билета.

Одним из ключевых компонентов безопасности является протокол Kerberos, который используется для централизованной аутентификации пользователей и сервисов. Понимание механизма его работы, архитектуры, а также уязвимостей важно для специалистов в области информационной безопасности. Несмотря на свою криптографическую устойчивость, протокол подвержен ряду атак, возникающих как из-за ошибок конфигурации, так и из-за особенностей его реализации. Без глубокого понимания принципов функционирования Kerberos невозможно эффективно защищать инфраструктуру и выявлять атаки различного типа.

Список источников

1. HABR. Silver Ticket: Теневое искусство атаки. От теории к практике и артефактам обнаружения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://habr.com/ru/amp/publications/886584/ (дата обращения: 02.05.2025).
2. MITRE ATT&CK. Steal or Forge Kerberos Tickets: Kerberoasting [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://attack.mitre.org/techniques/T1558/003/ (дата обращения: 02.05.2025).
3. HABR. Golden Ticket: разбираем атаку и методы ее детекта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://habr.com/ru/amp/publications/686784/ (дата обращения: 06.05.2025).
4. MITRE ATT&CK. Use Alternate Authentication Material: Pass the Ticket [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://attack.mitre.org/techniques/T1550/003/ (дата обращения: 07.05.2025).

KERBEROS IN PROTECTING GEOGRAPHIC INFORMATION PLATFORMS: VULNERABILITIES AND DEVELOPMENT PROSPECTS

Yu.V. Molodcova[1], V.D. Novikov[2], D.V. Kryukova[3], M.A. Okella[4]
[1-4] Bauman Moscow State Technical University
[1]mol_ji@bmstu.ru, [2] nmd@bmstu.ru , [3]kryukova.d@bmstu.ru, [4]okellama@student.bmstu.ru

Abstract

Geographic information systems (GIS) are increasingly being integrated into critical segments of digital infrastructure, from urban data centers to distributed monitoring and management platforms (for example, in forestry, ecology, transport, and emergency services). One of the basic components of ensuring their security is centralized authentication of users and services. Kerberos is used in GIS to: protect access to spatial databases (PostGIS, Oracle Spatial, etc.); secure authorization in DBMS and middleware (ArcGIS Server, GeoServer, QGIS Server); delimit user rights when working with cartographic layers; protect REST APIs and SOAP services providing geo-linked data; controlled integration with Active Directory and authentication centers.

Keywords

Kerberos, Golden Ticket, Silver Ticket, Pass-the-Ticket, Active Directory, TGT, TGS, authentication, vulnerability exploitation, cybersecurity, fake tickets, local network attacks

УДК 614.841.42

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ SDR ДЛЯ КОНТРОЛЯ РАДИОСВЯЗИ В ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

М.Д. Новиков[1], С.А. Люшнин[2], Ю.В. Молодцова[3]
[1-3]МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация
[1] nmd@bmstu.ru, [2] lushnin@bmstu.ru, [3]mol_ji@bmstu.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Современные геоинформационные системы (ГИС) активно внедряются в ключевые элементы цифровой инфраструктуры — от облачных платформ до распределённых систем мониторинга в таких областях, как логистика, экологический контроль, управление городским хозяйством и безопасность. Однако их эффективная работа требует не только обработки пространственных данных, но и обеспечения надёжной защиты информационных потоков, включая радиосвязь. Одной из ключевых задач является контроль и анализ радиочастотных сигналов, используемых для передачи данных в ГИС. Традиционные радиочастотные системы зачастую обладают высокой стоимостью, ограниченной гибкостью и значительным энергопотреблением, что затрудняет их масштабирование и интеграцию с ГИС. В связи с этим возникает необходимость в разработке компактных, энергоэффективных и адаптируемых решений на основе технологии программно-определяемого радио (SDR).

Цель исследования: изучение возможности применения технологии SDR в инфраструктуре ГИС.

Практическая значимость: Разработана и описана программно-аппаратная система для обнаружения и отображения определенных сигналов с заданными частотами.

Результаты: В работе рассмотрены возможности технологии SDR и Raspberry PI. Описана система отслеживания сигналов и их фильтрация по заданным параметрам.

Практическая значимость: Приведены перспективы использования технологии SDR в геоинформационных системах.

Ключевые слова

SDR, Raspberry Pi, радиосвязь, модуляция, частота.

A brief version in English is given at the end of the article

Использование технологии sdr для контроля радиосвязи в ГИС

Контроль за радиосвязью чрезвычайно важен как в условиях военного, так и мирного времени. В условиях развития геоинформационных систем встал вопрос об отслеживании различных радиочастотных данных для обнаружения и их отображения. Из-за массовой потребности в материально техническом обеспечении встает вопрос о доступности, портативности и низкой потребности в энергопотреблении. Программно-аппаратная технология SDR помогает решить поставленную задачу, реализуя радиостанции, которые могут работать в нескольких диапазонах частот и по нескольким протоколам с помощью программного интерфейса. В данной статье рассматривается аппаратно-программный комплекс, построенный на базе Raspberry Pi и SDR. Система отличается низкой стоимостью, небольшими размерами, низким энергопотреблением, портативностью и способная встраиваться в информационные системы.

На рисунке 1 представлена общая структура системы. Она состоит из платы Raspberry Pi, RTL-SDR, антенны, динамика и микрофона. Радиосигналы принимаются с помощью антенны, соединенной с RTL-SDR. RTL-SDR - это стандартный приемник SDR, который получает питание через USB. Аналоговый сигнал, поступающий от антенны, направляется на аналого-цифровой преобразователь (АЦП), встроенный в RTL-SDR. Там аналоговый сигнал преобразуется в цифровой формат с частотой дискретизации, установленной программным обеспечением. Оцифрованный радиосигнал подвергается снижению частоты до той, которую контролирует программное обеспечение. Далее сигнал основной полосы частот отправляется на Raspberry Pi для извлечения информации из него. Эта информация может быть передана на динамик, подключенный к системе, или сохранена в памяти. Передача сигнала

осуществляется через универсальный вывод ввода/вывода (GPIO), имеющийся на плате Raspberry Pi. Это исключает необходимость в специализированном радиочастотном оборудовании. Система включает три основных компонента: приемник, процессор основной полосы и передатчик.

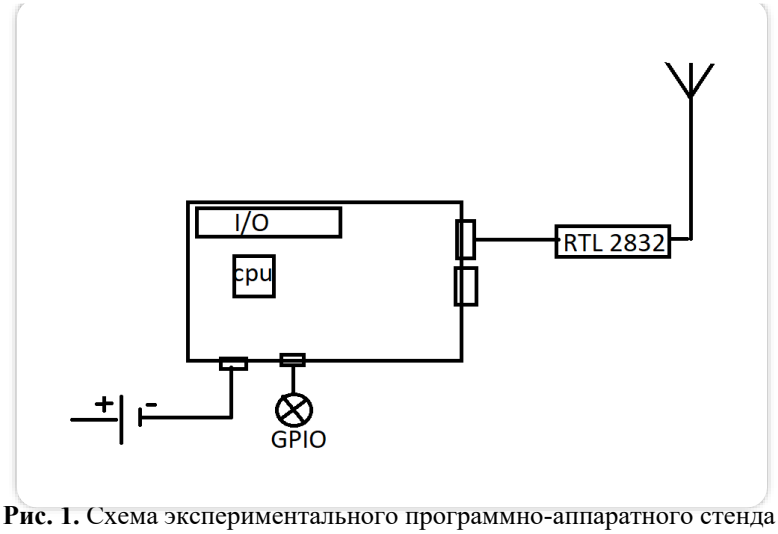


Рис. 1. Схема экспериментального программно-аппаратного стенда
Fig.1. Scheme of the experimental hardware and software stand

Для создания интерфейса приемника применяется модуль HackRF One (рис. 2) [1]. Этот модуль позволяет транслировать сырые данные ввода-вывода на подсоединённое устройство. Антенна соединяется посредством коаксиального кабеля.

Регулировку разрешающей способности и коэффициента усиления на уровне 1 Гц возможно осуществить с помощью программного управления. Этот модуль выполняет цифровую обработку сигнала приёмника, включающую понижающую дискретизацию и дополнительную фильтрацию сигнала, поступающего от антенны. HackRF One оснащён Micro-USB интерфейсом, который отправляет сэмплы на Raspberry Pi [2].



Рис. 2. HackRF One и Широкополосная антена, используемая в системе
Fig.2. HackRF One and the broadband antenna used in the system

Для работы с сигналами в базовом диапазоне использовался малогабаритный одноплатный компьютер Raspberry Pi 4 (рис. 3) [3]. Его центральным процессором является ARM-процессор с тактовой частотой 1.8 ГГц. Компьютер оснащён разнообразными периферийными устройствами, включая USB 2.0 и 3.0 порты, HDMI-порт, 8 ГБ оперативной памяти, SD-карту памяти и порты GPIO для расширения. Через HDMI и USB к Raspberry Pi можно подключить монитор, клавиатуру и мышь. Его можно использовать как настольный компьютер благодаря поддержке ряда операционных систем, включая дистрибутив Linux

Raspbian на базе Debian. Процессоры ARM демонстрируют значительное превосходство над другими конкурирующими устройствами по мощности, стоимости и компактности, поэтому они являются основными процессорами большинства мобильных и встраиваемых систем. Raspberry Pi подключается к RTL-SDR через Micro-USB вход. Выборки ввода-вывода, получаемые из RTL-SDR, обрабатываются на Raspberry Pi с использованием программы демодуляции, написанной на языке программирования C. Эта программа использует открытый драйвер, доступный для RTL-SDR, который позволяет управлять частотой, шириной полосы и усилением принимаемого сигнала. На Raspberry Pi с помощью SBK могут быть реализованы различные виды модулированных сигналов, такие как амплитудная модуляция (AM), однополосная модуляция (SSB), частотная модуляция (FM), широкополосная FM и узкополосная FM, которые могут использоваться для приёма различных сигналов из эфира.



Рис. 3. Мини-компьютер Raspberry Pi 4
Fig.3. Raspberry Pi 4 Mini Computer

Методика программно-определяемой связи с использованием модуля приемопередатчика, подразумевающая настройку как минимум одного входа для приема и передачи радиосигнала в широком диапазоне частот либо для приема радиосигнала из широкого диапазона частот, была подробно рассмотрена ранее. В данном разделе рассмотрим её работу. Сначала инициализируется аппаратный модуль, настроенный для приема радиосигнала, а затем сигнал передаётся через антенну с помощью передающего модуля. Программный модуль получает входную команду для типа модуляции, вторую команду для частоты. Полученный радиосигнал отправляется, на обработку и анализ необходимых частот, при этом принятый радиосигнал (его метрики) может быть сохранён в локальном хранилище по заданному правилу. Для обработки данных программный модуль изменяет частоту входного сигнала в соответствии с амплитудой указанного при инициализации сигнал. На рис. 4 представлена блок-схема работы устройства при заданной частоте в 100 МГц. Пользователь запускает скрипт на плате и дожидается приема различных сигналов. Программа отсекает нужные ему частоты и уведомляет об их приеме. Пользователь может менять частоту работы и модуляцию для приема сигнала, что предоставляет гибкость настройки на разные частоты (в зависимости от антенны) в реальном времени. Кроме того, ПО может сохранять принятые сигналы на карте памяти или передавать их на внешнее устройство для последующей обработки и реагирования. Это устройство способно функционировать в широком спектре частот. Поэтому его можно применять для связи с разными устройствами, изменяя его конфигурацию, которой можно управлять с помощью программного обеспечения.

Данная система может взаимодействовать с широким спектром устройств, работающих в разных диапазонах частот. Таким образом, его можно использовать для приема связи с

различных радиостанций или иных приемо-передатчиков сигнала, изменяя его конфигурацию, которой можно управлять с помощью программного обеспечения.

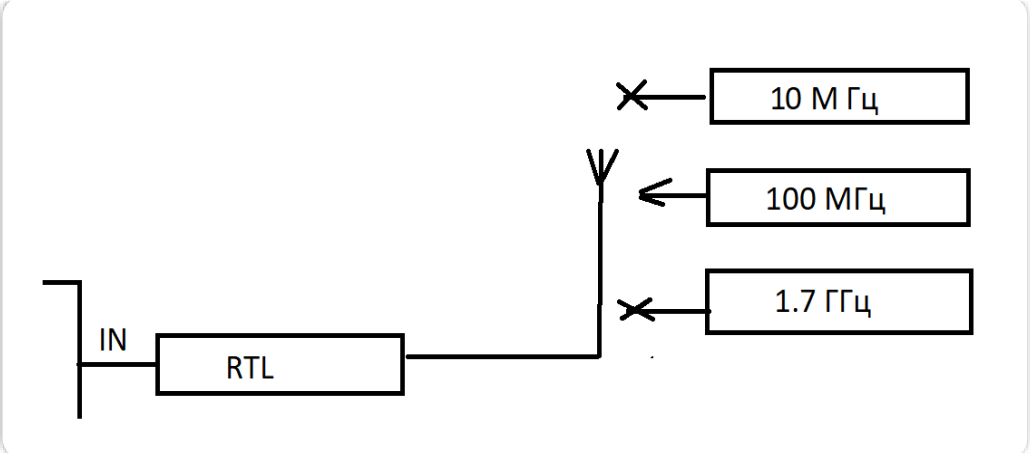


Рис. 4. Схема работы системы, на примере приема сигнала в 100 МГц
Fig.4. The scheme of the system operation, using the example of receiving a signal at 100 MHz

Использование Raspberry Pi в качестве вычислительной платформы привело к значительному снижению энергопотребления устройства в целом. Потребляемая мощность этого процессора составляет менее 16 Вт. Использование RTL-SDR обеспечивает очень дешевое интерфейсное решение. Благодаря небольшому размеру платы Raspberry Pi и RTL-SDR является портативным и может быть быстро сконфигурировано для реагирования на различные источники сигналов связи. Система была протестирована для различного диапазона частот от 30 МГц до 1.7ГГц.

Заключение

В этой статье мы представили разработку и эксплуатацию модуля приема сигнала для программно-определяемой системы радиосвязи, разработанной с использованием Raspberry Pi в качестве основы, и RTL-SDR в качестве интерфейсного решения. Программно-аппаратный комплекс обладает рядом привлекательных характеристик, таких как: низкая стоимость, небольшие размеры, низкое энергопотребление, удобство транспортировки, простота настройки и развертывания. Использование Raspberry Pi упрощает интеграцию различного оборудования в одно компактное устройство. Систему легко интегрировать в геоинформационную систему для отслеживания различных данных.

Список использованных источников

1. Делаем первые шаги с RTL-SDR. [Электронный ресурс] // Журнал «Хакер», 31.10.2014 URL : https://xakep.ru/2014/10/31/rtl-sdr-first-steps/. (дата обращения: 10.08.2024)
2. Блог компании RUVDS.com. Девайсы для пентеста. Обзор хакерских девайсов. Часть 2: RF [Электронный ресурс] // Habr. URL : https://habr.com/ru/companies/ruvds/articles/511758/ (дата обращения: 11.08.2024)
3. HABR. Волкова Д. Raspberry Pi 5: новые возможности, новая экосистема. Что предлагает рынок?[Электронный ресурс] // Habr. URL : https://habr.com/ru/companies/ru_mts/articles/766922/. (дата обращения: 10.08.2024)

SDR TECHNOLOGY AS RADIO COMMUNICATION CONTROL IN GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS

M.D. Novikov[1], S.A. Lushnin[2], Yu.V. Molodcova[3]
[1-3] Bauman Moscow State Technical University
[1] nmd@bmstu.ru, [2] lushnin@bmstu.ru, [3]mol_ji@bmstu.ru

Abstract

Modern geographic information systems (GIS) are being actively implemented into key elements of the digital infrastructure, from cloud platforms to distributed monitoring systems in areas such as logistics, environmental control, urban management, and security. However, their effective work requires not only spatial data processing, but also reliable protection of information flows, including radio communications. One of the key tasks is the monitoring and analysis of radio frequency signals used for data transmission in GIS. Traditional RF systems often have high cost, limited flexibility, and significant energy consumption, making them difficult to scale and integrate with GIS. In this regard, there is a need to develop compact, energy-efficient and adaptable solutions based on software-defined radio (SDR) technology.

Keywords

SDR, Raspberry Pi, radio communication, modulation, frequency.

УДК 629.7.05

РОЛЬ ГИС В ПРОАКТИВНОМ МОНИТОРИНГЕ И ОЦЕНКЕ РИСКОВ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЛАНДШАФТНЫХ ПОЖАРОВ

Д.О. Морозова[1], В.М. Михайлов[2], Е.С. Подольская[3]
[1–2] МИРЭА – Российский технологический университет (Москва, Россия),
[3] Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов им. А. С. Исаева Российской академии наук (ЦЭПЛ РАН)
[1] stowberry@mail.ru, [2] mihajlov@mirea.ru, [3] podols_kate@mail.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Воздействие ландшафтных пожаров на окружающую среду и человека обуславливает экономические, экологические и социальные ущербы посредством изменения качества ландшафтных фитоценозов, качества жизни, эффективности деятельности населения и увеличения экономических рисков. Как известно, лучший пожар – тот, который не случился. Проактивный подход к управлению пожарной безопасностью, основанный на мониторинге и оценке рисков, является ключевым фактором в предотвращении и минимизации ущерба от пожаров. Для опережения ландшафтных пожаров необходимо использование современных технологий, которыми в настоящее время являются различные программные продукты, разрабатываемые на базе географической информационной системы (ГИС). Проблематика борьбы с чрезвычайными лесопожарными ситуациями (ЧЛС) представляет собой комплекс крупных научных проблем, требующих всестороннего исследования и включающих ряд базовых аспектов, касающихся мониторинга и прогнозирования, а также планирования и реализации мероприятий по предупреждению и ликвидации ландшафтных пожаров.

Цель. Оценить вклад ГИС в проактивный мониторинг рисков возникновения ландшафтных пожаров.

Результаты. Определён состав параметров, которые должны учитываться при разработке методики прогнозирования пожароопасности геокомплексов. Проанализированы и выявлены наиболее эффективные методы из существующих методик оценки рисков возникновения ландшафтных пожаров, применяемых лесопожарными центрами в проактивном мониторинге для прогнозирования возгораний. Рассмотрен зарубежный опыт мониторинга и прогнозирования ландшафтных пожаров.

Практическая значимость. Полученные результаты позволяют оценить эффективность методов, применяемых в ГИС для предотвращения пожаров, способствуя дальнейшему совершенствованию этих подходов, минимизации рисков возникновения ландшафтных пожаров, сокращению социоэкономических и экологических ущербов.

Ключевые слова

ГИС, ландшафтные пожары, мониторинг, оценка рисков, прогнозирование, нейронные сети.

A brief version in English is given at the end of the article

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания ЦЭПЛ РАН по теме "Биоразнообразие и экосистемные функции лесов" 2024-2026 гг. (Регистрационный номер НИОКТР 124013000750–1).

Введение

Геоинформационные системы играют важную роль в изучении и контроле многокомпонентных процессов, в частности, и при реализации проактивного подхода к управлению пожарной безопасностью природных ландшафтов, предоставляя мощный инструментарий для анализа пространственных данных, моделирования и прогнозирования.

Традиционные методы реагирования на пожары часто оказываются недостаточно эффективными, фокусируясь в основном на ликвидации последствий возгораний, нежели на их предотвращении. ГИС–технологии и данные дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) предоставляют такую возможность в качестве необходимых инструментов по методам контроля и оценки возникновения ландшафтных пожаров.

Цель работы – оценить роль геоинформационных систем в проактивном мониторинге и оценке рисков возникновения ландшафтных пожаров.

Возможности ГИС в проактивном мониторинге возникновения ландшафтных пожаров

ГИС позволяют собирать, обрабатывать и анализировать широкий спектр геопространственных данных, таких как высота рельефа, типы почв и растительности, климатические параметры и другие факторы, которые могут повысить или понизить риск возникновения ландшафтных пожаров. Такие данные помогают планировать комплексный подход к управлению ландшафтами, определять зоны риска и предварительные меры, которые нужно принять для предотвращения пожаров.

Для прогнозирования развития ландшафтного пожара необходимо знать основные характеристики «горючего»: структуру, запас влажности и теплотворную способность. Знание этих характеристик имеет большое значение как для понимания процесса возникновения и развития ландшафтных пожаров, так и для разработки приемов профилактики, средств и способов борьбы с ними.

Функциональная структура ГИС–мониторинга ландшафтных пожаров определяется перечнем задач учета, планирования, оперативного регулирования, контроля и анализа, решаемых в рамках общей системы управления мероприятиями по защите населения, объектов и территорий, и включает в себя пять подсистем [1]:

1. оценку и прогноз пожарной опасности;
2. мониторинг процессов возникновения и развития ландшафтных пожаров;
3. мониторинг процессов предупреждения, обнаружения и ликвидации ландшафтных пожаров;
4. интеллектуальную поддержку управленческих решений;
5. оценку последствий ландшафтных пожаров и результатов функционирования системы защиты от них.

Сочетание визуальных и инструментальных методов, а также использование космических средств существенно расширяет контролируемую территорию лесного фонда, повышает периодичность наблюдения, оперативность обнаружения пожаров, точность определения размеров пройденной огнем площади и наносимого ущерба.

С точки зрения периодичности обновления, информация в ГИС–мониторинге ландшафтных пожаров подразделяется на *условно постоянную*, *сезонную* и *оперативную*. *Условно постоянные* данные обновляются реже одного раза в год. *Сезонные* данные изменяются один или несколько раз в течение года. *Оперативные* данные изменяются с частотой один или несколько раз в сутки. Вся информация накапливается в банке данных, структура которого существенно зависит от рассматриваемого уровня ГИС и образует совокупность атрибутивных данных, цифровых карт и спутниковых изображений. *Фактологическая ГИС* включает данные о ландшафтных пожарах, метеорологические данные, данные о ресурсах службы охраны, данные о лесах и нормативно–справочную информацию. *Картографическая часть банка данных ГИС* включает цифровые карты следующих основных типов: топографическая основа, административное деление, производственная организация территории. Поступающая информация предварительно обрабатывается и подгружается в специализированный ГИС–сервер, где происходит автоматическое обновление баз данных и картографических покрытий, дополнение архивов, а также формирование информационных продуктов в виде растровых изображений цифровых карт и таблиц и передача их на WWW–сервер. По завершении этих процедур пользователи в Центральной базе авиалесоохраны получают доступ по локальной вычислительной сети к оперативным данным в виде ГИС, а пользователи Internet – к информационным продуктам на WWW–сервере [1].

Одним из перспективных направлений обнаружения и ликвидации ландшафтных пожаров в начальный период, дополняющим наземное и авиационное обнаружение, является использование информации, получаемой с современных спутниковых систем. Для этого

необходимо использовать систему мониторинга ландшафтных пожаров, включающую в себя: данные съемок БПЛА; геоинформационный аппаратно–коммуникационный комплекс; программы обработки цифровой спутниковой информации; технологию использования спутниковой информации в целях оперативного обнаружения ландшафтных пожаров и слежения за лесопожарной обстановкой на всей территории лесного фонда.

В настоящее время широкое применение имеют автоматические интегрированные системы обнаружения пожаров в сочетании с цифровой моделью местности (ЦММ) [2]. Одну из новейших систем такого типа предоставляет нам сервис мониторинга пожаров в Веб–ГИС российской платформы NextGIS [3], доступной пользователям с premium–аккаунтом. Данный сервис позволяет получать спутниковые данные о ландшафтных пожарах на любой интересующей территории. После подключения сервиса, в Веб–ГИС начинают поступать исходные данные по возгораниям (хотспоты, термоточки). Веб–карта для мониторинга создаётся автоматически, данные обновляются каждый час. Получаемые данные пользователь может самостоятельно добавлять на любую другую веб–карту, выгружать их в другую систему и анализировать отдельно. В качестве источников данных выбираются спутниковые датчики FIRMS (MODIS, VIIRS, VIIRS–SNPP (NOAA)), а также Scanex Fires. Разрешение системы VIIRS выше, и она обнаруживает более мелкие пожары средней площадью 8 га. Использование датчиков обеих систем даёт полную картину о возгораниях.

Использование сервиса Веб–ГИС на особо охраняемых природных территориях (ООПТ) позволяет не только выявлять ландшафтные пожары для оперативных задач, но и отслеживать их динамику. Данные обновляются каждый час и накапливаются для истории и последующего анализа. Каждая ООПТ выделена на карте, а в пределах выделенных территорий ведётся мониторинг. Выделенные территории охватывают площадь большую, чем площадь самих ООПТ. Это позволяет выявлять пожары на прилегающих территориях и оценивать их угрозу для ООПТ [3]. Например, Астраханский государственный биосферный заповедник занимает площадь 67,9 тыс. га и состоит из трёх участков в низовьях дельты Волги. В западной части – Дамчикский, в центральной – Трёхизбенский и в восточной – Обжоровский. Риск возникновения пожаров на этих территориях связан с большим количеством камыша. Ежедневно в пожароопасный сезон или когда поступает запрос из отдела лесоохраны, пользователи проверяют карты на предмет появления новых очагов возгораний, как это показано на рисунке 1.

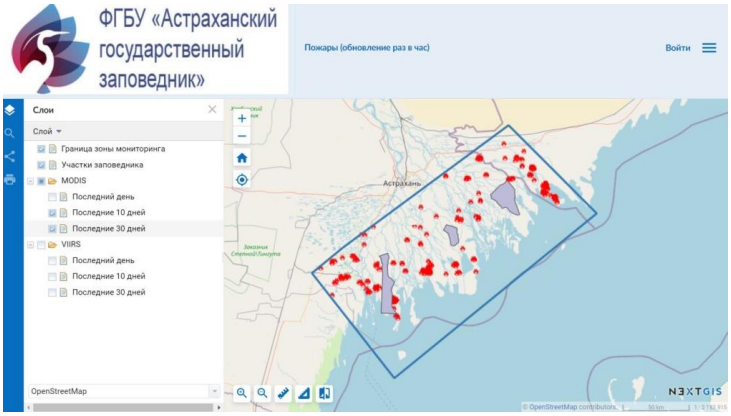


Рис. 1. Мониторинг риска возникновения пожаров в Астраханском заповеднике
Fig. 1. Monitoring of fire risk in the Astrakhansky Reserve

Решения NextGIS также используют государственные ведомства, деятельность которых связана с подконтрольными территориями. Так, министерство природных ресурсов Бурятии развернуло на базе NextGIS геоинформационный портал «Природа Бурятии» с сервисом мониторинга пожаров, продемонстрированным на рисунке 2. Обзор современных веб-ГИС решений по охране природы дан в работе [4].

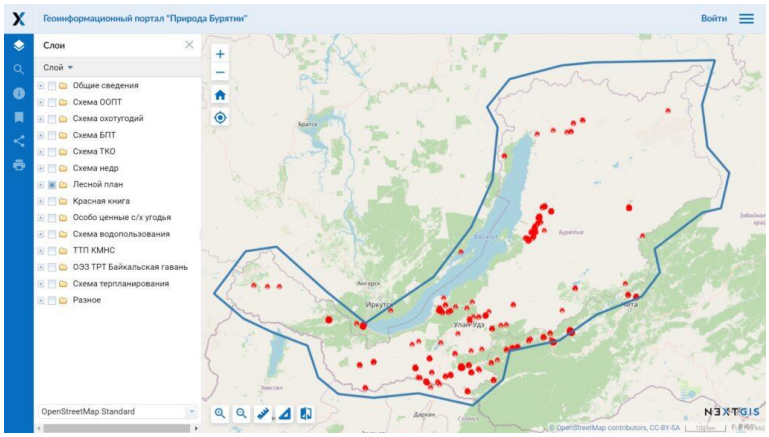


Рис. 2. Сервис мониторинга пожаров для геопортала «Природа Бурятии»
Fig. 2. Fire monitoring service for the Buryatia Nature geoportal

Кроме того, энергетическим компаниям требуется следить за очагами возгораний, так как пожары – это прямая угроза линиям электропередач (ЛЭП) и другим объектам энергетической инфраструктуры. В особенности, если ЛЭП пролегают через малопосещаемые лесные районы. Так, для своевременного реагирования на пожары в Сибирско–Уральской энергетической компании (СУЭНКО) решили подключить сервис мониторинга ландшафтных пожаров в Веб–ГИС для определения потенциальной угрозы повреждения объектов электроэнергетики, расположенных в районах пожаров, что представлено на рисунке 3.

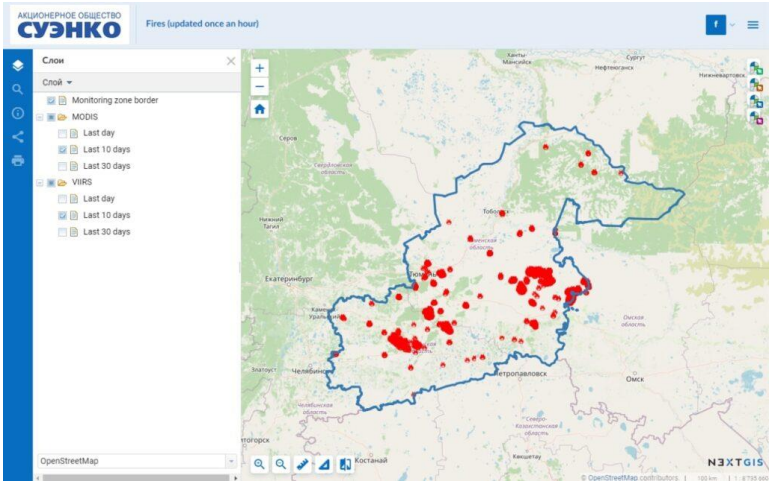


Рис. 3. Сервис мониторинга ландшафтных пожаров в СУЭНКО
Fig. 3. Forest fire monitoring service in SUEENCO

Функция мониторинга ландшафтных пожаров интегрирована в общественный некоммерческий IT–проект «Ясный горизонт» [5]. Одна из задач проекта – получение оперативной информации о пожарах с использованием дистанционных средств и полевых работ. В геопортал проекта стекаются данные о пожарах из разных источников. Один из источников – сервис мониторинга природных пожаров. Функция внедрена в систему таким образом, чтобы при просмотре данных о пожаре можно было определить категорию, статус и административно–территориальную принадлежность территории, как это показано на рисунке 4.

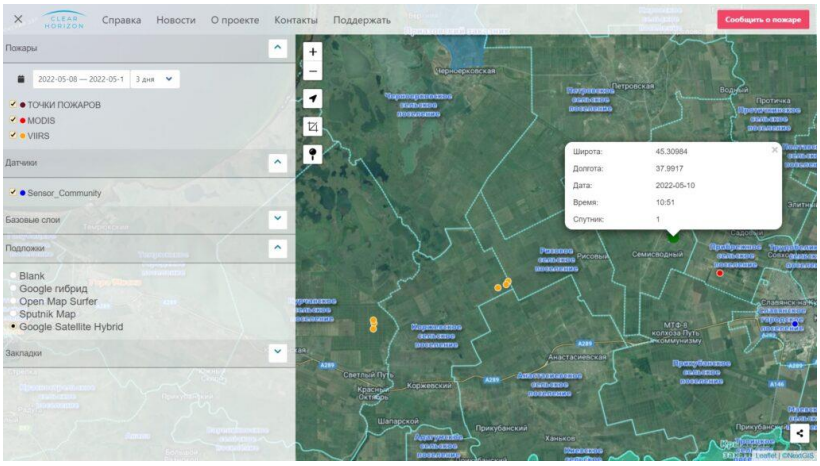


Рис. 4. Сервис мониторинга природных пожаров в общественном проекте
Fig. 4. Natural fire monitoring service in a public project

Существуют также инструменты информационно–аналитического мониторинга и прогнозирования ландшафтных пожаров (ИАМП), которые объединяют в себе специализированные базы данных, системы сбора и анализа информации, системы информатизации, системы прогнозирования пожаров и другие средства, которые позволяют получать оперативную информацию о пожарах в лесах, а также эффективно управлять пожароопасной ситуацией.

Таким образом, применение ГИС–технологий в мониторинге возникновения ландшафтных пожаров позволяет существенно экономить время при оценке обстановки для принятия решения, что позволяет избежать колоссального ущерба, разрушений и жертв [6].

Обзор методик оценки рисков возникновения ландшафтных пожаров

Существующие методики оценки рисков пожарной опасности в зависимости от конкретных условий и задач можно разделить на [7, 8]:

1. *Индекс пожарной опасности* для оценки вероятности возгорания, основывающийся на метеорологических данных: температуре, влажности, осадках, скорости ветра. Такой индекс учитывает специфику горючих материалов в разных ландшафтах. Например, индекс McArthur Forest Fire Danger Index (FFDI) для оценки пожарной опасности в Австралийских саваннах, который объединяет показатели сухости, основанные на осадках и испарениях.

2. *Статистические (эмпирические) модели*, как правило, сосредоточенные на анализе исторических данных о пожарах, выявлении корреляций с факторами риска, такими как тип растительности, близость к населенным пунктам, транспортная инфраструктура [9], рельеф. В качестве методов статистического анализа для построения предсказательных моделей применяются логистическая регрессия и анализ ближайших соседей. Например, Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов им. А. С. Исаева Российской академии наук ЦЭПЛ РАН использует пространственный и сетевой анализ в ГИС–системах в ряде работ [10,11]. Точность моделей определяется доступностью данных о пожарах.

3. *Модели распространения огня,* моделирующие динамику распространения пожаров в зависимости от топографии, метеоусловий и характеристик растительности. Например, модели Fire Area Simulator (FARSITE) и FlamMap широко используются в США и других странах для планирования мероприятий по предотвращению и тушению пожаров, но требуют адаптации для разных типов ландшафтов. Существуют также модели, учитывающие специфику горения травяной растительности (например, BEHAVEPlus, GrassFire), но их применение ограничено конкретными регионами и типами растительности.

4. *Многокритериальный анализ,* объединяющий различные факторы риска с помощью весовых коэффициентов, определяемых экспертами. Например, используются методы Analytic Hierarchy Process (AHP), Weighted Linear Combination (WLC). Применение этих методов для оценки рисков ландшафтных пожаров требует привлечения экспертов с опытом работы в

конкретных ландшафтных условиях. Однако существуют и примеры применения AHP для оценки рисков пожаров в средиземноморских ландшафтах.

5. *Машинное обучение*, в частности *алгоритмы машинного обучения,* использующиеся для прогнозирования вероятности возникновения ландшафтных пожаров на основе больших объемов данных (Big Data), включая спутниковые снимки, метеорологические данные и информацию о землепользовании. На данном подходе применяется метод Random Forest, а также сверточные нейронные сети (CNN) [12]. В настоящее время ведутся исследования по применению глубокого обучения для распознавания предвестников пожаров на спутниковых снимках.

Критерии определения эффективности существующих методик включают [13]:

- *Точность прогноза,* показывающую насколько эффективно методика предсказывает возникновение пожаров и оценивается с помощью метрик, таких как Area Under the ROC Curve (AUC), точность, полнота, F–мера (гармоническое среднее значение точности и полноты);

- *Пространственное разрешение,* показывающее насколько детально методика оценивает риски на местности. Чем выше разрешение, тем точнее можно определить зоны повышенного риска.

- *Временное разрешение,* показывающее как часто обновляются данные и прогнозы. Для оперативного реагирования необходимо иметь актуальную информацию.

- *Доступность данных,* определяющуюся тем, насколько легко и быстро можно получить необходимые данные для применения методики.

- *Вычислительная сложность,* демонстрирующая сколько времени и ресурсов требуется затратить для расчета рисков.

Согласно научным публикациям [7, 8, 13], сравнивающим различные методики оценки рисков возникновения ландшафтных пожаров, предпочтительнее оказались более универсальные и точные методы, учитывающие специфику различных ландшафтных условий. Чтобы определить такую методику, особое внимание следует уделить сбору и анализу данных, репрезентативных для разных типов ландшафтов, и интеграции различных подходов для более комплексной оценки рисков. Так, калифорнийский департамент лесного хозяйства и пожарной охраны California Department of Forestry and Fire Protection [14], в просторечии известный как CAL FIRE [15], использует нейронную сеть, чтобы просмотреть исторические данные о пожарах в Калифорнии, а затем строить картины пожаров на основе предыдущих событий. CAL FIRE отвечает за противопожарную защиту в различных районах, находящихся в ведении штата, общей площадью 31 миллион акров, а также за управление частными и общественными лесами штата. Кроме того, департамент предоставляет различные экстренные услуги в 36 из 58 округов штата по контрактам с местными органами власти. Среди прочего, CAL FIRE фиксирует периметр инцидента: периметры являются обобщёнными и не обязательно указывают на то, что строения в пределах границ были повреждены или разрушены; формирует приказ правоохранительных органов об эвакуации при непосредственной угрозе жизни; предупреждает об эвакуации при потенциальной угрозе жизни и/или имуществу тех, кому требуется дополнительное время для эвакуации, а также тех, у кого есть домашние животные и скот; вносит предупреждение «Красный флаг» Национальной метеорологической службы, указывающее на высокие температуры, очень низкую влажность и сильный ветер, которые в совокупности могут привести к повышенному риску возникновения пожаров. Так, на рисунке 5, зелёными огнями обозначены предписанные пожары, спрогнозированные нейросетью, на основе предыдущих пожаров, красными огнями – пожары на площади не менее 10 акров.

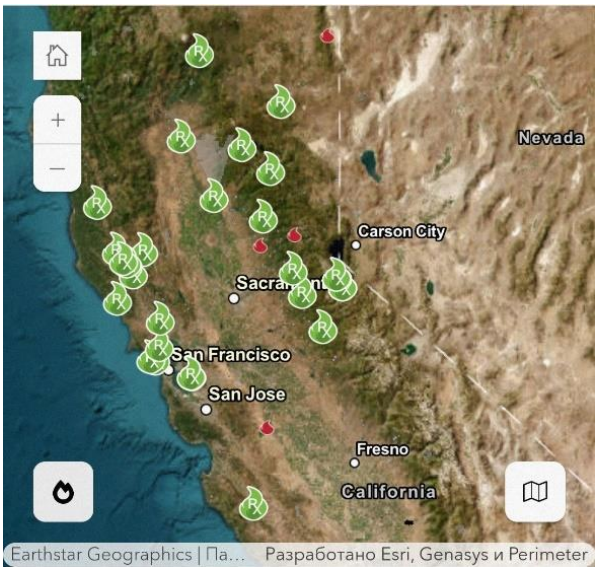


Рис. 5. Калифорнийский департамент лесного хозяйства и пожарной охраны
Fig. 5. California Department of Forestry and Fire Protection

Таким образом, учитывая всё вышеперечисленное, на данный момент наиболее эффективными считаются модели машинного обучения и модели распространения огня, особенно при их интегративном применении [12]. Например, модель могла бы использовать данные метеорологических моделей в сочетании с моделями поведения огня для прогнозирования того, как быстро пожар будет распространяться и каким будет его интенсивность в зависимости от факторов окружающей среды. Машинное обучение позволяет учитывать большое количество факторов и выявлять сложные взаимосвязи, поэтому такой подход зачастую используется для долгосрочного планирования, основанного на статистических моделях. Модели же распространения огня дают возможность прогнозировать динамику пожара. Для оперативного прогнозирования пожарной опасности могут быть более подходящими индексы, основанные на метеорологических данных. Многокритериальный анализ также эффективен, но требует привлечения экспертов для определения весов критериев, что значительно замедляет расчёт рисков.

Заключение

В результате исследования становится ясно, что для сложного и многокомпонентного процесса, к которому относится возникновение ландшафтных пожаров, требуется формирование комплексного подхода с применением современных геоинформационных технологий и методов прогнозирования, что может существенно улучшить способы борьбы с распространением ландшафтных пожаров. Нейронные сети, геоинформационные системы и спутниковые данные позволяют создавать более точные модели и прогнозы, что помогает быстрее и эффективнее реагировать на возникновение и распространение пожаров.

Рассмотрев различные модели, можно говорить о том, что под конкретные задачи требуются разные подходы к прогнозированию ландшафтных пожаров. Произведенная классификация поможет точнее понимать и ориентироваться в использовании той или иной модели прогнозирования ландшафтных пожаров в дальнейших исследованиях.

Методы и модели, рассмотренные в данной статье, планируется применить в дальнейшем для разработки новой методики оценки рисков возникновения ландшафтных пожаров, учитывающей специфику природных условий Красноярского края, основанной как на анализе существующих методик, так и на проведённом исследовании с акцентом на построении сценариев рисков, развитии возможных чрезвычайных ситуаций, связанных с ландшафтными пожарами, с целью последующего использования в аналогичных условиях в других регионах.

Список источников

1. *Бокадаров С. А., Гудков М. А., Щербаченко Д. Г.* Применение ГИС–технологий в целях оперативного обнаружения ландшафтных пожаров и слежения за лесопожарной обстановкой // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2015. – № 1 (6). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie–gis–tehnologiy–v–tselyah–operativnogo–obnaruzheniya–lesnyh–pozharov–i–slezheniya–za–lesopozharnoy–obstanovkoy
2. *Осипов В. Ю.* Комплексная модель мониторинга ландшафтных пожаров // Молодой ученый. – 2022. – № 51 (446). – 629–632 с. – URL: https://moluch.ru/archive/446/97937/
3. Как применяют сервис мониторинга пожаров в Веб–ГИС [Электронный ресурс] // NextGIS. Платформа для работы с геоданными. – 2022. – URL: https://nextgis.ru/blog/fire_monitoring_cases/ (дата обращения: 25.04.2025).
4. *Плотникова А. С., Хамедов В. А., Архипцева Е. А., Подольская Е. С., Нарыкова А. Н., Алексеев А. Б.* Обзор российских геоинформационных сервисов природоохранной тематики на основе открытого программного обеспечения // Геоинформатика. - 2024. - № 4. - 4–20 с. – DOI: https://doi.org/10.47148/1609-364X-2024-4-4-20
5. «Ясный горизонт» — мониторинг пожаров и автоотчеты [Электронный ресурс] // NextGIS. Платформа для работы с геоданными. – 2020. – URL: https://nextgis.ru/blog/clear–horizon/ (дата обращения: 25.04.2025).
6. *Родионов А. М., Иванов С. А.* Анализ современных моделей и информационных систем при прогнозировании и мониторинге ландшафтных пожаров // Экономика. Информатика. – 2023. – № 4. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz–sovremennyh–modeley–i–informatsionnyh–sistem–pri–prognozirovanii–i–monitoringe–lesnyh–pozharov
7. *Осипов В. Ю.* Современные методы прогнозирования, мониторинга и профилактики ландшафтных пожаров // Молодой ученый. – 2022. – № 51 (446). –626–629 с. – URL: https://moluch.ru/archive/446/97936/
8. *Пичейкин А. Н., Кулагин В. С.* Методы мониторинга ландшафтных пожаров // Аспирант. – 2021. – № 3 (60). – 188–190 с. – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=45604342
9. *Podolskaia E., Ershov D., Kovganko K.* Spatial evaluation and modelling of fire stations layout to access forest fires by roads (case study: Krasnoyarsk region, Russia). European Journal of Forest Engineering. - 2024. 10(2). - 112–122 p. – DOI: https://doi.org/10.33904/ejfe.1517778
10. *Подольская Е. С., Ершов Д. В., Ковганко К. А.* Инфраструктурное зонирование территории для определения связей с лесными пожарами (на примере Красноярского края, Россия) // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы VIII Всерос. науч.–техн. конф. (Санкт–Петербург, 24–26 мая 2023 г.). – Санкт–Петербург: СПбГЛТУ, 2023. – 330–333 с. – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=wqxbul
11. *Akay, A.E., Podolskaia, E.S., Aricak, B.* (2022). Spatial modeling of transport and resources accessibility for protecting forest ecosystems against forest fires. In: Suratman, M.N. (eds) Concepts and Applications of Remote Sensing in Forestry. Springer, Singapore. pp. 99–114. – DOI: https://doi.org/10.1007/978–981–19–4200–6_5
12. *Станкевич Т. С.* Разработка метода оперативного прогнозирования динамики развития лесного пожара посредством искусственного интеллекта и глубокого машинного обучения // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2018. – Т. 22, № 9. – С. 111–120. – DOI: https://doi.org/10.21285/1814–3520–2018–9–111–120
13. *Долгов А. А., Сумина Е. Н.* Методология оценки лесопожарных рисков – основа поддержки принятия решений в кризисных ситуациях, вызванных лесными пожарами // Технологии гражданской безопасности. – 2007. – № 3. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/metodologiya–otsenki–lesopozharnyh–riskov–osnova–podderzhki–prinyatiya–resheniy–v–krizisnyh–situatsiyah–vyzvannyh–lesnymi–pozharami
14. *Podolskaia E. S.* Fire stations in the forestry around the world: data, infrastructure and features to manage forest fires // Proceedings, 9th International Conference on Cartography and GIS, 16–21 June 2024, Nessebar, Bulgaria ISSN: 1314–0604, Eds: *Bandrova T., Konečný M., Marinova S.* pp. 646–654. – URL: https://iccgis2024.cartography–gis.com/proceedings/
15. CAL FIRE – California Department of Forestry and Fire Protection [Электронный ресурс]. – URL: fire.ca.gov (дата обращения: 25.04.2025).

ROLE OF GIS IN PROACTIVE MONITORING AND RISK ASSESSMENT OF LANDSCAPE FIRES

D.O. Morozova[1], V.M. Mikhailov[2], E.S. Podolskaia[3]
[1–2] MIREA – Russian University of Technology (Moscow, Russia),
[3] Isaev Centre for Forest Ecology and Productivity of the Russian Academy of Sciences (CEPF RAS)
[1] stowberry@mail.ru, [2] mihajlov@mirea.ru, [3] podols_kate@mail.ru

Abstract

Paper deals with the actual problem of proactive approach in the fire safety management based on monitoring and assessment of landscape fire risks in order to subsequently prevent and minimize economic, environmental and social damage through the changes in the quality of environment and life, efficiency of population and increase in economic risks. The main problems of forest fire emergency control in organizational and technical aspects are investigated. An analysis of problems in the field of forest pyrology based on the principles of system approach and methods of logical analysis and synthesis of ongoing processes indicates the need to develop modern approaches to the organization of the fight against forest fires of different types, which are often sources of forest fire emergencies of different scales. In order to prevent landscape fires, it is necessary to use modern technologies, which at present are various software products developed on the basis of geographic information system (GIS). The problematics of forest fire emergencies (FFE) management is a complex of major scientific problems that require comprehensive research and include a number of basic aspects related to monitoring and forecasting, as well as planning and implementation of forest fire prevention and suppression activities. The aim of the study is to evaluate the contribution of GIS in proactive monitoring of landscape fire risks. The composition of parameters to be taken into account in the development of fire hazard forecasting methodology for geocomplexes was determined, application of neural networks for fire forecasting and monitoring, as well as foreign experience in monitoring and forecasting forest fires were considered. There are many methods of forest fire extinguishing characterized by varying degrees of efficiency, environmental friendliness, cost–effectiveness and efficiency, which have been worked out in practice over a long period of time. The results of the study identify the most effective methods from the existing landscape fire risk assessment methodologies used by forest fire centers for fire forecasting, which is important to evaluate the effectiveness of application and productivity of the existing fire risk assessment methodologies.

Keywords

GIS, landscape fires, monitoring, risk assessment, forecasting, neural networks.

Acknowledgement

Authors thank Isaev Center for Forest Ecology and Productivity of the Russian Academy of Sciences (CEPF RAS) for supporting their research by the state funding contract in 2024–2026 "Biodiversity and ecosystem functions of forests", registration number № 124013000750–1.

УДК 621.396.6

АВТОНОМНАЯ НАВИГАЦИЯ ПО ЗВЕЗДАМ ДЛЯ МАРСОХОДОВ И ПЛАНЕТАРНЫХ ДРОНОВ

Е.А. Максаева[1]
[1] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] ekaterinamaksaeva33@gmail.com

Аннотация

Постановка проблемы. В современном мире Марс — единственная планета, которую люди могут посетить или заселить в долгосрочной перспективе, но до сих пор точной, автономной, не требующей большого количества энергии и определяющей абсолютные координаты на поверхности планеты навигации на Марсе нет. Навигация дронов и марсоходов в условиях отсутствия GPS требует альтернативных методов позиционирования, но многие из них, работающие на Земле, имеют существенные ограничения, особенно в условиях удаленных и слабоизученных регионов.

Цель. Разработать алгоритм автономной навигации по звездам, обеспечивающий точность определения координат в пределах 0.1° при минимальных вычислительных затратах.

Результаты. Теоретически разработан алгоритм астронавигации для автономного ориентирования планетарных аппаратов на Марсе. Алгоритм основан на анализе изображений звездного неба, полученных с бортовой камеры, и использовании астрометрических вычислений для определения координат аппарата. Проведенный анализ существующих методов навигации показал их ограничения в условиях марсианской поверхности, особенно для дронов, не оставляющих следов.

Практическая значимость. Полученные результаты могут использоваться для исследовательских космических миссий, арктических дронов и подводных аппаратов.

Ключевые слова

Метод параллактических треугольников, идентификация звезд, звездный каталог, долгота, широта, координаты наблюдателя.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Крушение дрона Ingenuity в 2024 году из-за ошибок визуальной одометрии подтвердило необходимость альтернативных методов навигации. Определение собственного положения очень важно не только для документирования координат различных научных находок, но и для того, чтобы экипаж не заблудился. Для марсоходов энергия очень важна, поэтому их программное обеспечение нуждается в энергосберегающей автономной навигационной системе. Именно астрономическая навигация подходит для машин на дальних планет, ведь используемая на Земле GPS - спутниковая система навигации на Марсе возможна при огромных затратах.

Ц е л ь р а б о т ы – разработка алгоритма автономной астрономической навигации для дронов и марсоходов, работающего на анализе снимков звездного неба, полученных с бортовой камеры дрона.

Разработка алгоритма

Метод определения координат местности по фотографии звездного неба:

- Запись точной даты и времени съемки;
- Идентификация звезд на фотографии (минимум 5–6 хорошо различимых звезд);
- Сопоставление со звездными каталогами;
- Определение азимута и высоты звезд (перевод углов между звездами на фотографии в угловые величины, посредством знаний параметров камеры);
- Решение системы уравнений (сравнение измеренных углов между звезд с рассчитанными положениями звезд различных карт местности);
- Определение широты и долготы.

Идентификация звезд по фотографии

Идентификация звезд на фотографии звездного неба с помощью звездного каталога — это задача астрометрии, требующая нескольких этапов обработки и сопоставления данных. Вот пошаговое описание процесса:

- Предварительная обработка изображения:

Калибровка: необходимо знать параметры камеры (фокусное расстояние, искажения объектива и т.д.), чтобы преобразовать пиксельные координаты на изображении в угловые координаты на небесной сфере. Характеристики ПЗС-камеры и объектива:

1.Высокочувствительный фотоприемник ПЗС;

2. АЦП, имеющий на выходе не менее 12 бит/пиксель;

3. Объектив с широким углом обзора – не менее 3 град.

Под требуемые характеристики подходит видеокамера «Видеоскан-205» в связке с объективом Navitar TV LENS, фокусное расстояние – 50 mm.

- Подавление шума: для повышения качества изображения следует применить методы подавления шума (например, медианную фильтрацию, wavelet-преобразование).

- Выделение звезд: необходимо выделить на изображении точки, соответствующие звездам. Для этого можно использовать алгоритмы обнаружения краев, пороговую обработку или методы сегментации изображений. Результатом этого этапа будет список координат (пиксельные координаты) потенциальных звезд.

По результатам работы “Идентификация звезд при определении астрономических координат автоматизированным зенитным телескопом” С.В. Гайворонского, Е.В. Русиной, В. В. Цодоковой алгоритм сравнения межзвездных угловых расстояний гораздо точнее и быстрее, так как он позволяет верно распознавать большее количество звезд и в несколько раз быстрее, чем алгоритм подобных треугольников. Однако особенностью алгоритма идентификации по межзвездным углам является зависимость от фокусного расстояния объектива, которое может изменяться вследствие влияния различных факторов, например перепадов температур. Результаты сравнения приведены на таблице 2.

Таблица 2. Результаты сравнения

Параметр	Алгоритм подобных треугольников	Алгортм межзвезных угловых расстояний
Количество верно опознанных звезд, %	99,00	99,15
Время обработки данных, с	4,60	0,54
Априорное знание фокусного расстояния	Не требуется	требуется

Алгоритм сравнения межзвездных угловых расстояний: идея данного алгоритма распознавания звезд основывается на вычислении угловых расстояний между звездами в наблюдаемой группе и сравнении этих расстояний с таковыми же, но вычисленными для звезд из каталога. По измерениям абсцисс x и ординат y энергетических центров изображений звезд. Далее идет сопоставление с каталогами: выбор звездного каталога зависит от требуемой точности и количества звезд. Широко используются каталоги Gaia, Hipparcos и другие.

Для каждой звезды на изображении необходимо найти ближайшую звезду в каталоге. Это задача поиска ближайшего соседа, которая может быть решена с помощью различных алгоритмов (например, k-d-дерево). Поиск ближайшего соседа требует сравнения угловых координат звезды на изображении и координат звезд в каталоге, изображение его работы приведено на рис. 1.

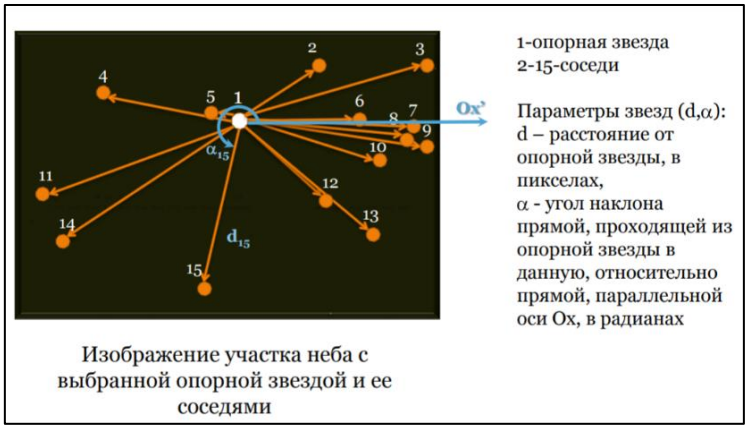


Рис. 1. Поиск ближайшего соседа
Fig. 1. Finding the nearest neighbor

Рассчитываются косинусы углов β_u и между направлениями на каждую пару отобразившихся звезд по формулам (1) и (2):

$$cos\beta_u = l_i \cdot l_j + m_i \cdot m_j + n_i \cdot n_j. \quad (1)$$

$$l = \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}; n = \frac{f}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}; m = \frac{f}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}, \quad (2)$$

где f – фокусное расстояние объектива бортовой камеры; i, j – порядковые номера звезд на изображении. Следует отметить, что при расчете косинусов углов β_u координаты (x, y) приводятся к центру фото-приемного устройства (x0, y0) (рис. 2).

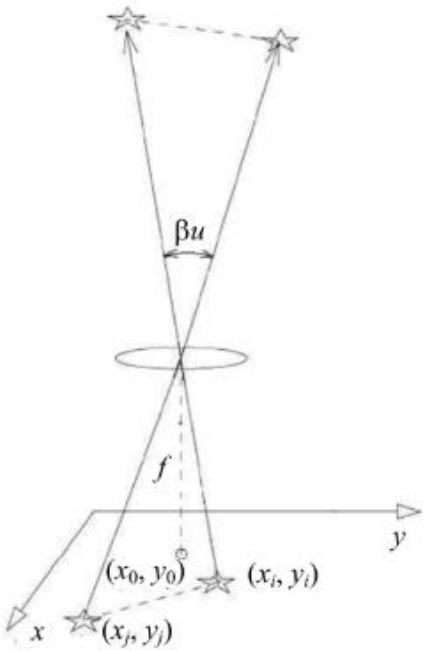


Рис. 2. Фото-приемное устройство
Fig. 2. Photodetector device

По данным каталога определяются угловые расстояния между парами звезд в виде косинусов этих расстояний, вычисленных по следующим формулам:

$$cos\beta_k = l_i \cdot l_j + m_i \cdot m_j + n_i \cdot n_j, \quad (3)$$

где i, j - порядковые номера звезд в каталоге, δ - склонение звезды, α - прямое восхождение звезды.

При работе алгоритма идентификации происходит сравнение измеренных косинусов углов βu для всех пар отобразившихся звезд с косинусами пар звезд βk из каталога и выбор звезд, для которых выполняется условие (4).

$$|cos\beta_u - cos\beta_k| < \xi, \quad (4)$$

где ε - допустимое расхождение между значениями косинусов, полученных по данным из каталога. и измеренными косинусами, обусловленное ошибками определения углов

Если выполняется условие (4), то звездная пара заносится в таблицу соответствий (рис. 3). Каждый раз, когда выполняется условие (4), звездной паре прибавляется 1 «голос». Пары звезд, набравшие наибольшее количество «голосов» после завершения процесса перебора, считаются соответствующими друг другу.

		Звезды на снимке									
Звезды в каталоге		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
	1	3	5	1	0	1	2	2	0	0	0
	2	13	56	1	0	0	0	0	2	1	0
	3	46	13	0	1	1	1	0	0	0	0
	4	2	6	1	5	0	2	4	0	0	0
	5	2	2	61	3	0	0	3	0	0	1
	6	2	4	1	2	0	2	0	0	0	1
	7	1	0	0	1	2	0	3	0	0	0
	8	5	1	1	0	2	1	0	0	0	1
	9	1	2	0	59	0	2	2	0	0	0
	10	1	1	1	0	0	0	2	1	0	0
	11	4	2	2	1	65	0	0	0	0	0
	12	0	3	0	4	0	55	3	2	1	0

Рис. 3. Таблица соответствий
Fig. 3. Correspondence table

После идентификации звезд из каталога мы получаем данные, нужные для решения параллактического треугольника, что дает нам координаты наблюдателя.

Вычисление координат наблюдателя

Наиболее точным методом определения координат по небесным телам является навигационный треугольник, называемого также «параллактическим треугольником» (или «PZX-треугольником»). При известных в один момент времени направлениях на полюс (P), на зенит (Z) и на какое-либо светило (X) поиск соответствующих координат точки на земном шаре даёт единственный ответ.

Описание метода параллактического треугольника для вычисления координат наблюдателя на основе работы В. Н. Шивринского и О. В. Горшкова “Решение параллактического треугольника светила” 2005[3], в которой рассмотрено решение параллактического треугольника светила для определения курса и координат местонахождения летательного аппарата в ночное время по двум светилам и в дневное время по Солнцу.

Параллактическим треугольником PNZC (рис. 4) называют сферический треугольник, сторонами которого являются: дуга небесного меридиана PNZ, дуга вертикали светила ZC и дуга круга склонения PNC.

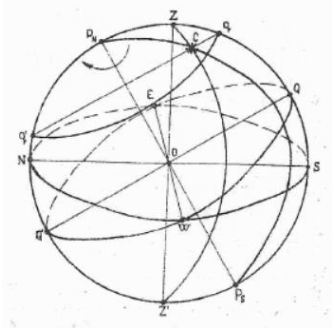


Рис. 4. Параллактический треугольник PNZC
Fig. 4. The parallactic triangle PNZC

Высота полюса мира PN над горизонтом. равна широте места наблюдателя, а дуга PNZ дополняет широту места до 90°. Дугами ZC и PNC измеряются соответственно зенитное и полярное расстояния. Угол PN равен местному часовому углу светила, угол t дополнению азимута светила до 360°, угол C называют параллактическим углом и обозначают φ. В зависимости от координат летательного аппарата и светила параллактический треугольник может иметь вид, представленный на рис.2, где приняты следующие обозначения:

φ - широта места наблюдателя; t - часовой угол (tE восточный часовой угол), Aπ - западный азимут (A- азимут), h - высота, δ - склонение светила.

Если часовой угол западный, то азимут светила отсчитывается в западном направлении (рис.5. а). При восточном часовом угле азимут светила тоже восточный (рис. 5. б).

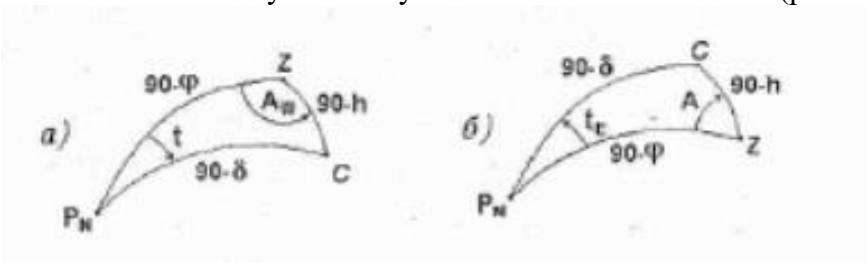


Рис. 5. Азимут светила

Fig. 5. Azimuth of the luminary

При заданных значениях широты и долготы места наблюдателя, звездного гринвического времени Sгр, прямого восхождения α и склонения δ светила значение высоты будет определяться уравнением (5):

$$\sin h = sin\varphi \cdot sin\delta + cos\varphi \cdot cos\delta \cdot (S_{\text{гр}} - \alpha + \lambda) \quad (5)$$

Предварительное значения азимута A1 светила определяется по формуле (6):

$$A_1 = arctg\left(sint \cdot \frac{cos\delta}{B_1}\right), \quad (6)$$

где t - часовой угол светила.

$$t = S_{\text{гр}} - \alpha + \lambda. \quad (7)$$

$$B_1 = cos\varphi \cdot sin\delta - sin\varphi \cdot cos\delta \cdot cost. \quad (8)$$

Теперь нужно определить квадрант азимута светила A по предварительному вычислению A_1, для этого необходимо воспользоваться таблицей (табл.2).

Таблица 2. Определение квадрата азимута светила

Знаки		Азимут A
B_1	sin(t)	
+	+	$2\pi - A_1$
-	+	$\pi - A_1$
-	-	$\pi - A_1$
+	-	$-A_1$

Нахождение широты наблюдателя φ в формуле (9):

$$\varphi = \arcsin\left(\frac{sin\delta}{\sqrt{sin^2 h + cos^2 h \cdot cos^2 A}} - arctg\left(cosh \cdot \frac{cosA}{sinh}\right)\right). \quad (9)$$

$$\lambda = t + \alpha - S_{\text{гр}}, \quad (10)$$

где $t = 360 - t_E$.

Заключение

В ходе данной работы был теоретически разработан алгоритм астронавигации для автономного ориентирования планетарных аппаратов на Марсе. Алгоритм основан на анализе

изображений звездного неба, полученных с бортовой камеры, и использовании астрометрических вычислений для определения координат аппарата. Проведенный анализ существующих методов навигации показал их ограничения в условиях марсианской поверхности, особенно для дронов, не оставляющих следов.

Разработанный алгоритм включает в себя этапы предварительной обработки изображения, распознавания звезд с использованием звездного каталога, астрометрических вычислений и учета влияния марсианской атмосферы. В рамках работы были рассмотрены различные методы и алгоритмы, и обоснован выбор оптимальных решений. Теоретическая оценка показывает высокий потенциал для достижения высокой точности определения координат.

Однако, важно отметить, что разработанный алгоритм был проверен лишь теоретически. Для полной оценки его эффективности необходимы экспериментальные исследования с использованием реальных данных и прототипа системы. Дальнейшие работы будут направлены на проведение экспериментального тестирования, оптимизацию алгоритмов с учетом ограниченных вычислительных ресурсов бортового компьютера и разработку прототипа системы для реальных условий на Марсе. Результаты этого исследования показывает перспективность использования астронавигации для улучшения автономности и возможностей планетарных аппаратов.

Полученные результаты подтверждают теоретическую осуществимость предлагаемого метода, но требуют дальнейшей практической проверки для полной оценки его эффективности и надежности в реальных условиях.

Список источников

1. *Абалакин В. К., Краснорылов И. И., Плахов Ю. В.* Геодезическая астрономия и астрометрия (1996) -425с.
2. *Красавцев Б. И.* - Мореходная астрономия (1978) - 102 с.
3. *Сурдин В.Г..* - Звёзды Изд. 2-е, испр. и доп. М.: Физ-матлит, 2009. 428 с.
4. *Форсайт Д., Понс Ж.* - Компьютерное зрение. Современный подход, 2004, 928 с.
5. *Оливер Монтебрук, Томас Пфлегер,* - Астрономия на персональном компьютере, 2002, 302 с.
6. *Н. Л. Астахова, В. А. Лукашов* - Дроны и их пилотирование. С чего начать, 2021. - 224 с.
7. *Мар тин Догерти (пер. с англ. В. Бычковой, Д. Евтушенко,* - Дроны: первый иллюстрированный путеводитель по БПЛА (Москва) 2017.-224 с.
8. *Мизерницкий А.И.,*- Навигация,- 1963.- 526 с.
9. *Michael H. Carr*,- The surface of Mars,- 2007.-307 с.
10. *David S. F. Portree*, - Humans to Mars,- 2001,-152 с.

AUTONOMOUS STAR NAVIGATION FOR MARS ROVERS AND PLANETARY DRONES

E.A. Maxaeva[1]
[1]MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] ekaterinamaksaeva33@gmail.com

Abstract

In the modern world, Mars is the only planet that humans can visit or inhabit in the long term, but there is still no accurate, autonomous, energy—efficient navigation on Mars that determines absolute coordinates on the surface of the planet. Navigation of drones and rovers in the absence of GPS requires alternative positioning methods, but many of them operating on Earth have significant limitations, especially in remote and poorly explored regions. An astronavigation algorithm has been theoretically developed for the autonomous orientation of planetary vehicles on Mars. The algorithm is based on the analysis of images of the starry sky obtained from the onboard camera and the use of astrometric calculations to determine the coordinates of the device. The analysis of existing navigation methods has shown their limitations in the conditions of the Martian surface, especially for drones that leave no traces. The results obtained can be used for research space missions, Arctic drones and underwater vehicles.

Keywords

Method of parallactic triangles, identification of stars, star catalog, longitude, latitude, coordinates of the observer.

УДК 528.77

ТЕХНОЛОГИЯ ДЕШИФРИРОВАНИЯ И КАРТОГРАФИРОВАНИЯ РАЗЛИВОВ МАЗУТА В АКВАТОРИИ ЧЁРНОГО МОРЯ

Р.Л. Рыбко[1], С.О. Ануфриев[2]
[1–2] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] rl.rybko@yandex.ru, [2] soanufriev@yandex.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Разливы нефтепродуктов на поверхности морей и океанов давно перестали быть редким явлением. В связи с этим требуется оперативный мониторинг, в том числе с применением космических снимков среднего пространственного разрешения, находящихся в открытом доступе.

Цель. Разработка технологии дешифрирования разливов мазута и других нефтепродуктов по космическим снимкам и картографирования акваторий, подверженных разливам.

Результаты. В ходе работы решены задачи по выявлению пятен мазута на акватории Чёрного моря в различных каналах мультиспектрального снимка, дешифрированию, классификации концентрации и картографированию.

Практическая значимость. Технология может применяться для оценки площади и концентрации разлива, что позволит предсказывать последствия и принимать соответствующие меры по снижению их влияния.

Ключевые слова

Атмосферная коррекция, ГИС, дешифрирование, картографирование, классификация, мультиспектральный космический снимок, космический аппарат, технология

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Разливы мазута представляют собой серьезную экологическую угрозу, способную вызвать долгосрочные негативные последствия для водных экосистем и окружающей среды. При попадании в водоем мазут образует плёнку на водной поверхности, которая может сжиматься под воздействием ветра или растекаться в условиях спокойной погоды. Часть вещества осаждается на дно, где оно может оставаться на протяжении десятилетий, отравляя донные отложения и угрожая морской жизни, постепенно выходя из отложений в воду, являясь источником вторичных загрязнений. По степени воздействия мазут является малоопасным веществом для человека и относится к 4-му классу опасности нефтепродуктов, однако пары мазута обладают высокой токсичностью и оказывают отравляющее действие на живой организм. В продуктах сгорания мазута содержатся углекислый газ, оксиды азота и углерода, сера и метан. Пары попадают через органы дыхания, раздражают слизистые оболочки и глаза. Они действуют как наркотические вещества и поражают центральную нервную систему, повышая возбудимость, вызывая общую слабость, головокружение и увеличивая пульс.

В данной статье представлена технология дешифрирования и картографирования разливов нефтепродуктов (в частности мазута) на поверхности Чёрного моря по космическим мультиспектральным снимкам с космических аппаратов (КА) «Landsat-8» и «Landsat-9» с использованием геоинформационной системы (ГИС) QGIS.

Технология решения

Основной целью работы является разработка технологии создания карт разливов мазута по состоянию на различные даты, например, в течение месяца с даты аварии (15 декабря 2024 г.). В ходе работы решались такие задачи, как выявление пятен мазута на акватории Чёрного моря в различных каналах мультиспектрального снимка, дешифрирование, классификация концентрации и создание электронных карт. Данная технология может применяться для оценки площади и концентрации разлива, что позволит предсказывать последствия и принимать соответствующие меры по снижению их влияния.

Стоит также учитывать, что влага в небольшом количестве способствует распылу мазута и улучшает характеристики воспламенения.

Общая технология выполнения исследования включала в себе несколько этапов:

1. Подготовительный этап (создание картографической основы и поиск снимков).
2. Предварительная обработка снимков (атмосферная коррекция, объединение растров, обрезание по маске).
3. Классификация пикселей для создания условной концентрации.
4. Создание картографических произведений.

Первый этап начался с формирования картографической основы. Для этого в ГИС «QGIS» использовался модуль «Поиск в OSM», предоставляющий доступ к открытым пространственным векторным данным. В проект были добавлены векторные слои акватории Чёрного и Азовского морей, территории суши зарубежных стран (Украина, Румыния, Абхазия, Грузия, Турция), а также часть территории России, прилегающая к Чёрному морю (Краснодарский край, Республика Адыгея, Республика Крым, Херсонская область). В целях улучшения восприятия, моря были раскрашены в оттенках синего, а разные страны были раскрашены при помощи модели HSV в различные цвета со значениями яркости и насыщенности в 100%.

Для выполнения работы были подобраны снимки с КА «Landsat» серий 8 и 9. Он имеет характеристики, указанные в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Характеристики космического аппарата «Landsat-8»

Наименование КА	Landsat-8
Страна	США
Разработчики	Orbital Sciences Corporation (OSC, быв. General Dynamics Advanced Information Systems); Ball Aerospace
Оператор	NASA, USGS (США)
Дата запуска	11.02.2013
Ракета-носитель (РН)	Atlas 5
Орбита:	Солнечно-синхронная
высота, км	705
наклонение, град	98,2
период обращения, мин	98,9
количество витков в сутки	14,6
время пересечения экватора, час	10:05
Срок активного существования, лет	5
Мощность, Вт	4300
Масса КА, кг	2623
Период повторного наблюдения	16 суток

Таблица 2. Характеристики съёмочной аппаратуры КА «Landsat-8»

Наименование съемочной аппаратуры	OLI и TIRS
Число элементов линейки	6000 (OLI; 18000 PAN), 1500 (TIRS)
Динамический диапазон, бит	12
Разрешение на местности, м	15 (PAN), 30 (VNIR, SWIR), 100 (TIR)
Ширина полосы съемки, км	185
Скорость передачи данных, Мбит/сек	265(OLI), 26,2(TIRS)

КА «Landsat» имеет следующие важные преимущества для решаемых в работе задач.

1. Данные бесплатны и имеются в открытом доступе.
2. Большое покрытие каждого снимка. В некоторых ситуациях достаточно одного снимка для исследования территории.
3. Достаточно высокое пространственное разрешение в рамках успешного выполнения нашей задачи.
4. Данные откалиброванные, что обеспечивает сопоставимость данных во времени.

5. Большой спектр инструментов и плагинов, которые умеют работать со снимками данной системы в автоматическом режиме.

Поиск снимков Landsat осуществлялся при помощи сайта Геологической службы США USGS Earthexplorer. Для поиска были указаны границы Чёрного моря, выставлены необходимые даты с 15.12.24 до 15.01.25, максимальная облачность 20%, уровень обработки снимков – level 2. Из найденных материалов были дополнительно отобраны снимки для оптимального охвата области интереса с минимальной облачностью (таблица 3).

Таблица 3. Выбранные снимки на область интереса

№	Идентификатор снимка	Дата съёмки	Облачность, %	Координаты центра
1	LC09_L2SP_179029_20241220_20241221_02_T1	2024/12/20	0.34	44°36'28.80"N 31°36'24.48"E
2	LC09_L2SP_179028_20241220_20241221_02_T1	2024/12/20	0.33	46°01'46.52"N 32°07'23.74"E
3	LC09_L2SP_175030_20241224_20241225_02_T2	2024/12/24	1.13	43°11'06.11"N 37°17'11.15"E
4	LC09_L2SP_175029_20241224_20241225_02_T1	2024/12/24	9.22	44°36'28.76"N 37°46'58.33"E
5	LC09_L2SP_176029_20241231_20250107_02_T1	2024/12/31	15.48	44°36'28.84"N 36°15'14.44"E
6	LC09_L2SP_174030_20250102_20250103_02_T1	2025/01/02	1.68	43°11'04.60"N 38°51'29.38"E
7	LC08_L2SP_173030_20250103_20250111_02_T1	2025/01/03	0.95	43°11'05.82"N 40°23'24.83"E
8	LC09_L2SP_177030_20250107_20250108_02_T2	2025/01/07	4.18	43°11'06.18"N 34°12'53.06"E
9	LC09_L2SP_177029_20250107_20250108_02_T1	2025/01/07	17.59	44°36'29.77"N 34°42'40.32"E
10	LC08_L2SP_174030_20250110_20250122_02_T1	2025/01/10	0.53	43°11'05.46"N 38°50'02.44"E
11	LC08_L2SP_174029_20250110_20250122_02_T1	2025/01/10	1.56	44°36'29.20"N 39°19'50.02"E
12	LC09_L2SP_173031_20250111_20250112_02_T1	2025/01/11	2.88	41°45'34.96"N 39°54'34.74"E
13	LC09_L2SP_173030_20250111_20250112_02_T1	2025/01/11	1.66	43°11'05.93"N 40°23'16.76"E

Второй этап начался с атмосферной коррекции снимков. Цель атмосферного исправления состоит в том, чтобы преобразовать произведенные спутником цифровые данные (DN) в абсолютные поверхностные коэффициенты отражения. Преобразование происходит за счет учета различных факторов во время атмосферной коррекции: поглощение излучения атмосферными газами, релеевское рассеяние, ослабление и рассеяние излучения аэрозолем и облачностью, процесс бокового подсвета (adjacency effect) с учетом рельефа местности и др. Однако снимки второго уровня обработки уже прошли базовую атмосферную коррекцию. В данной работе польза дополнительной атмосферной коррекции также заключается в удалении со снимков облаков и солнечных бликов, оставляя на снимке значения NoData, а также в нормализации значений коэффицента отражения. Дополнительная атмосферная коррекция в работе проводилась при помощи модуля «Semi-automatic classification». Плагин полностью автоматизирован для проведения атмосферной коррекции снимков Landsat, загрузив в инструмент «Image conversion» в меню «Preprocessing», по очереди папку с каждым из наших снимков, он автоматически определяет каждый канал и проводит коррекцию, складывая откорректированные результаты в отдельную папку.

Затем, при необходимости, надо использовать две следующие операции – «Слияние растров» и «Обрезать растр по маске». Наличие каждой из операций и их порядок выполнения определяют условия. Если на поставленную территорию дано несколько снимков на

акваторию Чёрного моря, то их необходимо слить в один растр, а затем обрезать по его маске, чтобы исключить сушу. Если дан один снимок, но он покрывает территорию, как Чёрного, так и Азовского морей, то сначала следует обрезать по маскам растр, а затем слить их в один. В целом, «Слияние растров» необходимо по нескольким причинам:

1. Нет необходимости проводить последующие операции для каждого снимка в отдельности;
2. Происходит сшивка растров, что в будущем положительно отразится на визуальном отображении;
3. Появляется возможность предварительно визуально оценить концентрацию. Для каждого снимка по отдельности QGIS применяет свои методы увеличения контрастности, из-за чего может возникнуть ситуация, при которой снимок, отображающий меньшую концентрацию, будет выглядеть ярче и контрастнее, чем тот, который отображает большую.

Дешифрирование снимков

Третий этап - самый важный в нашей работе. Мы должны провести классификацию пикселей для выявления и дешифрирования разливов мазута и создания его условной концентрации. Космический аппарат «Landsat 8» получает данные, используя два набора инструментов: Operational Land Imager (OLI) и Thermal InfraRed Sensor (TIRS), см. таблицу 4. Первый набор получает изображения в 9 диапазонах видимого света и ближнего инфракрасного излучения (ИК), второй набор - в 2 диапазонах дальнего (теплового) ИК-излучения [7].

Таблица 4. Характеристики спектральных диапазонов КА «Landsat-8»

Спектральный канал	Длины волн	Пространственное разрешение, м
Диапазоны OLI		
Канал 1 - Побережья и аэрозоли	0.433 - 0.453 мкм	30
Канал 2 - Синий	0.450 - 0.515 мкм	30
Канал 3 - Зеленый	0.525 - 0.600 мкм	30
Канал 4 - Красный	0.630 - 0.680 мкм	30
Канал 5 - Ближний ИК	0.845 - 0.885 мкм	30
Канал 6 - Ближний ИК	1.560 - 1.660 мкм	30
Канал 7 - Ближний ИК	2.100 - 2.300 мкм	30
Канал 8 - Панхроматический	0.500 - 0.680 мкм	15
Канал 9 - Перистые облака	1.360 - 1.390 мкм	30
Диапазоны TIRS		
Канал 10 - Дальний ИК	10.30 - 11.30 мкм	100
Канал 11 - Дальний ИК	11.50 - 12.50 мкм	100

Согласно исследованиям, наибольшее отражение происходит в синем канале (рисунок 1).

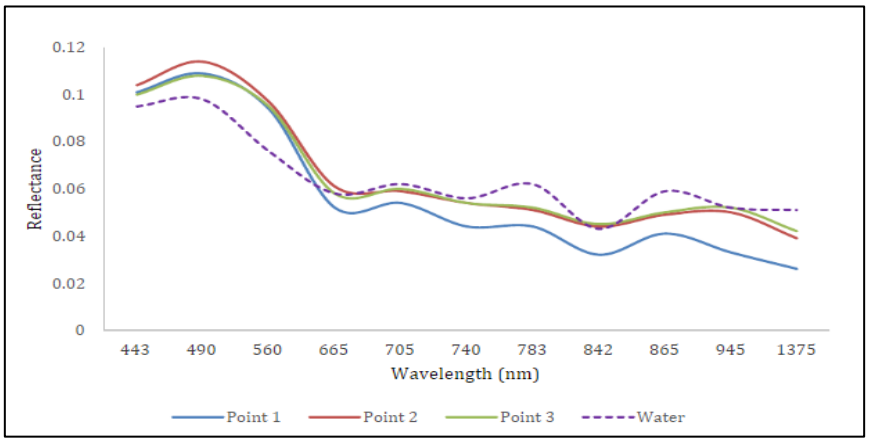


Рис. 1. Кривые спектрального отражения масла и воды на всех длинах волн
Fig. 1. Spectral reflectance curves of oil and water at all wavelengths

И, действительно, объединив все каналы в один растр, и, проведя исследование пикселей при помощи инструмента «Информация об объекте», наибольший отклик на пятно мазута давал синий канал. В естественных же цветах пятно мазута видно голубым цветом. Чистая вода выглядит темной, почти чёрной (рисунок 2).

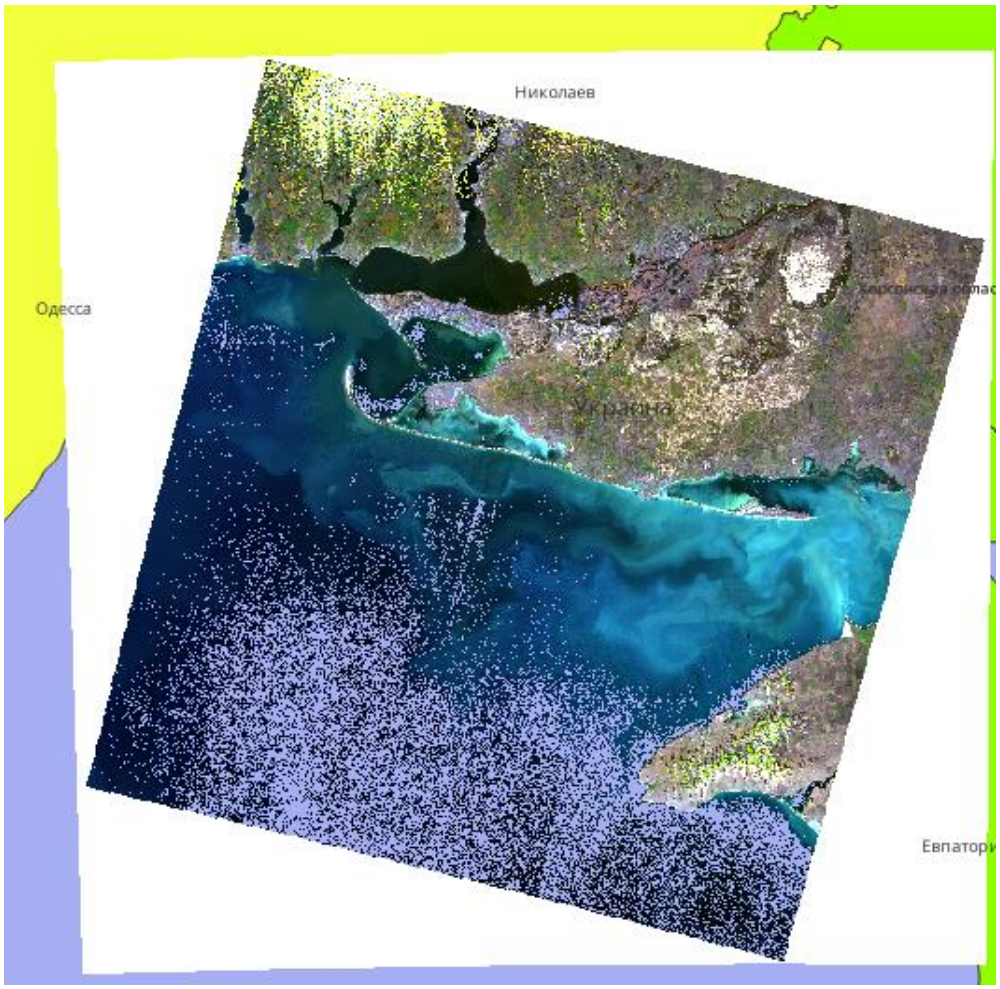
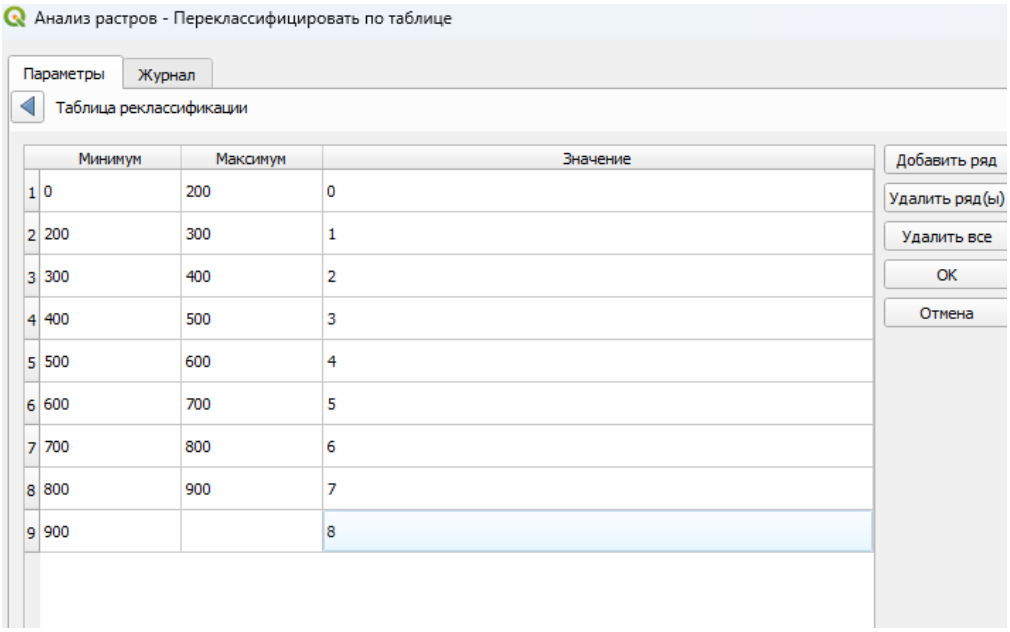


Рис. 2. Снимок в естественных цветах после коррекции
Fig. 2. Image in natural colors after correction

Спектральные характеристики, и, по большей мере, коэффициент отражательной способности, способны демонстрировать степень загрязнения воды. Для выявления степени концентрации загрязнения применяется метод классификации. Под концентрацией в данном случае понимается «отклик» пятна мазута, то есть сила его отражательной способности в каждой конкретной точке. Классификация снимков (космических или аэрофотоснимков) заключается в объединении пикселей растров со сходным уровнем яркостей и придании им одинаковых значений, т.е. создании кластеров или групп пикселей. В нашем случае, классификация будет условной, так как возрастание коэффициента отражения является показателем повышения концентрации мазута, а не числовой характеристикой.

В процессе слияния растров значения могут быть умножены на 10000, что не повлияет на результат. После тщательного изучение пятна было принято решение провести классификацию за каждые 0,01 значения коэффициента отражения в пределах от 0,02 до 0,09. Остальным значениям присваиваются значения 0 и 8, которые в последствии устраняются с помощью инструмента «Прозрачность» (рисунок 3).



	Минимум	Максимум	Значение
1	0	200	0
2	200	300	1
3	300	400	2
4	400	500	3
5	500	600	4
6	600	700	5
7	700	800	6
8	800	900	7
9	900		8

Рис. 3. Классификация условной концентрации в значениях от 1 до 7
Fig. 3. Classification of conditional concentration in values from 1 to 7

Картографирование мест разлива

После дешифрирования изображений настраиваем стилистику равными интервалами, разделёнными на 7 классов. При этом пиксели со значениями 0 и 8 делаем прозрачными. Затем при помощи инструмента работы с макетами создаём макеты картографических произведений (см. рисунки 4 – 11).

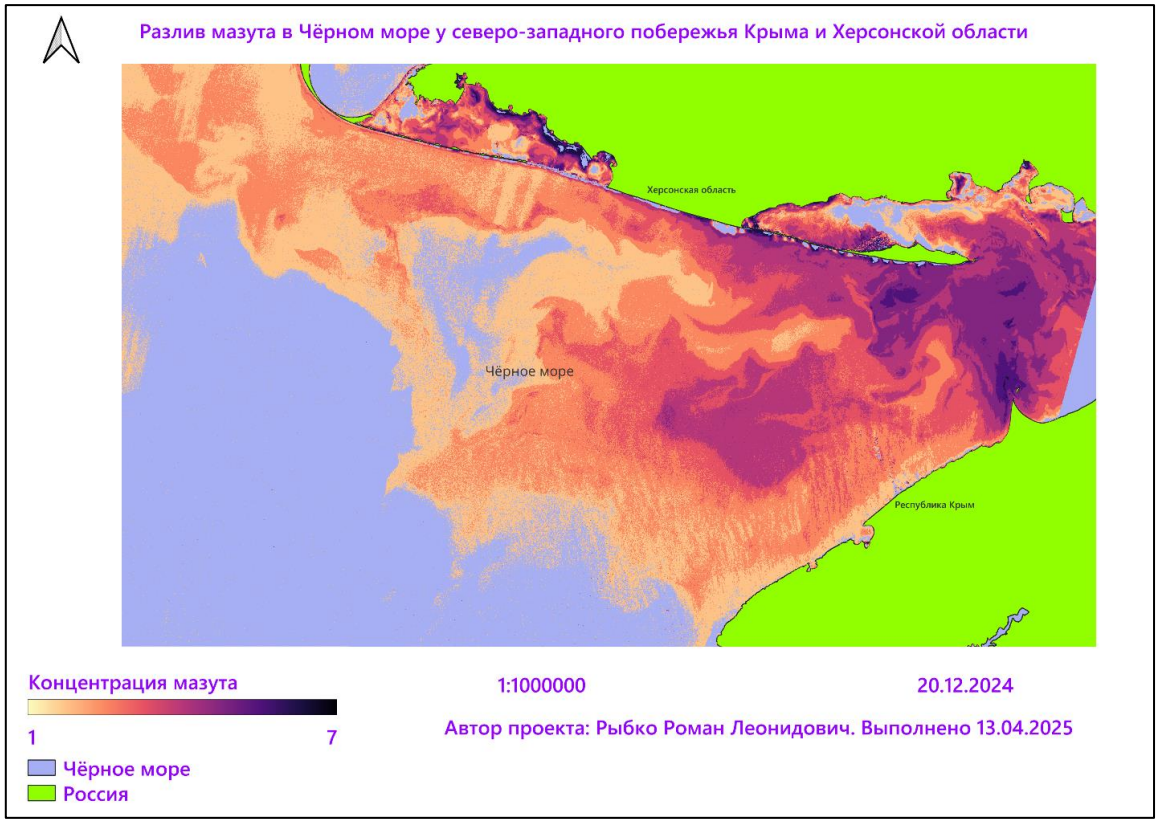


Рис. 4. Разлив мазута у побережья Крыма и Херсонской области
Fig. 4. Fuel oil spill off the coast of Crimea and Kherson region

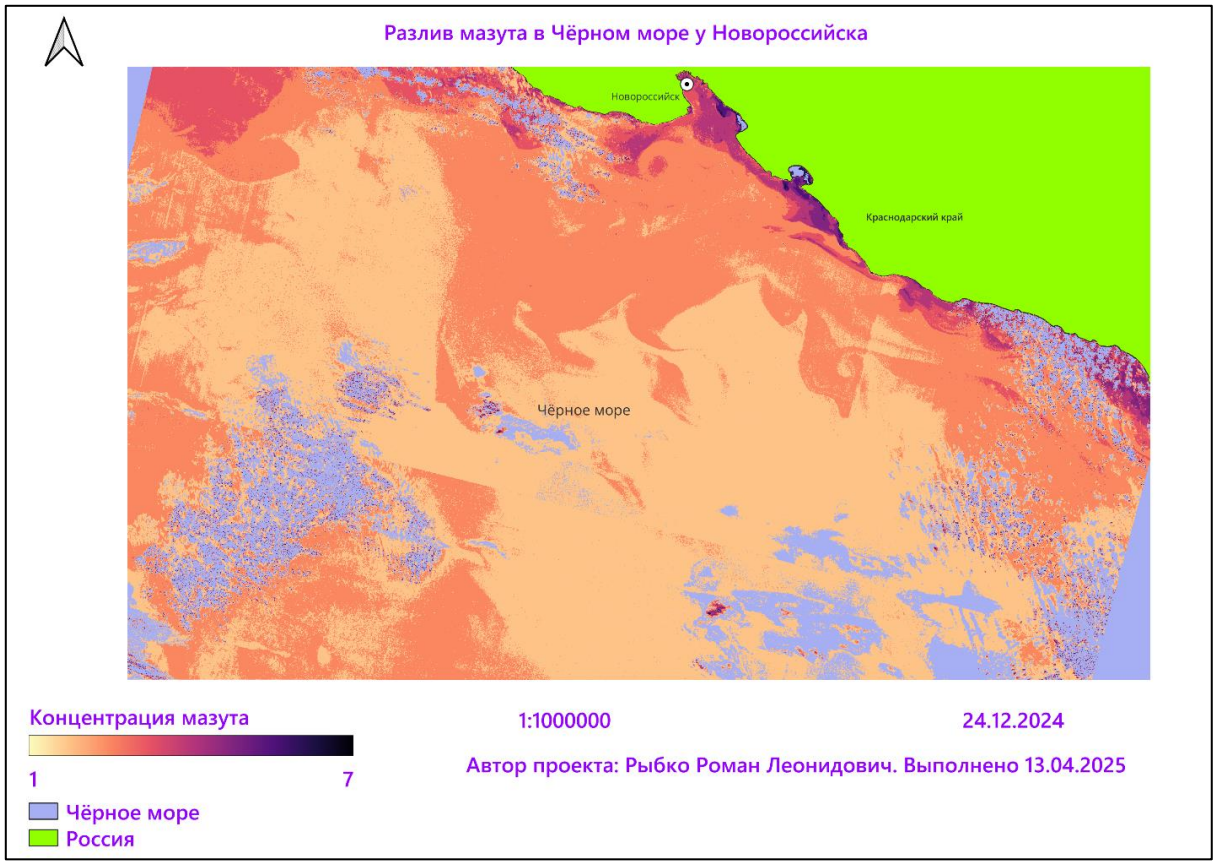


Рис. 5. Разлив мазута возле Новороссийска
Fig. 5. Fuel oil spill near Novorossiysk

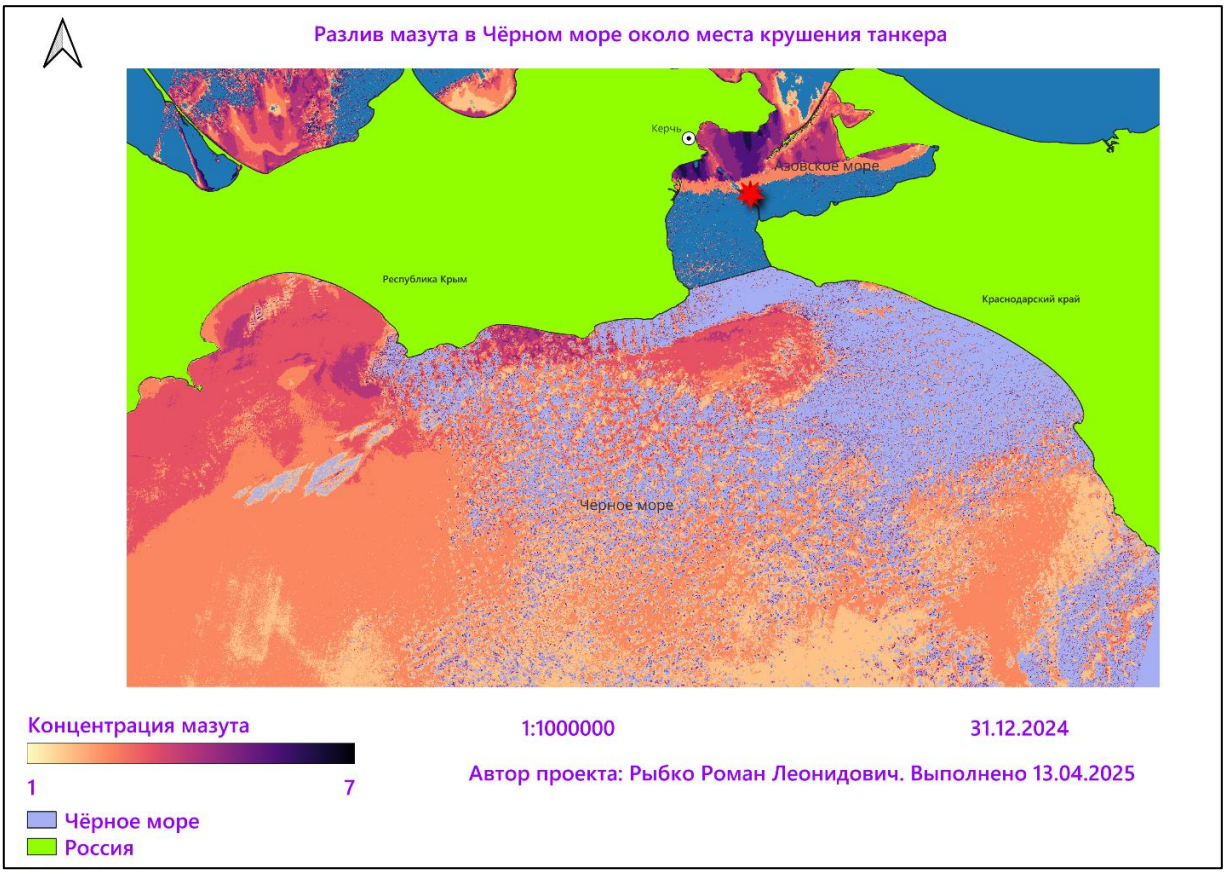


Рис. 6. Разлив мазута возле места крушения танкера
Fig. 6. Fuel oil spill near tanker wreck site

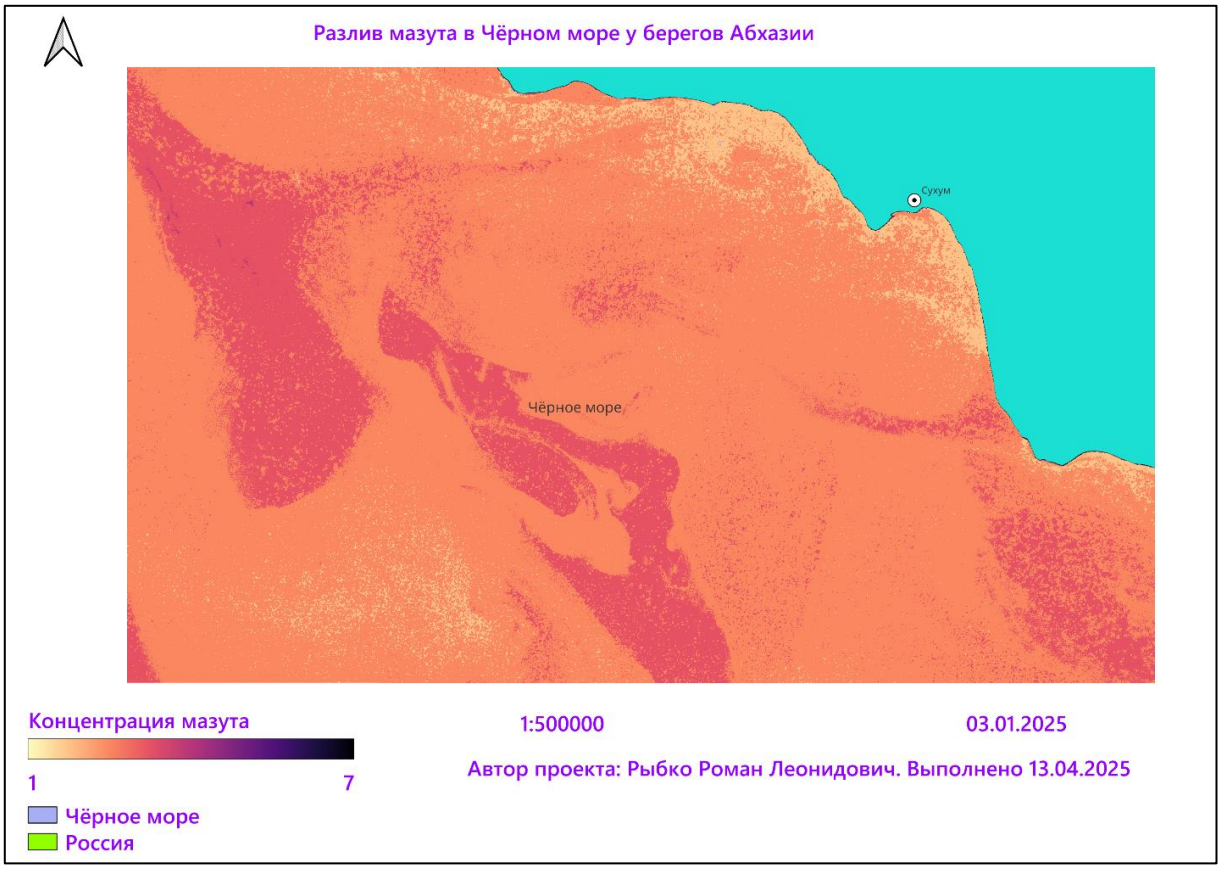


Рис. 7. Разлив мазута у берегов Абхазии
Fig. 7. Fuel oil spill off the coast of Abkhazia

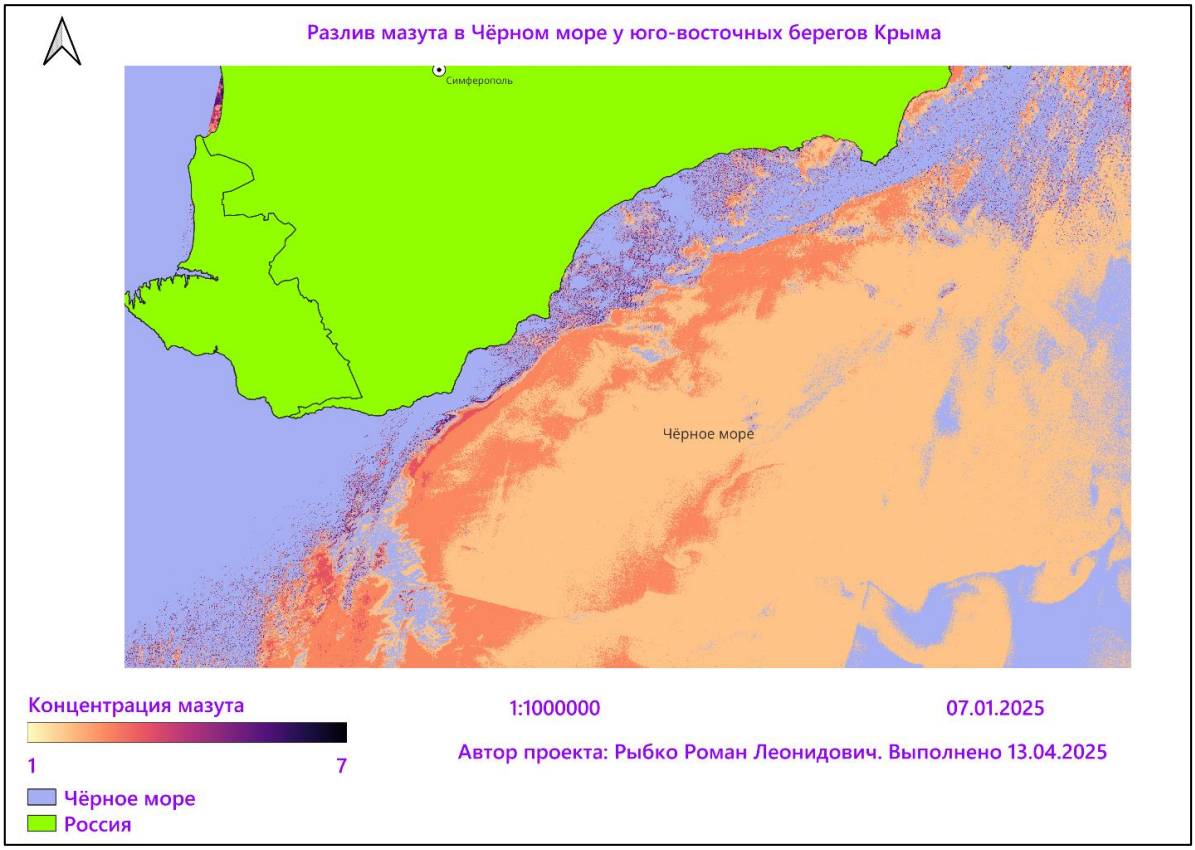


Рис. 8. Разлив мазута у юго-восточного берега Крыма
Fig. 8. Fuel oil spill off southeastern coast of Crimea

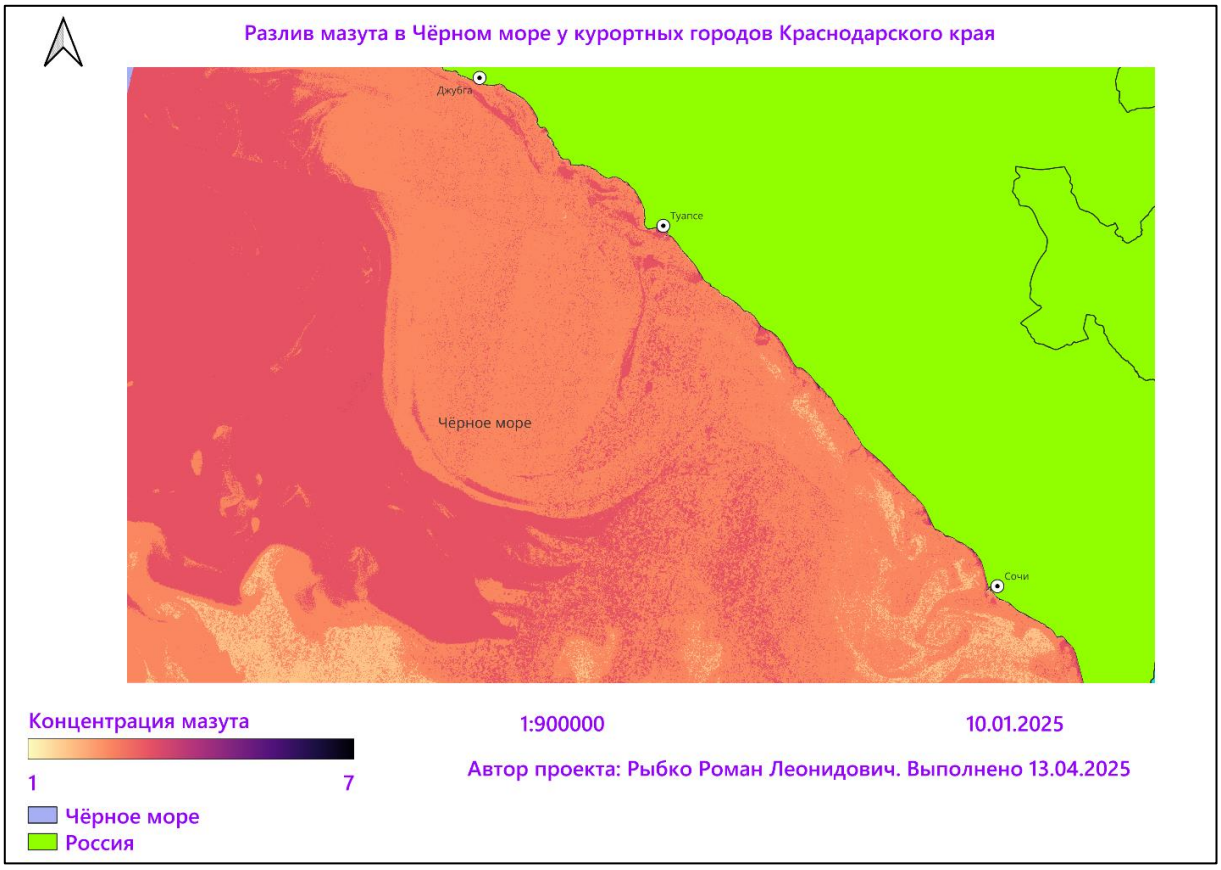


Рис. 9. Разлив мазута у курортных городов Краснодарского Края
Fig. 9. Fuel oil spill near resort towns of Krasnodar Kray

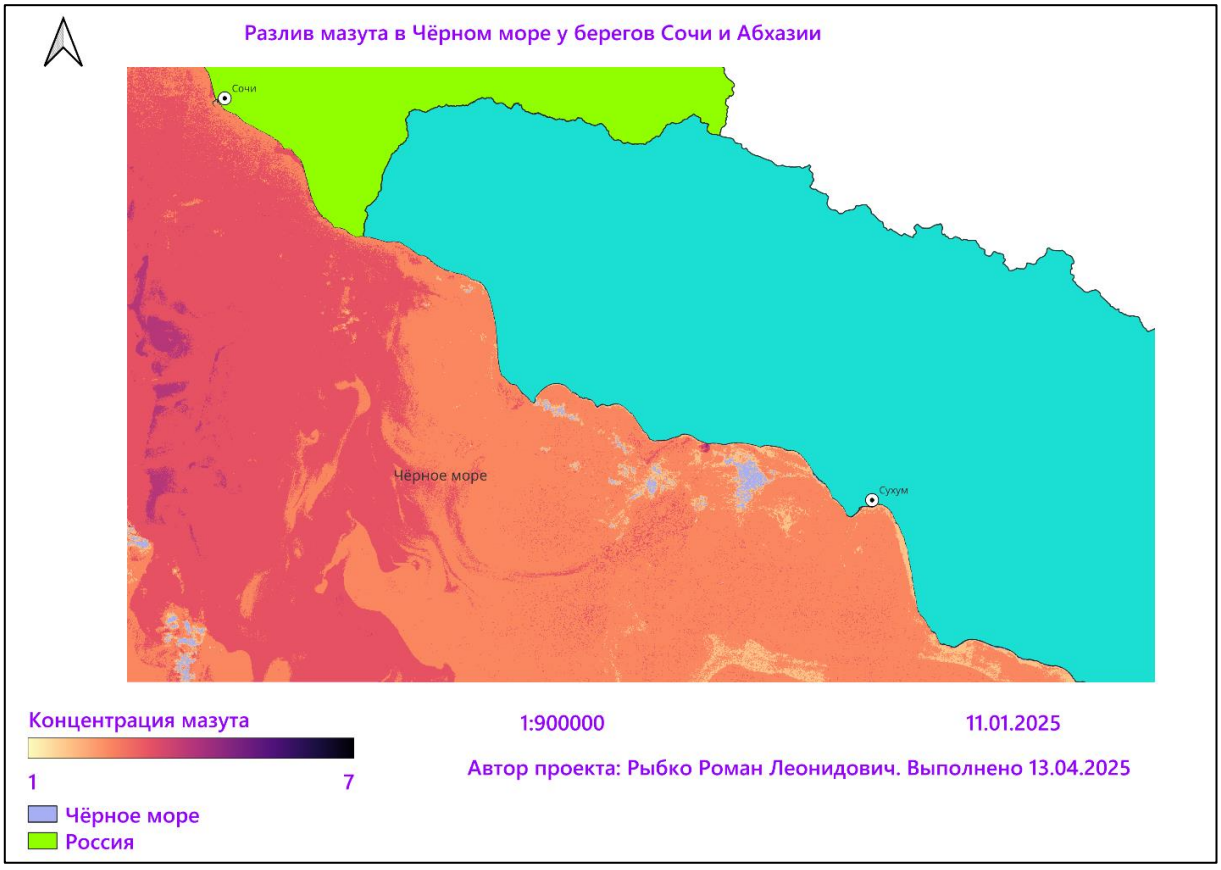


Рис. 10. Разлив мазута возле Сочи и Абхазии
Fig. 10. Fuel oil spill near Sochi and Abkhazia

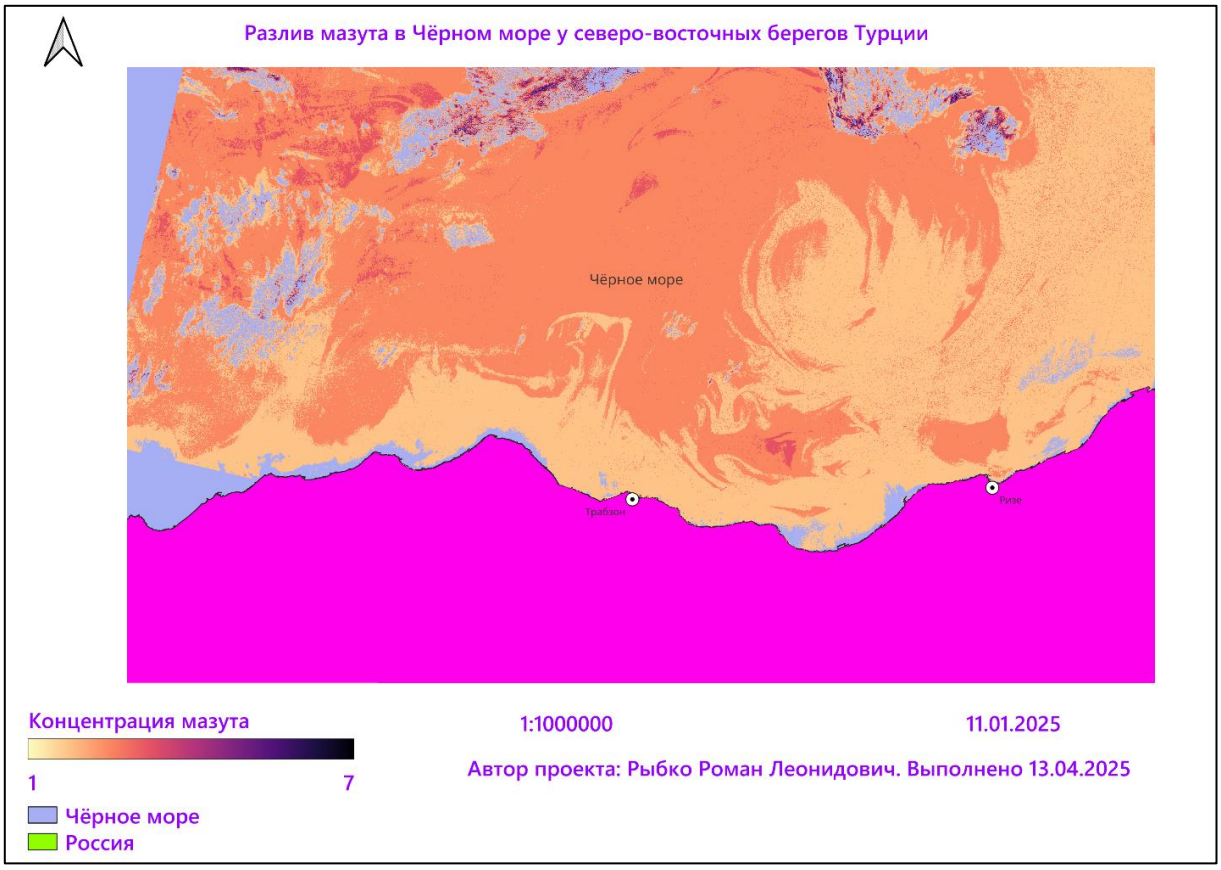


Рис. 11. Разлив мазута у северо-восточного берега Турции
Fig. 11. Fuel oil spill off northeastern coast of Turkey

Заключение

В работе была представлена специально разработанная технология выявления пятен мазута в акватории Чёрного моря (его площади и концентрации) при помощи метода классификации пикселей, составленного экспериментальным путём.

На примере недавнего происшествия в Чёрном море в ходе работы решены задачи по выявлению пятен мазута на акватории в различных каналах мультиспектрального снимка, дешифрированию, классификации концентрации и картографированию. Учитывая, что подобные аварии происходят регулярно, нанося существенный экологический и экономический ущерб, были рассмотрены наиболее доступные подходы для дистанционного мониторинга.

Исследования показали, что космические снимки среднего разрешения, получаемые с космических аппаратов «Landsat» и находящиеся в открытом доступе, вполне пригодны для решения данной задачи. Однако технология не ограничивается применением снимков с конкретного КА и может применяться для оценки площади и концентрации разлива, что позволит предсказывать последствия и принимать соответствующие меры по снижению их влияния.

Список источников

1. *В.В. Рукавицын*. Интервью телеканалу «Звезда» 15.01.2025.
2. *В.А. Новикова, А.И. Снапкова*. Влияние мазута на экологию и организм человека. Актуальные проблемы энергетики, 2023.
3. *И.Р. Гумеров, Н.Е. Кувшинов*. Основные физико-химические свойства мазута. Международный научный журнал «Инновационная наука» №4, 2016.
4. Корпоративный сайт Геопространственного агентства «Иннотер». URL: https://innoter.com/
5. *К.А. Кочеткова, С.Е. Ерофеев*. Атмосферная коррекция изображений на снимках. В мире научных открытий.

6. *Д.В. Соломатов, С.В. Афонин, В.В. Белов*. Применение алгоритмов учёта облачности в задаче атмосферной коррекции спутниковых данных ETM+/Landsat. Известия Томского политехнического университета. 2012. Т. 321. № 5.
7. *А.А. Кошко*. Спутник Дистанционного Зондирования Земли Landsat-8. Международная научно-техническая Интернет-конференция.
8. *Pingkan Mayestika Afgatiani*, Fanny Aditya Putri, Argo Galih Suhadha, Andi Ibrahim*. Determination of Sentinel-2 spectral reflectance to detect oil spill on the sea surface. Sustinere. Journal of Environment and Sustainability. Volume 4 Number 3. Remote Sensing Application Center, LAPAN, Indonesia.
9. *С. А. Тихонова, Г.П. Стручкова, Т.А. Капитонова*. Оценка антропогенного загрязнения водоёмов Якутии по спектральным характеристикам космоснимков. ФИЦ Якутский научный центр РАН, Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН, Якутск, Россия.
10. *А. А. Зорина*. Классификация снимков при экологических исследованиях с помощью ГИС-технологий. Актуальные проблемы, секция № 71. Экология. Инновационный центр развития образования и науки ИЦРОН.
11. Геологическая служба США USGS. URL: https://earthexplorer.usgs.gov/
12. Semi-Automatic Classification Plugin. Documentation. URL: https://semiautomaticclassificationmanual.readthedocs.io/

TECHNOLOGY FOR DECODING AND MAPPING OF FUEL OIL SPILLS IN THE BLACK SEA

R.L. Rybko[1], S.O. Anufriev[2]
[1–2] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] rl.rybko@yandex.ru, [2] soanufriev@yandex.ru

Abstract

Fuel oil spills pose a serious environmental threat that can cause long-term negative consequences for aquatic ecosystems and the environment.

This article presents a technology for decoding and mapping oil spills (in particular, fuel oil) on the surface of the Black Sea using space multispectral images from the Landsat-8 and Landsat-9 spacecrafts using the QGIS geoinformation system.

The main objective of the work is to obtain fuel oil spill maps as of various dates within a month from the date of the accident. In the course of the work, such tasks as identifying fuel oil stains in the Black Sea in various channels of the multispectral image, decoding, classifying concentrations and creating electronic maps were solved. This technology can be used to assess the area and concentration of a spill, which will allow consequences to be predicted and appropriate measures to be taken to reduce their impact.

Keywords

Atmospheric correction, GIS, decryption, mapping, classification, multispectral satellite image, spacecraft, technology.

УДК 528.8

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РИСКА ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ ВОДЫ В ОЗЕРЕ БАЙКАЛ

Е.М. Сбитнев[1], **С.О. Ануфриев**[2]
[1–2] Институт радиоэлектроники и информатики, МИРЭА – Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1]sbitnev.e.m@edu.mirea.ru, [2]anufriev_s@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Одним из приоритетных направлений государственного развития является рациональное использование и охрана природных объектов. Сохранение уникальности озера Байкал, включенного в список всемирного наследия ЮНЕСКО, должно основываться на использовании современных методов мониторинга акватории озера и прилежащих территорий, позволяющих не только следить за их актуальным состоянием, но и прогнозировать последствия антропогенного и/или природного воздействия. Применение средств дистанционного зондирования Земли позволяет в целом оценить экологическую ситуацию в районе озера Байкал и выявить конкретные риски состоянию водного объекта.
Цель. Исследовать природные и антропогенные факторы воздействия на экологическое состояние байкальского региона и оценить эффективность использования мультиспектральных снимков с космического аппарата Landsat-8 для выявления изменений состояния воды в озере Байкал.
Результаты. Проведена оценка влияния природных и антропогенных факторов на состояние озера Байкал, составлена мозаика снимков озера и прилегающих территорий, выявлены очаги изменения свойств воды в озере.
Практическая значимость. Полученные результаты позволяют оценить применимость средств дистанционного зондирования Земли к анализу водных ресурсов, находящихся в зоне антропогенных и природных рисков. Материалы исследований использованы в учебно-методическом комплекте дисциплин «Технологии сбора пространственных данных аэрокосмическими методами» и «Применение геоинформационных технологий в градостроительстве и территориальном управлении», преподаваемых на кафедре геоинформационных систем Института радиоэлектроники и информатики РТУ МИРЭА.

Ключевые слова

Дистанционное зондирование Земли, космический аппарат, мозаика снимков, озеро Байкал, Landsat-8.

A brief version in English is given at the end of the article

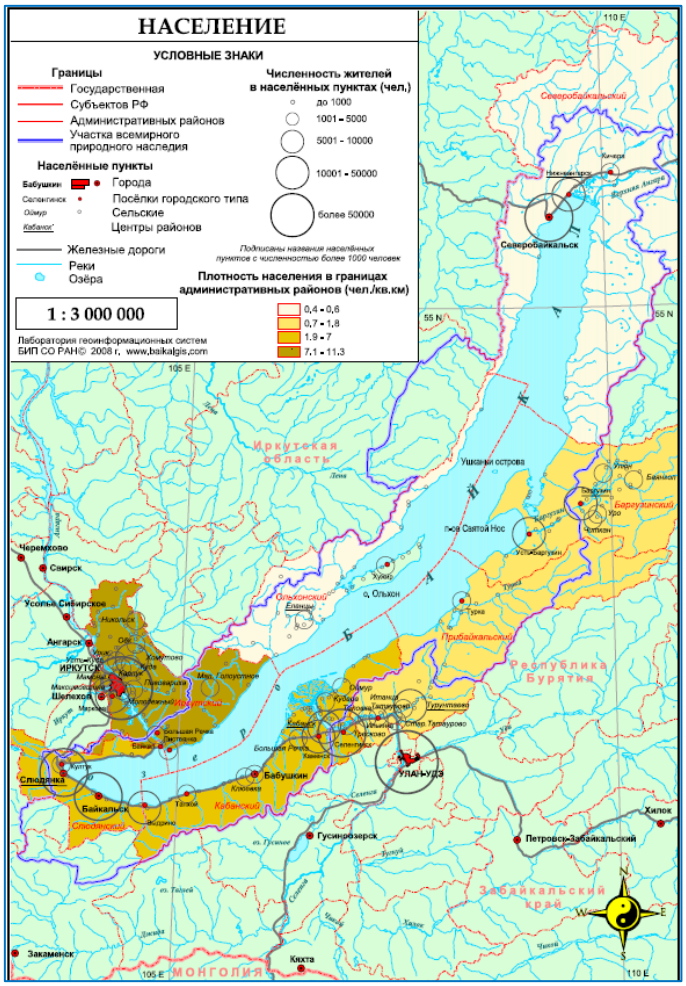
Введение

Уникальность озера Байкал определяется целым рядом особенностей, включая его географическое положение, физико-химические условия, уникальный растительный и животный мир. Вода озера, насыщенная кислородом и практически не содержащая солей, делает озеро крупнейшим запасом пресной воды на Земле. Однако, несмотря на исключительность этого природного объекта, на протяжении десятилетий антропогенное воздействие на водную часть экосистемы озера было очень высоким [1]. Промышленные и бытовые сбросы, изъятие биологических ресурсов, развитие населенных пунктов наравне с природными факторами (изменением гидрологического режима, ветровой и водной эрозией) являются теми показателями, мониторинг которых должен быть постоянен и вестись с применением современных методов наблюдения, позволяющих зафиксировать даже незначительные отклонения от нормы. Актуальным направлением в этом случае может быть применение мультиспектральных данных, полученных в ходе дистанционного зондирования Земли с космических аппаратов (КА), например, Landsat-8.

Ц е л ь р а б о т ы – исследовать природные и антропогенные факторы воздействия на экологическое состояние байкальского региона и оценить эффективность использования мультиспектральных снимков среднего разрешения (в частности, с КА Landsat-8/9) для выявления изменений состояния воды в озере Байкал.

Обработка данных антропогенной нагрузки региона

Для наглядной демонстрации проблемы были собраны карты, позволяющие оценить антропогенную нагрузку на регион. Так, на карте плотности населения (рис.1), отмечено большое скопление городов и населенных пунктов, в том числе крупных, с населением более 50 тыс. чел., на южной оконечности озера по береговой линии [2]. Отметим, что в этой части озера проходит крупная автомобильная трасса – дублер Транссиба, соединяющая Иркутск и Улан-Удэ (Култукский тракт Р-258). На севере Байкала, параллельно БАМу, также расположена большая автодорога (трасса 25k-258), на остальной прибайкальской территории дороги небольшие. Высокая плотность населения и сопутствующие ей скопления бытового мусора, загрязненные сточные воды, аварийные разливы нефтепродуктов, загазованность транспортных магистралей – делают юг Байкала зоной особого экологического риска. Также остро стоит проблема воздействия на природный комплекс всего Байкала крупных и маломерных судов, паромной переправы на о. Ольхон, поскольку сложно оценить уровень химического, шумового и других видов их воздействия на водную экосистему озера.



Масштаб 1:3 000 000

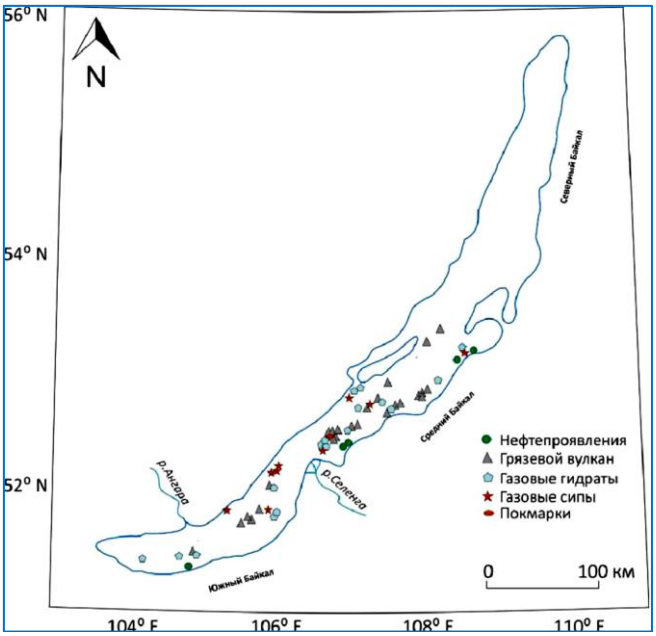
Рис.1. Плотность населения территории и численность городов Прибайкалья

Fig. 1. Population density and the number of towns in the Baikal region

В границах Байкальской природной территории (БПТ) на стыке двух крупнейших структурных элементов земной коры – Сибирской платформы и Саяно-Байкальской складчатой области, разведано 420 месторождений и выявлено 1000 проявлений различных полезных ископаемых (угля, нефти, газа, торфа, железистых кварцитов, гипса, фосфоритов). Из них эксплуатируются или подготавливаются к разработке 120 месторождений. Разведка, добыча и переработка многих видов минерального сырья являются основой устойчивого развития экономики и социальной стабильности Республики Бурятия, Иркутской и Читинской

областей, территории которых составляют Байкальский регион. Вместе с тем добыча полезных ископаемых создает многочисленные проблемы экологического характера, и в первую очередь угрожающие качеству байкальской воды, острота которых зависит от масштабов горнодобывающих работ, вида минерального сырья и близости объектов добычи к озеру Байкал. Наибольшие ограничения касаются Центральной экологической зоны (ЦЭЗ) БПТ [2].

Отдельного внимания заслуживают нефтегазовые проявления в акватории Байкала и у его берегов. Наиболее изученные и разработанные из них располагаются в восточной части прибрежной акватории озера в устье р. Селенга, севернее залива Провал, напротив устьев рек Стволовая, Большой и Малой Зеленовских [3]. С геологией Байкала связано наличие в его центральной части на дне озера выходов углеводородных газов, нефтепроявлений, грязевых вулканов [3, 4] и покмарок на дне (рис. 2). Покмарки представляют собой круглые или продолговатые депрессии, обычно образующиеся в рыхлых, тонкозернистых осадках за счет эпизодического выброса газа, главным образом метана [5].



Масштаб 1:100 000

Рис. 2. Гидратоносные структуры, грязевые вулканы, газовые сипы, нефтепроявления и покмарки в акватории озера Байкал

Fig. 2. Hydrogen-bearing structures, mud volcanoes, gas seeps, oil shows and pockmarks in the waters of Lake Baikal

Разработка нефтяных залежей Усть-Селенгинской впадины началась еще в начале XX века, но с 1960 г. работы были прекращены. Возобновление поисков на газ как экологически чистое и дешевое сырье началось в 1998 г. с целью региональной оценки ресурсного газового потенциала Усть-Селенгинской депрессии. Проведены газогеохимическая и аэрогеофизическая съемки, профильное бурение с признанием перспективности дальнейших разработок. На основании возможного огромного ущерба от загрязнения Байкала при проведении поисковых, разведочных и эксплуатационных работ в акватории озера или в непосредственной близости от него вышло Постановление Правительства РФ об ограничении хозяйственной деятельности в ЦЭЗ. С 2002 г. поисковые работы в Усть-Селенгинской депрессии были прекращены и направлены на оценку газового потенциала других, удаленных от Байкала депрессий. Однако естественные выходы газонефтяных флюидов на дне озера остаются причиной изменения состава воды и ее физических свойств.

Еще одним крупным источником загрязнения байкальской воды служит Байкальский целлюлозо-бумажный комбинат (БЦБК). После закрытия комбината в 2013 г. на береговом склоне в 500 м от уреза воды на площади 180 га остались бассейны-шламохранилища с

отходами производства (щелоком, производными лигнина). Из-за постоянного просачивания отходов через бетонные стенки резервуаров, под промзоной в грунтах накопились тысячи тонн неочищенных ядовитых химикатов, которые вместе с грунтовыми водами попадают в озеро. Содержание вредных веществ в стоках превышает норматив в 400 раз.

Таким образом, на протяжении десятилетий антропогенный пресс на водную часть экосистемы озера был высоким [1].

Основными источниками загрязнения являются: крупные населенные пункты и порты южной части озера; г. Байкальск, в том числе территория бывшего Байкальского целлюлозно-бумажного комбината (БЦБК) и сброс сточных вод; район воздействия Байкало-Амурской магистрали на севере Байкала; территории в истоке реки Ангара и устьевой части реки Селенга (Селенгинское мелководье), а также Усть-Селенгинской депрессия с выходами нефтяных флюидов. По гидробиологическим показателям воды и донных отложений зоны загрязнения в отдельные сезоны могут достигать площадей в 20–30 км^2.

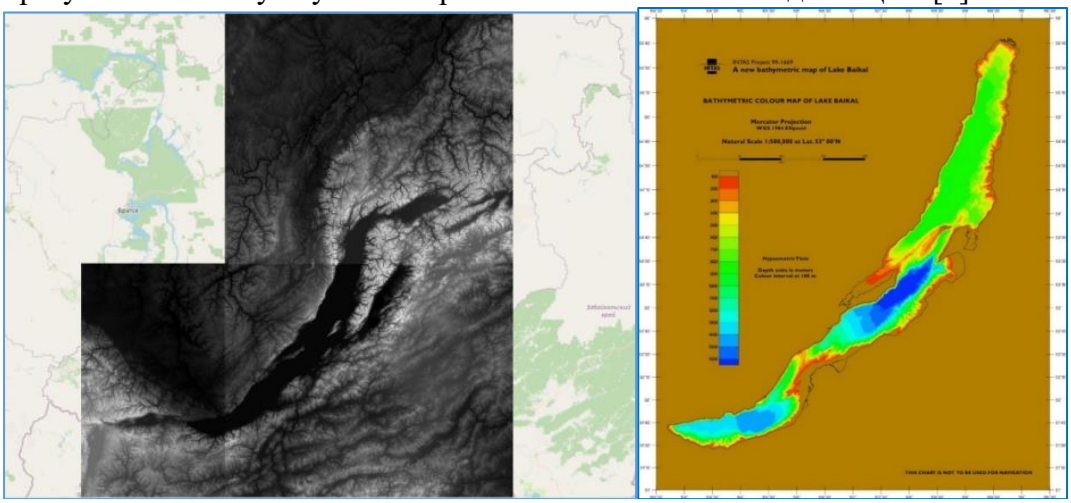
Мониторинг природного состояния региона

Помимо антропогенного влияния на акваторию Байкала существуют природные факторы, которые могут иметь ощутимые последствия для состояния озерной воды. И в первую очередь это геология и рельеф озёрного дна (рис. 3–4), а также сейсмическая активность региона [6].

На больших глубинах (максимальная – 1642 м в средней части котловины) качество воды Байкала, ее химический состав и температурный режим остаются неизменным уже миллионы лет.

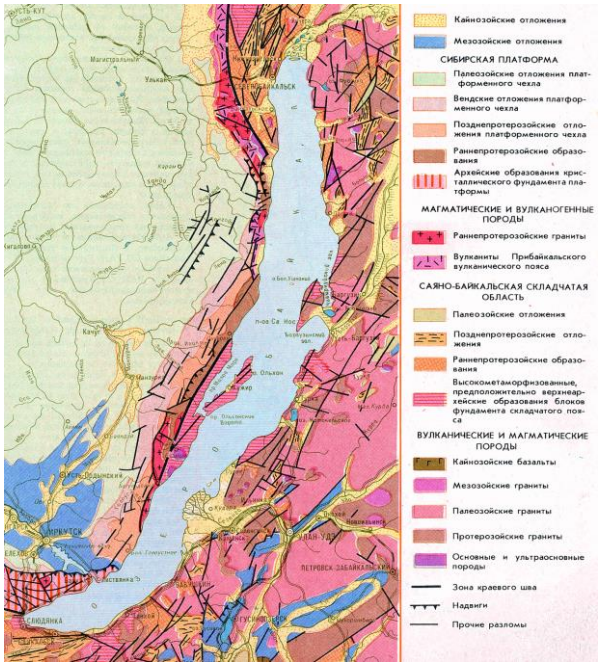
На меньших глубинах, особенно в северной части озера вода обогащена органическим веществом, провоцирующим активные процессы биодеструкции, размножения микрофлоры и водорослей, процессы осадконакопления и увеличения взвесей в прозрачной воде Байкала.

Высокая сейсмичность региона увеличивает риски загрязнения озера промышленными и бытовыми отходами поселений и предприятий, находящимися в береговой зоне. Например, по наблюдениям метеорологов, в районе БЦБК раз в 50 лет сходит большой сель. Последний был в 1971 году. Тогда грязевыми потоками в озеро смыло железную дорогу, мосты и все, что было на берегу. Сейчас на пути у стихии расположены тонны отходов БЦБК [2].



Масштаб 1:500 000

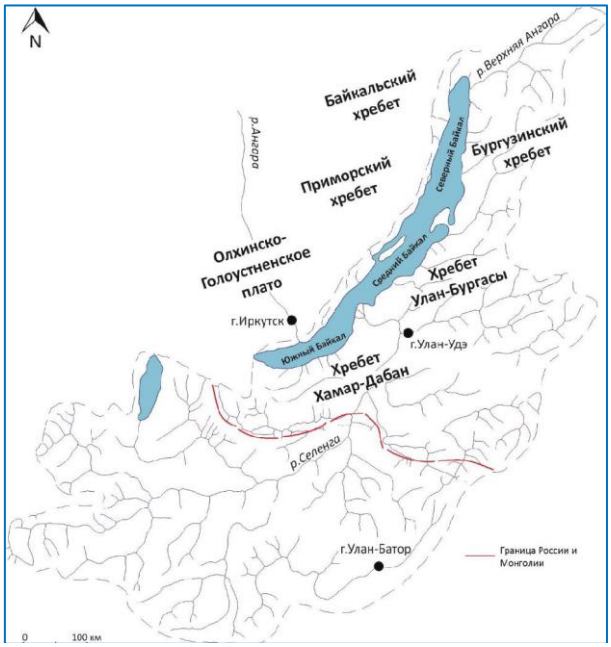
Рис. 3. Цифровая модель рельефа и карта глубин озера Байкал
Fig. 3. Digital Elevation Model and Deeps Map of Lake Baikal



Масштаб 1:3 000 000

Рис. 4. Геологическое строение примыкающей к Байкалу территории
Fig. 4. Geological structure of the Lake Baikal territory

Большой вклад в ухудшение качества байкальской воды вносят реки водосборного бассейна Байкала (рис. 5), несущие в озеро огромное количество твердых и растворенных минеральных и органических веществ, в том числе опасных для живых организмов [7]. Реки ежегодно приносят в Байкал 6,12 млн. т растворённых солей и 590 тыс. т органического вещества [8]. Первостепенную роль в этом процессе играет Селенга, на которой стоит крупный промышленный центр Улан-Удэ. С учетом описанных выше газонефтяных выходов следует, что центральная часть озера находится под наибольшим влиянием внешних природных факторов.



Масштаб 1:5 000 000

Рис. 5. Водосборный бассейн озера Байкал
Fig. 5. The drainage basin of Lake Baikal

Анализ мультиспектральных снимков из коллекции Landsat-8

С геопортала EarthExplorer [9] было скачано 6 снимков с КА Landsat-8/9 на территорию озера Байкал и прилежащую местность. Дата съёмки снимков варьируется от 07.06.2023 до 27.08.2023, то есть летний сезон съёмки. Далее снимки были добавлены в новый проект QGIS [10], в котором выполнена их геодезическая привязка и монтаж бесшовной мозаики, покрывающей акваторию озера и прилегающую береговую территорию [11].

Для дешифрирования и анализа были составлены разные комбинации каналов. Первая комбинация – это 4-3-2 «естественные цвета» (рис. 6). В этом случае использовались каналы видимого диапазона, поэтому объекты земной поверхности выглядят так, как они воспринимаются человеческим глазом. На снимках хорошо просматривается береговая линия, город Иркутск, а также исток реки Ангары и дельта реки Селенги (Рис. 7).



Рис. 6. Мозаика из снимков в комбинации каналов «естественные цвета» (4-3-2)
Fig. 6. Mosaic of images in the "natural color" channel combination



Рис. 7. Изображение дельты реки Селенга в естественных цветах
Fig. 7. Natural color image of the Selenga River Delta

Далее была составлена комбинация 5-6-2 (Рис. 8). В неё входит ближний инфракрасный канал. С помощью этой комбинации можно анализировать водные ресурсы на предмет содержания в них взвесей. Например, около дельты реки Селенги (рис. 9) хорошо видны области с оттенками более яркого синего цвета, что свидетельствует об уменьшении прозрачности воды из-за присутствия в ней посторонних включений или взвесей. Исключить мелководье в рассматриваемых областях дельты возможно используя карту глубин (рис. 3).

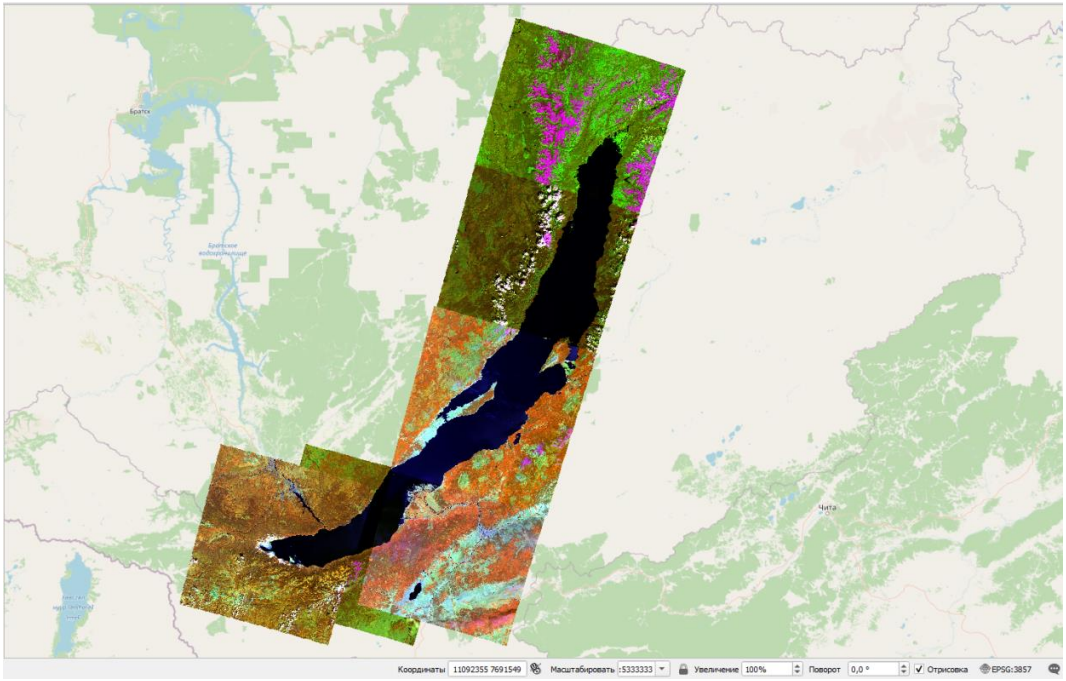


Рис. 8. Комбинация каналов 5-6-2
Fig. 8. Band combination 5-6-2

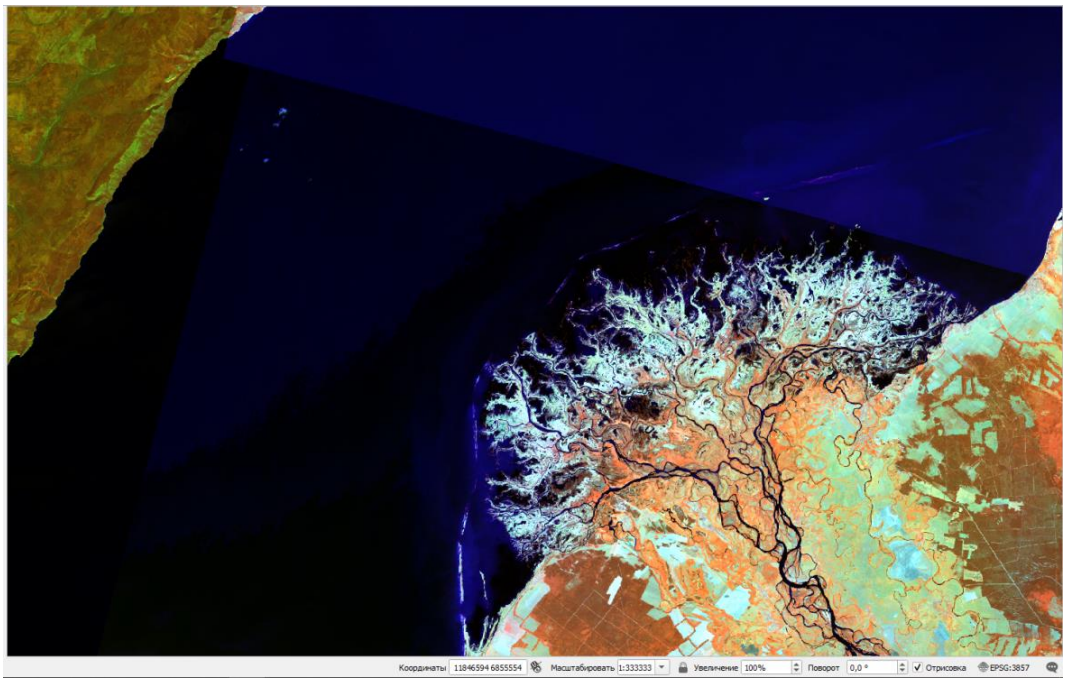


Рис. 9. Дельта реки Селенги на снимке с комбинацией каналов 5-6-2
Fig. 9. The delta of the Selenga River in the image with a combination of bands 5-6-2

Анализируя полученные снимки и комбинации их спектральных каналов можно сделать вывод, что дистанционное зондирование из космоса [11] предоставляет широкие возможности для экологического мониторинга обширных территорий и акваторий с целью предотвращения вредоносного антропогенного воздействия или снижение его уровня.

Заключение

Комплексное исследование, включающее анализ различных картографических произведений и материалов озера Байкал и сопряженных территорий, создание мозаик мультиспектральных снимков региона и их дешифрирование, позволило оценить экологическое состояние природного объекта, влияние на него антропогенной деятельности и ряда природных явлений. Показана возможность использования результатов дистанционного зондирования для оценки отдельных физико-химических показателей озерной воды, таких как содержания взвесей или мутности. Выявлено, что в прибрежных зонах дельты реки Селенги идёт заметное изменение прозрачности воды, причинами которого могут быть как природные, так и антропогенные загрязнения.

Среди других источников информации в интересах мониторинга водных ресурсов следует отметить интенсивно развивающиеся продукты Государственной корпорации «Роскосмос», такие как информационная система «Цифровая Земля» с рядом сервисом на её основе, Банк базовых продуктов межведомственного использования и Геопортал Роскосмоса. Госкорпорацией «Роскосмос» запланировано подключение всех государственных, ведомственных и региональных систем к информационным системам «Роскосмоса» до конца 2025 г. [12].

Для предотвращения дальнейшего ухудшения экологического состояния уникального природного объекта – озера Байкал – необходимо своевременно выявлять результаты антропогенного воздействия посредством дистанционного зондирования для получения снимков и современных геоинформационных технологий для их обработки и анализа [11].

Список источников

1. *Воробьева И.Б., Власова Н.В, Белозерцева И.А.* Химический состав гидрокриогенной системы: снег на льду–лёд–подлёдная вода озера Байкал. Лёд и Снег. – 2023. – Т. 63. – № 1. – С. 104–115.
2. Байкал: природа и люди. Энциклопедический справочник / Байкальский институт природопользования СО РАН; [отв. ред. чл.-корр. А. К. Тулохонов] – Улан-Удэ: ЭКОС: Издательство БНЦ СО РАН, – 2009. – 600 с. [Электронный ресурс]. – URL: http://baikalfund.ru/library/scientific_works/index.wbp?doc_id=a9ff14f3-e4ce-4b6d-a055-4faf7c35cd26 (дата обращения: 15.10.2023).
3. *Видищева О.Н*. Особенности генерации и миграции углеводородных флюидов в рифтовом бассейне озера Байкал. Дисс. на соиск. уч. зв. к.г-м.н. – 2023. – 122 с.
4. *Khlystov O.M., Khabuev A.V., Minami H., Hachikubo A., Krylov A.A.* Gas hydrates in Lake Baikal // Limnology and Freshwater Biology. – 2018. – № 1. – P. 66–70. – URL: https://www.semanticscholar.org/reader/2fbc60228c11f1201394815b839f00e1ff6559aa (дата обращения: 14.10.2023).
5. *Рыбак Е.Н., Ступина Л.В. Покмарки* Чёрного моря [Электронный ресурс]. – URL: https://doi.org/10.15407/gpimo2019.01.016 (дата обращения: 08.04.2025).
6. A new bathymetric map of Lake Baikal // INTAS Project 99-1669 [Электронный ресурс]. – URL: http://lin.irk.ru/intas/maps.htm (дата обращения: 18.09.2023).
7. «Фонд содействия сохранению озера Байкал» // baikalfund.ru [Электронный ресурс].– URL: http://baikalfund.ru/library/maps/index.wbp (дата обращения: 15.10.2023).
8. *Русинек О.Т., Тахтеев В.В., Гладкочуб Д.П., Плешанов А.С., Шаманова С.И.* Байкаловедение: в 2 кн. – Новосибирск: Наука, – 2012. – Кн. 1. – 468 с. – Кн. 2. – 644с. [Электронный ресурс]. – URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_006723750/ (дата обращения: 20.10.2024).
9. EarthExplorer // earthexplorer.usgs.gov [Электронный ресурс]. – URL: https://earthexplorer.usgs.gov/ (дата обращения: 11.11.2023).
10. QGIS 3.28.1 / разработчик "PyQGIS". – Python: Электронная дистрибьюция. – Электронная программа. – URL: https://www.qgis.org/ru/site/forusers/download.html (дата обращения 11.11.2023).
11. *Ануфриев С.О.* Обработка аэрокосмической информации с использованием геоинформационных технологий: учебное пособие для вузов / С.О. Ануфриев, О.С. Ануфриев. – Санкт-Петербург: Лань, – 2025. – 172 с. – ISBN 978-5-507-52410-5 – URL: https://e.lanbook.com/book/465332 (дата обращения: 08.04.2025).
12. *Алексеева Е.Д., Ануфриев С.О.* Единый реестр водных ресурсов // Сборник научных статей по материалам VII Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития радиотехнических и инфокоммуникационных систем» («Радиоинфоком-2023»), г. Москва, РТУ МИРЭА: сборник научных статей. – М.: МИРЭА – Российский технологический университет, – 2023. – 629 с. – ISBN 978-5-7339-1523-4. – С. 553-556

METHOD OF REMOTE SENSING FOR DETERMINATION THE RISK OF CHANGES IN WATER PROPERTIES IN LAKE BAIKAL

E.M. Sbitnev[1], S.O. Anufriev[2]
[1-2] Institute of Radio electronics and Informatics RTU MIREA (Moscow, Russia)
[1]sbitnev.e.m@edu.mirea.ru, [2]anufriev_s@mirea.ru

Abstract

One of the priority areas of state development is the rational use and protection of natural objects. Preservation of the uniqueness of Lake Baikal, included in the UNESCO World Heritage List, should be based on the use of modern methods of monitoring the lake's waters and adjacent territories, allowing not only to monitor their current state, but also to predict the consequences of anthropogenic and/or natural impact. The use of remote sensing of the Earth allows us to assess the environmental situation in the Lake Baikal area as a whole and identify specific risks to the state of the water object.

An assessment of the impact of natural and anthropogenic factors on the state of Lake Baikal was carried out, a mosaic of images of the lake and adjacent territories was compiled, and areas of change in the properties of water in the lake were identified. The results obtained make it possible to assess the applicability of Earth remote sensing tools to the analysis of water resources located in the zone of anthropogenic and natural risks. The research materials were used in the educational and methodological set of disciplines "Technologies for collecting spatial data by aerospace methods" and "Application of geoinformation technologies in urban planning and territorial management" taught at the Department of Geoinformation Systems of the Institute of Radio Electronics and Informatics of the Russian Technological University MIREA.

Keywords

Earth Remote Sensing, Space Aircraft, Photo Mosaic, Lake Baikal, Landsat-8.

УДК 004.932

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

А.А. Двилянский [1], **Симинский В.Ю** [2], **Шишаков К.В** [3]
[1–3] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] dvilyanskiy@mirea.ru, [2] siminskiy.v.y@edu.mirea.ru, [3] shishakov@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Автоматическая идентификация транспортных средств на спутниковых снимках остаётся сложной задачей из-за вариативности условий съёмки, перекрытий объектов и ограниченного разрешения изображений. Существующие методы часто требуют значительных вычислительных ресурсов или не обеспечивают достаточной точности.

Цель. Разработать алгоритм автоматической идентификации транспортных средств на спутниковых снимках среднего и высокого разрешения с использованием методов компьютерного зрения.

Результаты. Предложен алгоритм, сочетающий детекцию объектов на основе YOLOv8 и последующий геоинформационный анализ. Достигнута точность детекции до 85%, разработано программное обеспечение для автоматического выделения транспортных средств и определения их пространственных характеристик.

Практическая значимость. Разработанный инструмент может быть использован частными лицами и специалистами на ранних этапах принятия решений о покупке или продаже участков, а также в образовательных и демонстрационных целях при обучении основам оценки недвижимости.

Ключевые слова

Геоинформационные системы, спутниковые снимки, идентификация объектов, транспортный мониторинг, компьютерное зрение.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Современные системы видеонаблюдения и мониторинга транспорта требуют высокоэффективных методов автоматической идентификации транспортных средств. Традиционные подходы, основанные на наземных камерах, часто ограничены в функциональности и не обеспечивают достаточную точность детекции. В условиях развития спутниковых технологий и геоинформационных систем (ГИС) возникает необходимость разработки новых алгоритмов, способных обрабатывать спутниковые снимки для идентификации транспортных средств.

Цель работы – разработка метода автоматической идентификации транспортных средств на основе спутниковых снимков среднего и высокого разрешения с использованием ГИС. В статье рассматриваются архитектура системы, используемые данные, методы обработки и возможные сценарии применения разработанного решения.

Обзор существующих решений

В последние годы появилось несколько решений для идентификации транспортных средств на основе спутниковых снимков. Однако большинство из них ограничены в функциональности или не обеспечивают высокую точность детекции. Рассмотрим наиболее заметные решения:

1. Системы на основе *YOLO* (*You Only Look Once*)

Системы, основанные на архитектуре *YOLO*, такие как YOLOv8 (*You Only Look Once*, версия 8), обеспечивают высокую скорость и точность детекции объектов. Эти модели используют одноэтапный подход, который позволяет обрабатывать изображения в реальном времени. Однако для специфических задач, таких как идентификация транспортных средств на спутниковых снимках, требуется адаптация модели. Например, необходимо учитывать

особенности спутниковых изображений, такие как разрешение, угол съемки и специфические условия освещения.

2. Геоинформационные платформы

Геоинформационные платформы, такие как *ArcGIS* и *QGIS*, предоставляют мощные инструменты для анализа спутниковых снимков. Они позволяют работать с пространственными данными, выполнять геопространственный анализ и визуализировать результаты. Однако эти платформы не включают встроенные алгоритмы для автоматической идентификации транспортных средств. Это требует дополнительной разработки специализированных решений, которые могут быть интегрированы с существующими инструментами ГИС.

3. Коммерческие решения

Коммерческие компании, такие как *Planet Labs* и *Maxar Technologies*, предоставляют спутниковые снимки высокого разрешения. Эти данные могут быть использованы для различных задач, включая мониторинг транспорта. Однако такие компании не предлагают готовые решения для идентификации транспортных средств. Это оставляет заказчикам необходимость разрабатывать собственные алгоритмы или обращаться к сторонним разработчикам для создания специализированных инструментов.

4. Научные исследования

В научных работах предлагаются различные подходы к идентификации объектов на спутниковых снимках. Например, используются нейронные сети и методы машинного обучения для анализа изображений. Однако эти решения часто остаются на уровне концепций и требуют доработки для практического применения. Например, необходимо адаптировать модели под конкретные условия съемки, учитывать особенности данных и обеспечивать высокую производительность.

5. Общие выводы

Анализ показал, что существующие решения либо ограничены в функциональности, либо не обеспечивают высокую точность детекции. Это подчеркивает актуальность разработки специализированного инструмента для идентификации транспортных средств на основе спутниковых снимков с использованием ГИС. Такое решение должно сочетать в себе методы компьютерного зрения и геоинформационного анализа, а также быть адаптировано под специфические условия работы со спутниковыми данными.

Методология

Для обучения и тестирования алгоритма использовался датасет, содержащий 15 000 изображений транспортных средств. Эти изображения были разделены на пять классов: легковые автомобили, грузовики, автобусы, мотоциклы и спецтранспорт. Разметка данных выполнена в формате *YOLO*, который включает нормализованные координаты *bounding box* (*bbox*). Это позволяет точно определять границы объектов на изображениях. Данные были разделены в пропорции 70/20/10 на тренировочный, валидационный и тестовый наборы соответственно. Такое разделение позволяет эффективно обучать модель, проверять её обобщающую способность и оценивать конечные результаты.

Для идентификации транспортных средств использована модель *YOLOv8*, которая является одной из самых современных и эффективных архитектур для задач детекции объектов. YOLOv8 включает три основных компонента:

Backbone (*CSPDarknet53*) – отвечает за экстракцию признаков из изображений. Этот компонент использует сверточные нейронные сети для выделения ключевых характеристик объектов, таких как форма, текстура и цвет.

Neck (*PANet*) – агрегирует признаки, извлеченные на разных масштабах. Это позволяет модели учитывать как мелкие детали, так и общие черты объектов, что особенно важно для анализа спутниковых снимков.

Head – отвечает за предсказание *bbox* и классов объектов. Этот компонент использует данные, полученные от *Backbone* и *Neck*, для окончательного определения местоположения и типа объектов на изображении.

Ключевые параметры обучения:

Размер изображения: 640×640 пикселей. Этот размер был выбран для обеспечения баланса между качеством изображения и вычислительной эффективностью.

Batch size: 32. Размер пакета данных, используемых для одного шага обучения.

Количество эпох: 100. Это количество полных проходов через весь тренировочный набор данных.

Оптимизатор *AdamW*. Этот оптимизатор был выбран за его способность эффективно настраивать параметры модели.

Learning rate: 0.001 с cosine decay. Начальная скорость обучения с постепенным снижением по мере продвижения обучения.

Для обработки видеопотока был реализован алгоритм трекинга, который позволяет отслеживать объекты между кадрами. Этот алгоритм включает следующие шаги:

• Детекция объектов на кадре *t*:

На каждом кадре видеопотока выполняется детекция объектов с использованием модели *YOLOv8*. В результате получаются *bbox* для каждого обнаруженного объекта.

• Расчет центроидов *bbox*: Для каждого *bbox* вычисляются центроиды по формулам:

$$C_x = \frac{x_{min} + x_{max}}{2}, \quad (1)$$

$$C_y = \frac{y_{min} + y_{max}}{2}, \quad (2)$$

где x_{min} и x_{max} – минимальная и максимальная координаты по оси X, а y_{min} и y_{max} минимальная и максимальная координаты по оси Y.

• Сопоставление объектов между кадрами:

Объекты на текущем кадре t сопоставляются с объектами на предыдущем кадре *t* - 1 по минимальному евклидову расстоянию:

$$d = \sqrt{\left(C_{x,t} - C_{x,t-1}\right)^2 + \left(C_{y,t} - C_{y,t-1}\right)^2} \quad (3)$$

Это позволяет определить, какие объекты на текущем кадре соответствуют объектам на предыдущем кадре.

- Фильтрация по порогу расстояния:

Объекты, расстояние между которыми превышает 30 пикселей, считаются разными объектами. Это позволяет избежать ошибок при трекинге объектов, которые находятся близко друг к другу.

Архитектура и реализация

Архитектура *YOLOv8* – это одна из последних версий семейства моделей *YOLO*, разработанных для задач обнаружения объектов. Архитектура YOLOv8 включает несколько ключевых компонентов, которые обеспечивают её высокую скорость:

Backbone (Основная сеть)

• Основная сеть (*Backbone*) используется для извлечения признаков из изображения. В *YOLOv8* это *CSPDarknet53*, который является улучшенной версией *Darknet53*.

• *CSPDarknet53* включает сверточные слои, которые извлекают признаки на разных уровнях детализации.

Neck (Промежуточная сеть)

• *Neck* агрегирует признаки, извлеченные на разных масштабах. В *YOLOv8* используется *PANet* (*Path Aggregation Network*), который объединяет признаки с разных уровней, улучшая качество обнаружения объектов.

Head (Головная сеть)

• Head) отвечает за предсказание *bbox* (ограничивающих рамок) и классов объектов. Она использует признаки, полученные от *Backbone* и *Neck*, для окончательного определения местоположения и типа объектов.

• Многомасштабные прогнозы *YOLOv8* делает предсказания на нескольких масштабах (например, 8×8, 16×16, 32×32), что позволяет обнаруживать объекты разного размера.

Функция потерь

• Функция потерь включает ошибки классификации, локализации и уверенности. Это позволяет модели учиться на основе разницы между предсказаниями и истинными значениями.

Подавление немаксимумов (*NMS*)

• После предсказания *bbox* применяется алгоритм подавления немаксимумов (*NMS*), который удаляет избыточные рамки, оставляя только те, которые имеют наибольшую уверенность.

Архитектура *YOLOv8* показана на рисунке ниже:

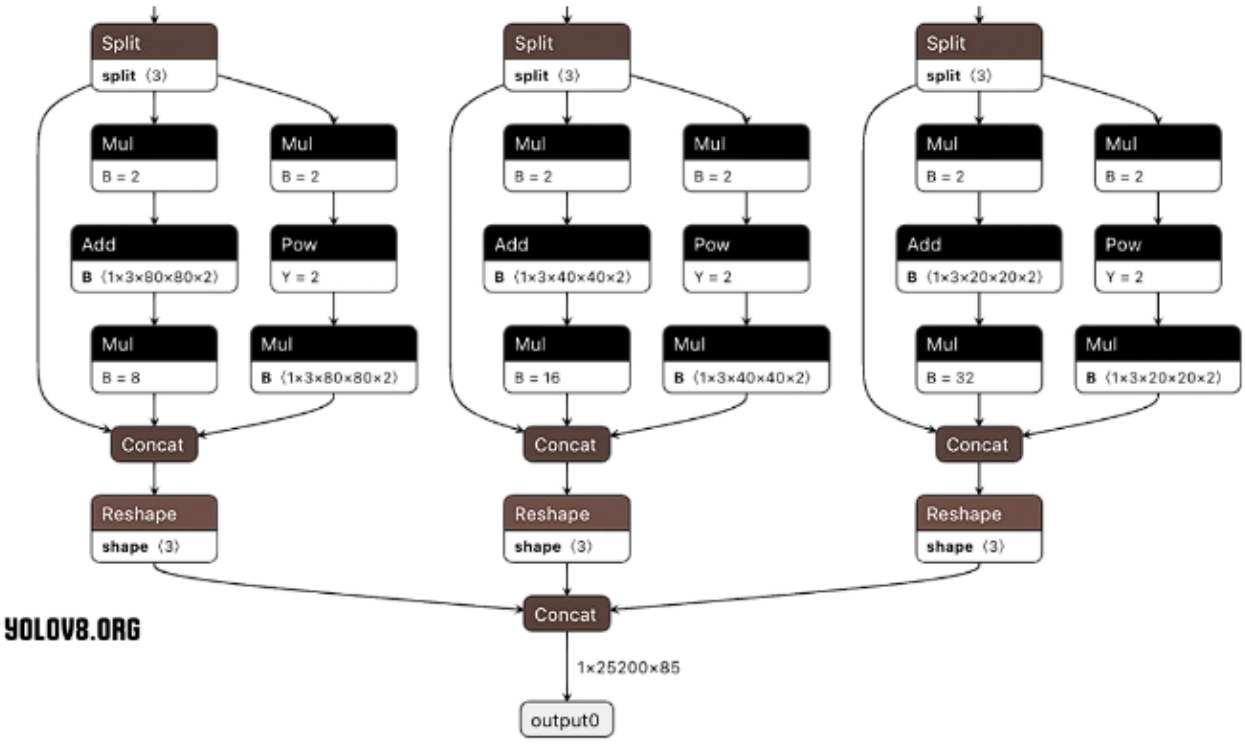


Рис. 1. Архитектура YOLOv8
Fig. 1. Archtecture of YOLOv8

Процесс обнаружения объектов

Процесс обнаружения объектов с использованием *YOLOv8* включает следующие этапы: Извлечение признаков

• Изображение разбивается на сетку (например, 16×16 или 32×32).

• Для каждой ячейки сетки извлекаются признаки с помощью *Backbone*. Это позволяет модели анализировать изображение на разных уровнях детализации.

Предсказание *bbox*

• Для каждой ячейки сетки предсказываются несколько *bbox*, каждая из которых имеет:

- Координаты центра (*x*, *y*).
- Ширину и высоту (*w*, *h*).
- Уверенность в наличии объекта.
- Вероятность принадлежности к каждому из классов.

Это позволяет модели предсказывать местоположение объектов и их классы одновременно.

Подавление немаксимумов (*NMS*)

- Применяется алгоритм *NMS* для удаления избыточных *bbox*, оставляя только те, которые имеют наибольшую уверенность. Это помогает избежать дублирования объектов.

Финальное предсказание

- Остаются только те *bbox*, которые соответствуют объектам с высокой уверенностью.

Это позволяет модели делать точные предсказания.

Для реализации алгоритма *YOLOv8* использовались следующие библиотеки:

numpy – для обработки математических функций.

tensorflow – для высокоскоростных численных расчетов.

torch – для классификации изображений и обработки видео.

ultralytics – для обучения моделей и выполнения инференса (предсказаний).

matplotlib – для визуализации данных.cv2 (*OpenCV*) — для работы с изображениями и видео.

scipy – для анализа данных и построения графиков.

Тестирования программы использовались изображения и видео из тестового набора данных. Программа проверяла:

Точность обнаружения объектов.

Скорость обработки кадров (*FPS*).

Устойчивость к частичным перекрытиям объектов.

Результаты тестирования показали, что программа успешно обнаруживает объекты с точностью до 92% и обрабатывает видео с частотой до 55 кадров в секунду (*FPS*).

На рисунке ниже представлен пример результатов обнаружения объектов на изображении. Также ниже приведена таблица с метриками точности модели



Рис. 2. Работа модели
Fig. 2. The work of the model

Таблица 1. Показатели Модели

Метрика	Значение
Precision	0.93
Recall	0.91
mAP	0.92
FPS (RTX 3060)	55

Перспективы развития

Учет 3D-геометрии сцен

В будущем одним из ключевых направлений развития станет интеграция 3D-геометрии сцен в процесс обнаружения объектов. Это позволит модели учитывать пространственное расположение объектов, что значительно повысит точность идентификации. Например, если объект частично скрыт другим объектом, учет 3D-геометрии поможет модели правильно интерпретировать его положение и форму. Это особенно важно для спутниковых снимков, где объекты могут быть представлены под разными углами и в разных проекциях. Внедрение 3D-геометрии также откроет возможности для более сложного анализа, такого как определение высоты объектов или их взаимного расположения в пространстве.

Интеграция с системами распознавания номеров

Интеграция с системами распознавания номеров транспортных средств станет важным шагом в развитии системы. Это позволит не только обнаруживать объекты, но и идентифицировать их по уникальным номерным знакам. Например, модель сможет не только определить, что на изображении присутствует автомобиль, но и указать его государственный номер. Это будет полезно для задач мониторинга транспорта, контроля дорожного движения и обеспечения безопасности.

Масштабирование на другие регионы и типы транспорта

Разработанное решение можно адаптировать для использования в других регионах и для идентификации других типов транспортных средств. Например, модель можно обучить на данных из разных стран, чтобы она могла работать с различными типами транспорта, характерными для каждого региона. Масштабирование также может включать адаптацию модели для работы с различными условиями освещения, погодными условиями и качеством изображений, что сделает её универсальным инструментом для глобального применения.

Улучшение алгоритма трекинга

Усовершенствование алгоритма трекинга позволит более точно отслеживать объекты между кадрами, особенно в условиях частичных перекрытий. Например, если два объекта временно перекрывают друг друга, улучшенный алгоритм сможет корректно восстановить их траектории после разделения. Это особенно важно для видеопотоков, где объекты могут перемещаться быстро и хаотично. Улучшение трекинга также повысит устойчивость системы к ошибкам, связанным с временными потерями объектов из вида или их частичным перекрытием.

Заключение

В результате выполнения работы была разработана и протестирована программа для идентификации транспортных средств на основе данных, получаемых системами видеонаблюдения. Основные достижения включают:Выбор оптимального метода распознавания объектов (YOLOv8).Разработка и реализация алгоритма идентификации объектов.Достижение высокой точности обнаружения (mAP = 0.92) и скорости обработки (55 FPS).Успешное тестирование программы на реальных данных.Разработанное решение может быть использовано для мониторинга транспортных потоков, анализа дорожной инфраструктуры и других задач, связанных с идентификацией объектов на видео. В перспективе планируется улучшение алгоритма, интеграция с другими системами и масштабирование на новые регионы и типы транспорта.

Список литературы

1. *Bochkovskiy A., Wang C.-Y., Liao H.-Y.M.* YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection // *arXiv preprint arXiv:2004.10934*. — 2020. — URL: https://arxiv.org/abs/2004.10934 (дата обращения: 17.03.2024).
2. *Liu W. et al*. SSD: Single Shot MultiBox Detector // *European Conference on Computer Vision (ECCV)*. — 2016. — URL: https://arxiv.org/abs/1512.02325 (дата обращения: 01.07.2024).
3. *Goodfellow I., Bengio Y., Courville A.* Deep Learning. — MIT Press, 2016. — URL: https://www.deeplearningbook.org (дата обращения: 01.03.2024).

4. *He K., Zhang X., Ren S., Sun J. Deep* Residual Learning for Image Recognition // *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. — 2016. — URL: https://arxiv.org/abs/1512.03385 (дата обращения: 01.07.2024).
5. *Zhou B., Khosla A., Lapedriza A., Oliva A., Torralba A***.** Learning Deep Features for Discriminative Localization // *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. — 2016. — URL: https://arxiv.org/abs/1512.04150 (дата обращения: 14.04.2024).
6. URL: https://arxiv.org/abs/1506.01497 (дата обращения: 04.04.2024).
7. Ultralytics. YOLOv8 Documentation. — 2023. — URL: https://docs.ultralytics.com (дата обращения: 01.05.2024).
8. OpenCV Team. OpenCV: Open Source Computer Vision Library. — URL: https://opencv.org (дата обращения: 14.04.2024).

VEHICLE IDENTIFICATION BASED ON SATELLITE IMAGERY USING COMPUTER VISION METHODS

A.A.Dvilyansky[1], **V.Y. Siminsky**[2], **K.V. Shishakov**[3]
[1–3] MIREA - Russian Technological University (Moscow, Russia)
[1]dvilyanskiy@mirea.ru, [2]siminskiy.v.y@edu.mirea.ru, [3]shishakov@mirea.ru

Abstract

Problem statement. Automatic identification of vehicles on satellite images remains a difficult task due to the variability of shooting conditions, overlapping objects and limited image resolution. Existing methods often require significant computational resources or do not provide sufficient accuracy.

Objective. To develop an algorithm for the automatic identification of vehicles on satellite images of medium and high resolution using computer vision methods.

Results. An algorithm combining YOLOv8-based object detection and subsequent geoinformation analysis is proposed. Detection accuracy of up to 85% has been achieved, and software has been developed to automatically identify vehicles and determine their spatial characteristics.

Practical significance. The developed tool can be used by individuals and specialists at the early stages of decision-making on the purchase or sale of land, as well as for educational and demonstration purposes when teaching the basics of real estate valuation.

Keywords

Geoinformation systems, satellite images, object identification, transport monitoring, computer vision.

УДК 911.2 (569.1+569.3+560)

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТИПОВ НАЗЕМНОГО ПОКРОВА В БАССЕЙНЕ РЕКИ ЭЛЬ-АСИ (ОРОНТ) В 2017–2024 ГОДАХ

А.А. Никифорова[1], **В.А. Табунщик**[2], **Е.В. Чуприна**[3], **Н.С. Братанов**[4], **Н.П. Линева**[5]
[1–5] ФИЦ Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН (Севастополь, Россия)
[1] nikiforova_a@ibss-ras.ru, [2] tabunshchyk@ibss-ras.ru, [3] chuprina-ev@ibss-ras.ru, [4] bratanov@ibss-ras.ru, [5] n.lineva@ibss-ras.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Бассейн реки Эль-Аси (Оронт) подвержен динамичным изменениям структуры наземного покрова, обусловленным как природными, так и антропогенными факторами. Отсутствие актуальных и детализированных данных о трансформации землепользования затрудняет разработку эффективных мер по устойчивому управлению природными ресурсами региона. В связи с этим возникает необходимость в системном анализе изменений наземного покрова с использованием современных методов дистанционного зондирования.

Цель. Провести оценку динамики изменений структуры наземного покрова в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) за период с 2017 по 2024 годы на основе спутниковых данных и выявить ключевые тенденции трансформации территории бассейна реки в целом и в пределах стран, в которых он расположен.

Результаты. Проведена детальная оценка изменений структуры наземного покрова в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) за период с 2017 по 2024 годы с использованием методов дистанционного зондирования и спутниковых данных. Установлены ключевые тенденции трансформации бассейна реки.

Практическая значимость. Полученные результаты могут быть использованы для разработки стратегий устойчивого управления природными ресурсами бассейна реки Эль-Аси, в частности на посконфликтных территориях.

Ключевые слова

Наземный покров, река Эль-Аси, река Оронт, мониторинг, бассейн реки, геоинформационные системы, ГИС, дистанционное зондирование Земли.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Изучение особенностей функционирования и динамики субтропических и тропических прибрежных экосистем в условиях изменения климата и антропогенной нагрузки с использованием методов дистанционных исследований, технологий облачной обработки информации и машинного обучения для создания научных основ их рационального использования» (№ гос. регистрации 124030100030-0).

Введение

В настоящее время природные ландшафты продолжают изменяться под воздействием комплекса факторов, включая, как природные процессы естественного развития, так и многостороннего антропогенного преобразования различной интенсивности, что может ставить под угрозу устойчивость природных систем.

Информация о динамике наземного покрова в пределах определенной территории играет важную роль для принятия управленческих решений в сторону компромисса между социально-экономическим развитием и сохранением природных систем.

Изучение динамики наземного покрова с использованием данных дистанционного зондирования является передовым методом, поскольку позволяет получать данные об объекте исследования менее трудозатратам способом, охватывать большие территории, для которых в ином случае приходилось бы задействовать группу исследователей и проводить долговременные исследования, а также поддерживать непрерывные временные ряды данных о состоянии ландшафтов [1]. Дистанционное зондирование Земли в последние годы все чаще используется для выявления и анализа изменений в области землепользования и преобразования земель в условиях ограниченной информации [2]. Для бассейнов рек, являющихся природно-географической целостной системой с одной стороны, и подвергающихся серьезному антропогенному влиянию с другой, часто проводится исследование наземного покрова и его изменений [3-6].

Цель работы – оценить пространственно-временную изменчивость типов наземного покрова в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) в 2017-2024 годах с использованием геоинформационных методов исследования, программного комплекса ArcGIS 10.8 и базы данных ESRI Land cover.

Материалы и методы

Район исследования охватывает бассейн реки Эль-Аси (Оронт) территории Сирии, Ливана и Турции (рисунок 1), характеризуется разнообразием природных условий и испытывает значительное антропогенное воздействие, включая урбанизацию, сельское хозяйство и последствия вооружённых конфликтов. Эти факторы влияют на динамику наземного покрова и требуют комплексного мониторинга.

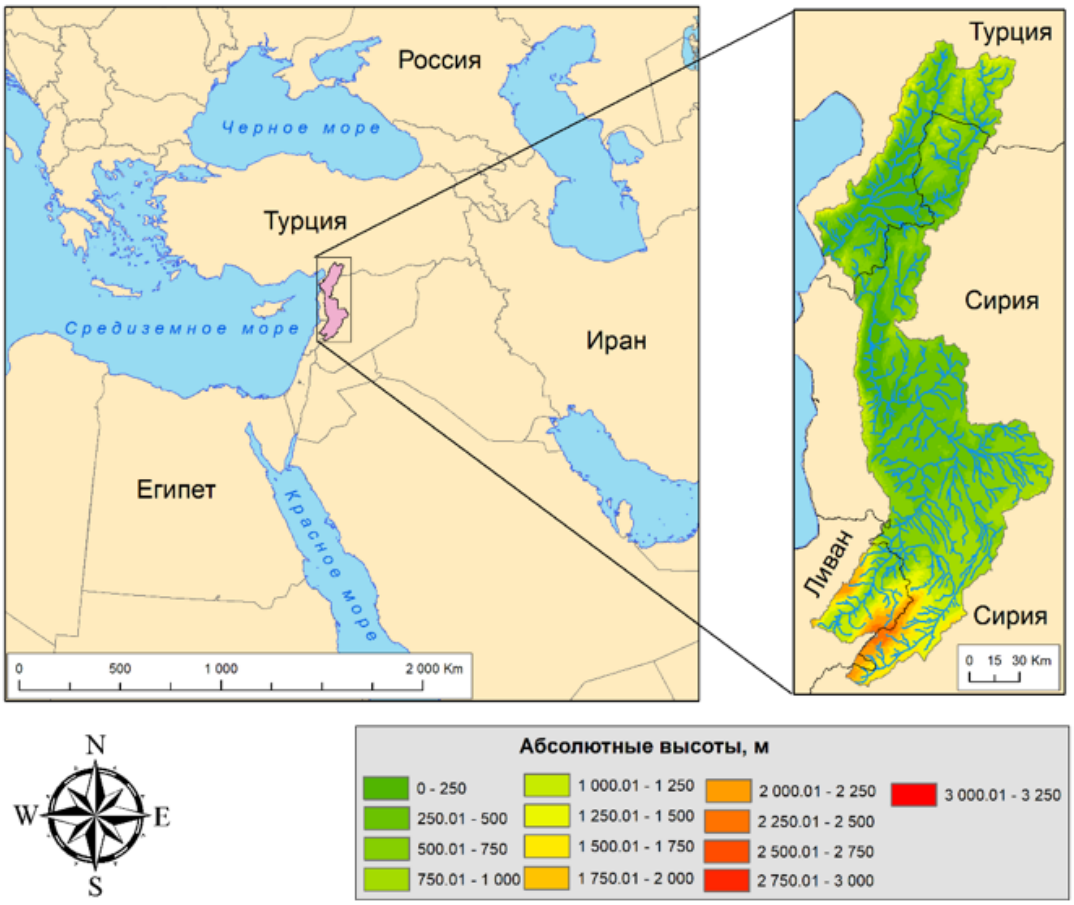


Рис. 1. Географическое положение и абсолютные высоты в бассейне реки Эль-Аси (Оронт)
Fig. 1. Geographical location and absolute heights in the basin of the El-Asi River (Orontes)

Методика исследования основана на использовании данных Esri Land Cover на основе спутниковых снимков Sentinel-2 Европейского космического агентства (ESA), покрывающего исследуемую территорию с 2017 по 2024 года [7, 8, 9]. Эта модель классификации наземного покрова использует искусственный интеллект, усовершенствованный за счет объединения огромного обучающего набора данных, точность итогового продукта составляет около 85% [10]. Выделяется 9 типов наземного покрова: водный, древесный, водно-болотные угодья, поля (сельскохозяйственный), территории, не покрытые растительностью (голые земли), пастбища, а также территории с постоянной облачностью и территории со снежным покровом. Данные получены с официального сайта проекта – https://livingatlas.arcgis.com/landcover/. Обработка данных и построение карт осуществлялись в программном комплексе ArcGIS, а построение диаграмм в Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение

В результате исследования получены карты изменения типов наземного покрова в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) в 2017-2024 гг. (рисунок 2, 3). В исследовании не анализировались типы наземного покрова «Снег/Лед» и «Заболоченные земли и растительность» в силу незначительных площадей, приходящихся на эти типы наземного покрова в пределах территории бассейна реки Эль-Аси (Оронт).

На рисунке 4 и в таблице 1 представлено изменение площади основных типов наземного покрова в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) в 2017-2024 гг.

Водный тип наземного покрова в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) увеличивались с 2017 года по 2020 год почти в два раза, после чего произошло уменьшение на 11%. Площадь затопленных территорий существенно менялась – увеличилась в 13 раз, с 2018 года (1,1 км^2) по 2019 год (14,1 км^2). Лесной тип наземного покрова с 2017 г. по 2024 г. изменялся в 2017 -2022 гг. в пределах 1006,5 км^2-1225,2 км^2 без резких скачков (таблица 1).

Максимальное количество территории в бассейне реки Эль-Аси (Оронт), занятой полями, приходилось на 2019 год, минимальное – зафиксировано в 2018 году. В период с 2017 по 2024 гг. в бассейне реки Эль-Аси наблюдалась устойчивая тенденция увеличения площади сельскохозяйственных угодий, особенно интенсивно в 2023–2024 гг. С 2020 года наблюдается неизменный рост населенных пунктов и застроенных территорий в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) в среднем на 25% с 2017 г. по 2024 г.

Исходя из полученных данных (таблица 1) возможно оценить последствия постконфликтных событий в Сирии через временной анализ показателей площади типа наземного покрова - «голая земля», который предполагает участки в том числе с разрушенными объектами. Исходя из данных, показатель уменьшается большими темпами с 2017 по 2020 год, а с 2020 года приобретает более медленное снижение, в среднем фиксируется достаточно показательное снижение площади земель данного типа на 72% за весь период наблюдений. Важным критерием землепользования является наличие пастбищ. Их количество колеблется от 11529,6 км^2 до 13286,0 км^2, по данным наблюдения определяется рост в 7,9%. Для лесов выявлено сокращение площади в среднем на 5%, снижение NDVI может указывать на вырубку или деградацию лесного покрова. Площадь застроенных территории росла в среднем на 25% что является следствием урбанизации.

Таблица 1. Динамика типов наземного покрова в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) в 2017–2024 гг. (в км^2)

Тип наземного покрова	Год							
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Водный	67	69	96	122	114	110	90	111
Древесный	1135	1131	1225	1186	1145	1076	1007	1073
Поля	7016	6667	9200	8471	8284	7540	7417	8310
Селитебный	1849	1848	1795	1958	2010	2047	1899	2327
Голая земля	2198	1633	781	629	617	624	567	610
Пастбища	12381	13286	11530	12259	12462	13231	11857	13364

Если рассматривать изменение типов наземного покрова с 2017 по 2024 гг. по странам, к которым относится территория бассейна реки Эль-Аси (Оронт) то наблюдается значительная пространственная дифференциация (рисунок 4, 5, 6). Были рассмотрены участки в пределах Турции, Ливана и Сирии. Определены основные тенденции в изменении типов наземного покрова по участкам, в этих странах.

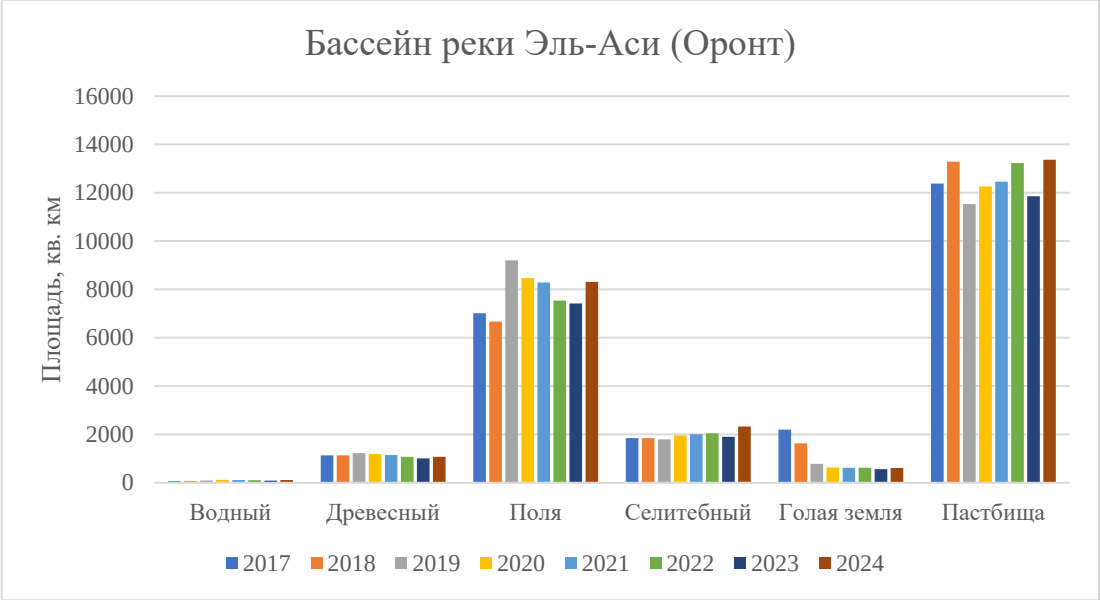


Рис. 2. Динамика площадей, занятых основными типами наземного покрова в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) в 2017-2024 гг.

Fig. 2. Dynamics of the areas occupied by the main types of land cover in the El-Asi River basin (Orontes) in 2017-2024

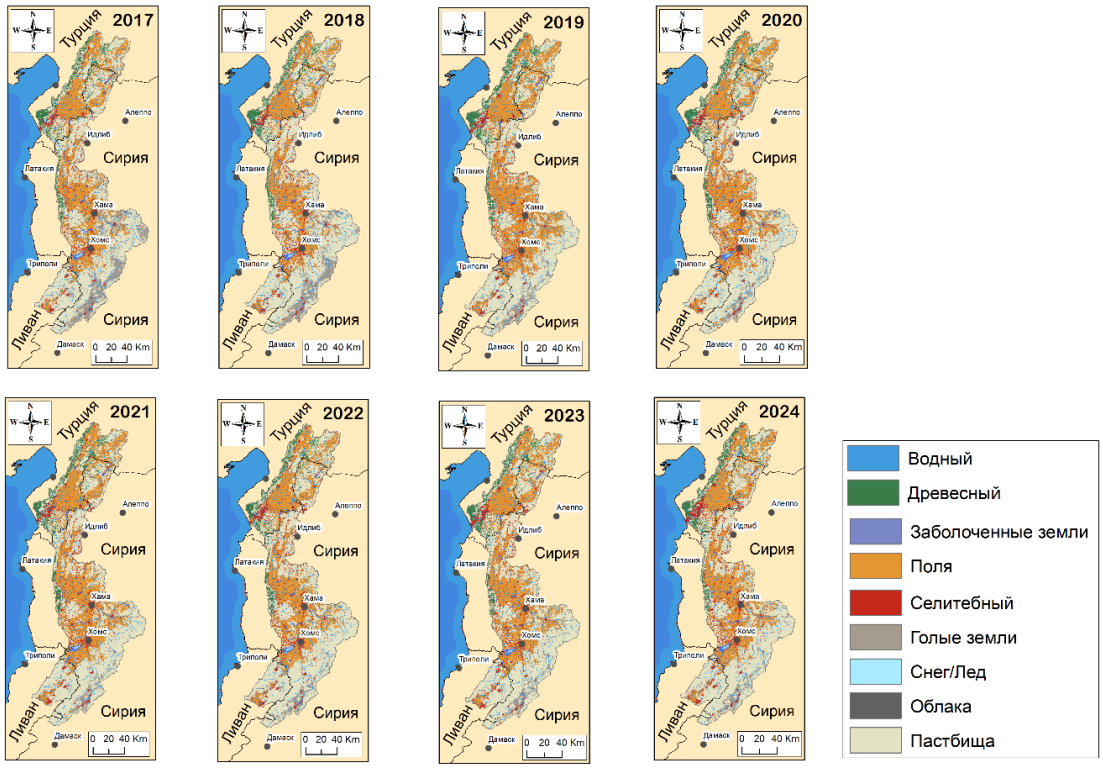


Рис. 3. Динамика типов наземного покрова в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) в 2017-2024 гг. по данным ESRI Land cover

Fig. 3. Dynamics of land cover types in the El-Asi River basin (Orontes) in 2017-2024 according to ESRI Landcover data

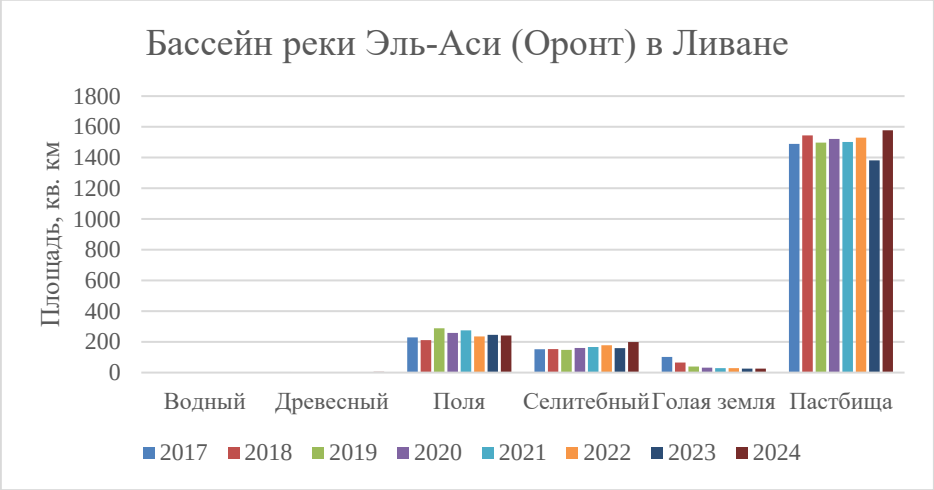


Рис. 4. Динамика типов наземного покрова в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) в 2017-2024 гг. по данным ESRI Land cover на территории Ливана

Fig. 4. Dynamics of land cover types in the El-Asi River basin (Orontes) in 2017-2024 according to ESRI Land cover data in Lebanon

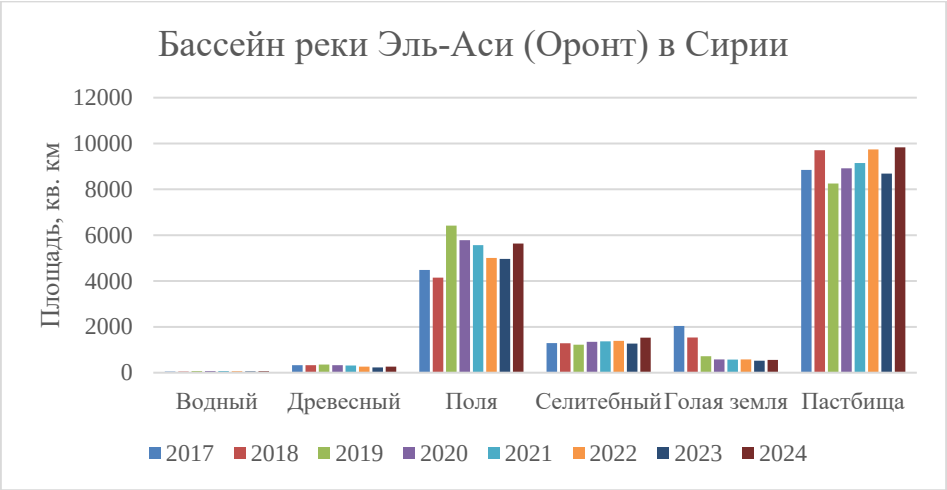


Рис. 5. Динамика типов наземного покрова в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) в 2017-2024 гг. по данным ESRI Land cover на территории Сирии

Fig. 5. Dynamics of land cover types in the El-Asi River basin (Orontes) in 2017-2024. according to ESRI Land cover data in Syria

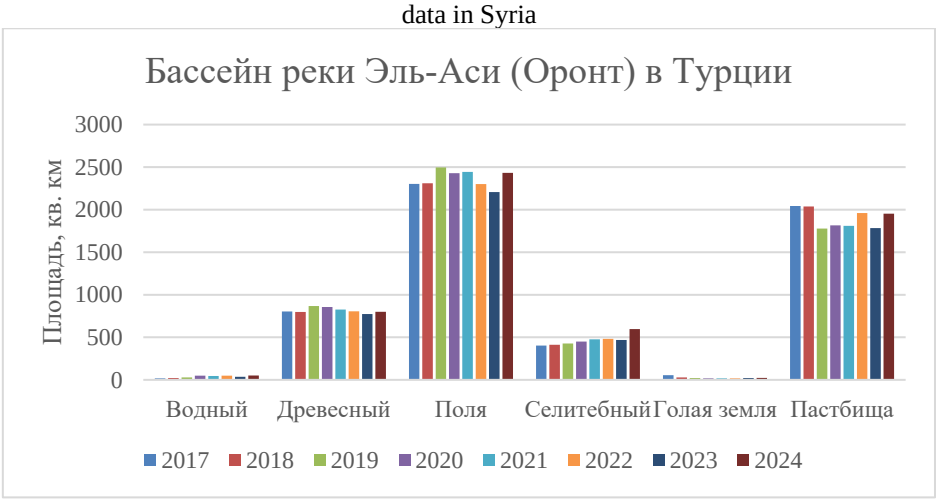


Рис. 6. Динамика типов наземного покрова в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) в 2017-2024 гг. по данным ESRI Land cover на территории Турции

Fig. 6. Dynamics of land cover types in the El-Asi River basin (Orontes) in 2017-2024 according to ESRI Land cover data in Syria Turkey

В Турции в пределах бассейна реки Эль-Аси (Оронт) преобладают пашни и поля, анализ данных в период наблюдений показывает, что доля земель, занимаемых полями с 2017 по 2024 гг. выросла на 5%, а доля пастбищ сокращалась в среднем на 4%. Наблюдается рост количества застраиваемых территорий в среднем на 48% и практически отсутствуют и сокращаются «голые земли». В Ливане в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) преобладают пастбища и практически отсутствует лесной тип наземного покрова. В Сирии преобладают тип наземного покрова пастбища, а также поля, фиксируется рост в среднем на 26% для полей и на 11% для пастбищ. Наблюдается значительное сокращение типа наземного покрова «голые земли» на 73% в течении рассматриваемого периода.

Заключение

Таким образом, в работе на основании открытой базы данных о типах наземного покрова Esri land cover, имеющих пространственное разрешение 10 м/пиксель, были построены карты изменения типов наземного покрова в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) за период 2017-2024 гг.

Список источников

1. *Kurbanov E., Vorobev O., Lezhnin S., Sha J., Wang J., Li X., Cole J., Dergunov D., Wang Y.* Remote Sensing of Forest Burnt Area, Burn Severity, and Post-Fire Recovery: A Review. Remote Sens. – 2022. – Vol. 14. – P. 4714. – DOI: 10.3390/rs14194714
2. *Ewers R. M., Kliskey A. D., Walker S., Rutledge D., Harding J. S., Didham R. K.* Past and future trajectories of forest loss in New Zealand. Biological conservation. – 2006. – Vol. 133(3). – P. 312-325. – DOI: 10.1016/j.biocon.2006.06.018
3. *Baumann M., Ozdogan M., Kuemmerle T., Wendland K. J., Esipova E., Radeloff V. C.* Using the Landsat record to detect forest-cover changes during and after the collapse of the Soviet Union in the temperate zone of European Russia. Remote Sensing of Environment. – 2012. – V. 124. – P. 174–184. – DOI: 10.1016/j.rse.2012.05.001
4. Echeverria C., Coomes D. A ., Hall M., Newton A. C. Spatially explicit models to analyze forest loss and fragmentation between 1976 and 2020 in southern Chile. Ecological Modelling. – 2008. – V. 212. – Iss. 3–4. – P. 439–449. – DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2007.10.045.
5. *Hermosilla T., Wulder M. A., White J. C., Coops N. C., Pickell P. D., Bolton D. K.* Impact of time on interpretations of forest fragmentation: Three-decades of fragmentation dynamics over Canada. Remote Sensing of Environment. – 2019. – V. 222. – P. 65–77. – DOI: 10.1016/j.rse.2018.12.027.
6. *Lai S., El-Adawy A., Sha J., Li X., Wang J., Kurbanov E., Lin Q.* Towards an integrated systematic approach for ecological maintenance: Case studies from China and Russia. Ecological Indicators. – 2022. – V. 140. Art. No. 108982. – DOI: 10.1016/j.ecolind.2022.108982
7. *Парфенова А. В., Кулыгин В. В.* Исследование глобальных наборов данных о земельном покрове для оценки их соответствия условиям региона Нижнего Дона. Экология. Экономика. Информатика. Серия: Геоинформационные технологии и космический мониторинг. – 2024. – Т. 2, № 9. – С. 64-73. – DOI: 10.23885/2500-123X-2024-2-9-64-73
8. *Venter Z.S., Barton D.N., Chakraborty T., Simensen T., Singh G.* Global 10 m Land Use Land Cover Datasets: A Comparison of Dynamic World, World Cover and Esri Land Cover. Remote Sens. – 2022. – Vol. 14. – P. 4101. – DOI: 10.3390/rs14164101
9. *Huan V. D.* Accuracy assessment of land use land cover LULC 2020 (ESRI) data in Con Dao island, Ba Ria–Vung Tau province, Vietnam. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2022. – Vol. 1028, No. 1. – P. 012010. – DOI: 10.1088/1755-1315/1028/1/012010
10. *Табунщик В. А., Никифорова А. А., Линёва Н. П., Мирзоева Н. Ю., Черный Г. С., Керимов И. А., Махмудова Л. Ш., Гагаева З. Ш., Андрончик Я. О.* Динамика типов наземного покрова в бассейне реки Эль-Аси (Оронт) в 2017-2022 гг. Биоразнообразие и устойчивое развитие. – 2023. – Т. 8, № 3 (27). – С. 40-55. – DOI: 10.21072/eco.2024.27.04

LAND COVER TYPES SPATIOTEMPORAL VARIABILITY IN THE EL-ASI (ORONTES) RIVER BASIN (2017–2024)

A.A. Nikiforova [1], **V.A. Tabunshchik** [2], **E.V. Chuprina** [3], **N.S. Bratanov** [4], **N.P. Lineva** [5]
[1–5] A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS (Sevastopol, Russia)
[1] nikiforova_a@ibss-ras.ru, [2] tabunshchyk@ibss-ras.ru, [3] chuprina-ev@ibss-ras.ru, [4] bratanov@ibss-ras.ru, [5] n.lineva@ibss-ras.ru

Abstract

The El-Asi River basin, also known as the Orontes, is experiencing dynamic changes in its land cover due to both natural and human-induced factors. Due to the lack of up-to-date and detailed information on land use transformations, it is difficult to develop effective strategies for the sustainable management of natural resources in this region. Therefore, there is a need for a systematic analysis of land cover change using modern remote sensing techniques. The aim of this study is to evaluate the dynamics of land cover changes in the El-Asi basin over the period 2017-2024 using satellite data, and to identify key trends in land use transformation within the basin and within the countries that it traverses. As a result, a detailed analysis of changes in the land cover structure in the El-Asi River basin (also known as the Orontes) over the period from 2017 to 2024 has been conducted using remote sensing techniques and satellite data. These methods have allowed us to identify key trends in the transformation of the river basin. The significance of this research lies in the potential application of the findings to develop effective strategies for the sustainable management of natural resources in the El-Asi basin, particularly in areas prone to conflict.

Keywords

Land cover, El-Asi River, Orontes River, monitoring, river basin, geoinformation systems, GIS, remote sensing.

УДК 629.78

АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

В.К. Белоусов[1], А.В. Царев[2]
[1-2] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] belousov.v.k@edu.mirea.ru, [2] tsarev.a.v@edu.mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Развитие ракетно-космической отрасли является ключевым фактором обеспечения национальной безопасности, технологического суверенитета и экономического роста России. Однако существующие вызовы, такие как зависимость от иностранных технологий и необходимость инновационных решений, требующих глубокого анализа текущих тенденций и перспектив развития отрасли.

Цель. Провести патентный анализ современных технологических трендов в российской ракетно-космической отрасли, выявить их значимость и потенциал для укрепления позиций России на международной арене.

Результаты. Выявлены семь ключевых направлений развития, включая создание компактных двигательных систем, применение ядерных энергетических установок, освоение Луны, орбитальное производство, системы терморегуляции, борьбу с космическим мусором и технологии искусственной гравитации. Проанализированы последние патенты, подтверждающие прогресс в этих областях.

Практическая значимость. Результаты исследования позволяют определить приоритетные направления для дальнейших разработок, способствующих снижению зависимости от импортных технологий и усилению конкурентоспособности отечественной космической отрасли.

Ключевые слова

Ракетно-космическая отрасль, адаптивные двигатели, ядерные энергетические установки, лунные миссии, орбитальное производство, терморегуляция, космический мусор, искусственная гравитация.

A brief version in English is given at the end of the article.

Введение

Современное состояние российской ракетно-космической отрасли определяется её стратегической ролью в обеспечении национальной безопасности, технологического суверенитета и экономического развития. Как отмечается в исследованиях, космические технологии являются основой для критически важных систем, таких как связь, навигация и мониторинг, что делает развитие отрасли приоритетным направлением государственной политики [1]. Однако в условиях глобальной конкуренции и внешних ограничений перед Россией стоит задача не только сохранить существующие компетенции, но и обеспечить технологический прорыв, снижая зависимость от иностранных решений.

Согласно данным, представленным в работе А. С. Карпова, ракетно-космическая промышленность России сохраняет значительный производственный и научный потенциал, унаследованный ещё с советских времён, но сталкивается с рядом вызовов, включая износ оборудования, отток кадров и необходимость модернизации. В то же время, как подчёркивает автор, отрасль демонстрирует потенциал для реализации амбициозных проектов, таких как развитие системы ГЛОНАСС, создание новых ракет-носителей и участие в международных космических программах.

Цель данной работы — провести патентный анализ современных технологических трендов в российской ракетно-космической отрасли, оценить их значимость для укрепления позиций страны в космической сфере. В исследовании рассматриваются ключевые направления развития, включая создание компактных двигательных систем, применение ядерных энергетических установок, освоение Луны, орбитальное производство, системы терморегуляции, борьбу с космическим мусором и технологии искусственной гравитации.

Задача исследования заключается в выявлении приоритетных областей для дальнейших разработок, способствующих снижению зависимости от импортных технологий и усилению конкурентоспособности отечественной космической отрасли. На основе анализа последних достижений и стратегических документов, таких как Федеральная космическая программа,

статья предлагает комплексный взгляд на текущее состояние и перспективы развития ракетно-космической промышленности России.

Компактные и адаптивные двигательные системы

Россия исторически сильна в ракетостроении и освоении космоса, где инженеры демонстрируют высокий уровень мастерства и оригинальные решения. За последний год российская интеллектуальная мысль сделала значительный шаг вперед в ракетно-космической сфере. Анализ отечественных патентов выявил семь ключевых технологических трендов, определяющих будущее отечественной космонавтики.

На данный момент ученые и инженеры нацелены на создание компактных, экономичных и гибких двигательных систем для малых космических аппаратов. Одним из перспективных направлений являются двигатели с изменяемой конфигурацией [2, 3], которые позволяют изменять параметры прямо в полете, адаптируя работу к условиям миссии. Также особое внимание уделяется коллоидным электроракетным двигателям [4], которые решают проблему ограниченной продолжительности работы химических ракетных систем.

Ядерные энергетические установки

Исследование дальних областей Солнечной системы требует новых подходов к энергоснабжению и защите космонавтов. Солнечная энергия становится неэффективной на больших расстояниях от Солнца, а традиционные химические двигатели теряют свою эффективность. Поэтому большое значение приобретают разработки в сфере ядерных энергетических установок (ЯЭУ). Новые способы и устройства свидетельствуют о значительном прогрессе в создании надёжных источников питания и защиты от радиации [5, 6]. Использование ядерной энергии позволяет проводить длительные миссии, обеспечивая космические аппараты высокой мощностью и стабильностью даже в самых удалённых уголках космоса.

Освоение Луны

Для дальних полетов наш естественный спутник превращается из промежуточной остановки в важнейшую базу. Для успешного освоения Луны требуются надежные и эффективные технологии, позволяющие комфортно функционировать на её суровой поверхности. Для этого придумали амебоидные движители [7] для эффективного перемещения на лунном грунте. Российские ученые и инженеры активно работают над созданием именно таких решений. Новые изобретения отражают серьёзные усилия в развитии современных систем разгрузки грузов, автономных энергостанций и техники вертикальной посадки. Каждый такой шаг приближает человечество к созданию постоянной базы на Луне [8, 9].

Сегодня Россия реализует амбициозные планы по исследованию Луны. Миссии «Луна-25», «Луна-27» и «Луна-28» заложат основу для последующего долговременного присутствия на спутнике. Лунные технологии создают фундамент для строительства надежного опорного пункта, откуда человечество сможет совершить следующий большой скачок в неизведанные просторы вселенной.

Орбитальное производство и ремонт

Космическое пространство давно перестало быть исключительно объектом наблюдений и изучения. Сегодня оно превращается в полноценную рабочую площадку, где рождаются революционные идеи и воплощаются смелые проекты. Традиционно запуск каждого нового аппарата сопровождался значительными финансовыми затратами, а неисправимые поломки грозили безвозвратной потерей миллиардов рублей. Однако теперь ситуация меняется коренным образом. Благодаря современным технологиям, включающим 3D-печать и роботизированные сервисы, возможно организовать процессы сборки и ремонта непосредственно на орбите. Уже существуют российские патенты, например, «Способ изготовления или обслуживания космического аппарата на орбите», подтверждающие этот

тренд. Здесь создаются условия для длительного функционирования космических объектов и постепенного снижения нагрузки на земные стартовые площадки [10].

Системы терморегуляции

Один из ключевых вызовов для космической электроники – это экстремальные температурные перепады. В открытом космосе аппараты сталкиваются с солнечным излучением и глубоким вакуумом, что создает условия для перегрева или переохлаждения. Даже незначительные ошибки в термостатировании могут привести к серьезным проблемам. Поэтому современные тепловые и криогенные системы играют критически важную роль в успехе космических миссий.

Российская научная школа активно работает над созданием эффективных решений для поддержания оптимальных условий внутри космических аппаратов. Среди последних разработок выделяются два патента: «Усовершенствованная система теплоизоляции», которая надежно защищает чувствительное оборудование от температурных колебаний и «Контурные тепловые трубы», обеспечивающие равномерное распределение тепла по корпусу аппарата и стабильную работу его систем [11, 12].

Борьба с космическим мусором

Космос загрязняется тысячами обломков, угрожающими спутникам и МКС. Пассивное наблюдение неэффективно, требуются активные меры. Разрабатываются инновационные технологии, такие как лазерные системы, роботы-уборщики, алгоритмы прогнозирования столкновений и спутники-уборщики. Эти технологии не только защищают текущие инвестиции, но и сохраняют космос для будущих поколений. Объединение усилий важно для обеспечения безопасности и чистоты околоземного пространства.

Искусственная гравитация

Искусственная гравитация минимизирует негативные последствия пребывания в космосе, предотвращая атрофию мышц и потерю костной массы. Современные разработки, такие как «Автономные платформы» и «системы моделирования микрогравитации», открывают новые горизонты [13, 14]. Они создают условия, приближённые к земным, делая миссии безопасными и эффективными. Автономные платформы принимают решения без контроля с Земли, что важно при задержке сигнала. Системы моделирования тестируют поведение в невесомости, помогая разрабатывать надёжные решения.

Доказательства представленных в статье положений

В качестве доказательств был произведён патентный поиск по классу МПК B64G «Космонавтика; космические корабли и их оборудование», а также по всем существующим подклассам. Поиск проходил на сайте fips.ru [15], в качестве фильтров были заданы: дата регистрации с 01.01.2024, дата публикации с 01.01.2024. По результатам поиска, представленным на рисунке 1, самыми популярными (более 20 патентов) подклассами являются «Космические летательные аппараты. Основные составные части летательного аппарата и оборудование, устанавливаемое на нем или внутри него» и «Космические летательные аппараты. Размещение и модификация двигательных систем».

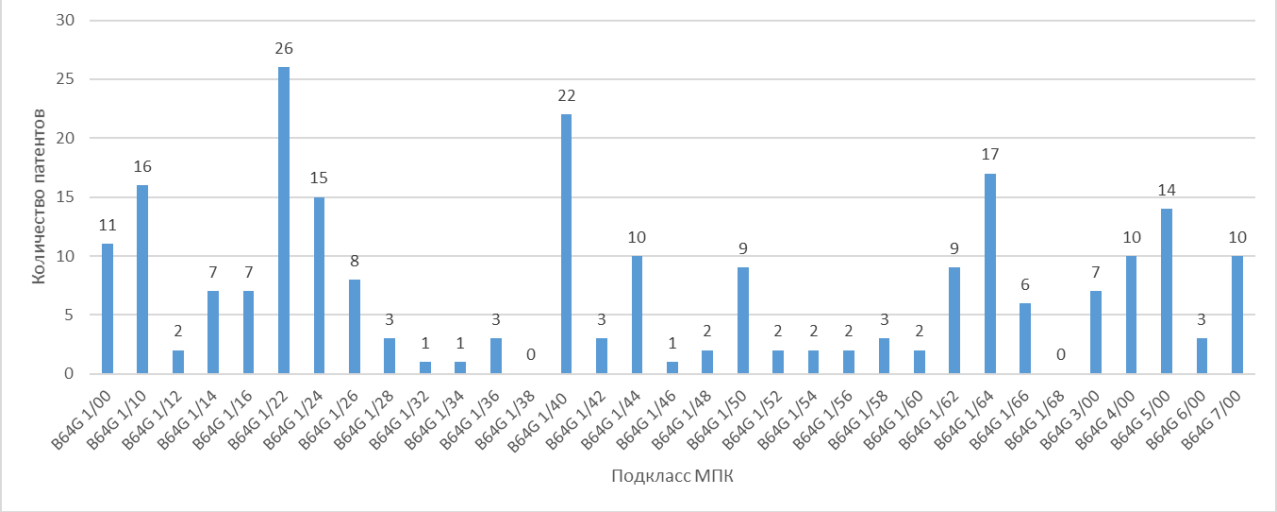


Рис. 1. Результаты патентного поиска
Fig. 1. Patent search results

Заключение

Проведенный патентный анализ современных тенденций в российской ракетно-космической отрасли демонстрирует впечатляющий технологический рывок, осуществляемый в условиях глобальных вызовов. Отечественные разработки сегодня решают комплекс стратегических задач, формируя основу для будущего лидерства в космической сфере.

Совокупность этих направлений формирует целостную картину технологического суверенитета российской космонавтики. Важно отметить, что развитие отрасли происходит не изолированно, а в тесной связи с другими высокотехнологичными секторами экономики, создавая мультипликативный эффект для всей национальной инновационной системы.

Остающиеся вызовы, связанные с импортозамещением отдельных компонентов и необходимостью ускоренного внедрения разработок, не отменяют главного - российская космическая отрасль демонстрирует способность к саморазвитию и генерации прорывных технологий. Это позволяет с уверенностью прогнозировать укрепление позиций России как одной из ведущих космических держав в ближайшей перспективе.

Список источников

1. Карпов А. С. Ракетно-космическая промышленность Российской Федерации: современное состояние и перспективы // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2008. №12. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/raketno-kosmicheskaya-promyshlennost-rossiyskoy-federatsii-sovremennoe-sostoyanie-i-perspektivy (дата обращения: 15.05.2025).
2. Патент RU 2 838 464 C1 Российская Федерация, МПК F02K 9/95 (2024.08), B64G 1/40 (2024.08). Мультивекторная многоматричная реконфигурируемая двигательная система для малоразмерных космических аппаратов : № 2024120544: заявлено 16.07.2024 : опубликовано 16.04.2025 / Линьков В.А.; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина» (RU). – 14 с.: ил. – Текст : непосредственный.
3. Патент RU 2836 794 C1 Российская Федерация, МПК F02K 9/80 (2024.08), F02K 9/08 (2024.08), B64G 1/40 (2024.08), B64G 1/26 (2024.08). Многоматричная мультивекторная реконфигурируемая двигательная система для малоразмерных космических аппаратов : № 2024119165: заявлено 08.07.2024 : опубликовано 24.03.2025 / Линьков В.А.; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина» (RU). – 14 с.: ил. – Текст : непосредственный.
4. Патент RU 233 356 U1 Российская Федерация, МПК F02K 9/00 (2024.01), F03H 1/00 (2024.01). Система подачи рабочего вещества для коллоидного электроракетного двигателя : № 2024109476: заявлено 01.04.2024 : опубликовано 16.04.2025 / Белогрудов А.В.; патентообладатель Белогрудов Артем Викторович (RU). – 6 с.: ил. – Текст : непосредственный.
5. Патент RU 2 839 286 C1 Российская Федерация, МПК B64G 1/422 (2025.01), B64G 1/546 (2025.01), G21D 1/00 (2025.01). Способ защиты космического аппарата с ядерной энергетической установкой от наведенной радиации собственной внешней атмосферы : № 2024115994: заявлено 10.06.2024 : опубликовано 29.04.2025 / Устинов А.Н., Атамасов В.Д.; патентообладатель Открытое акционерное общество «Машиностроительный завод «Арсенал» (RU). – 11 с.: ил. – Текст : непосредственный.

6. Патент RU 233 453 U1 Российская Федерация, МПК B64G 7/00 (2024.08). Устройство электропитания низкоорбитальных космических аппаратов : № 2024107173: заявлено 19.03.2024 : опубликовано 21.04.2025 / Германчук А.И., Мозговая Е.И., Михайлов Р.В., Аннушкин Д.А., Романова Е.А.; патентообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» (RU). – 6 с.: ил. – Текст : непосредственный.
7. Патент RU 2 838 583 C1 Российская Федерация, МПК B64G 1/16 (2025.01), B62D 57/00 (2025.01), B60B 19/00 (2025.01), B25J 11/00 (2025.01). Движитель амебоидного типа : № 2024122365: заявлено 01.08.2024 : опубликовано 21.04.2025 / Беляев Б.В., Софьин А.П., Кукушкин И.О.; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского» Министерства обороны Российской Федерации (RU). – 10 с.: ил. – Текст : непосредственный.
8. Патент RU 232 938 U1 Российская Федерация, МПК G01M 9/06 (2025.01), G01M 15/14 (2025.01), B64G 5/00 (2025.01). Демонстратор системы вертикального взлета и посадки : № 2024127388: заявлено 11.12.2024 : опубликовано 28.03.2025 / Шульц А.О., Варкентин В.В., Малых Д.А., Федоров А.В., Куплевацкий Д.В., Пешков Р.А.; патентообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» (RU). – 13 с.: ил. – Текст : непосредственный.
9. Патент RU 2 837 430 C1 Российская Федерация, МПК B64G 4/00 (2024.08), B64G 1/16 (2024.08), B66F 11/00 (2024.08). Способ разгрузки на поверхности Луны габаритных полезных грузов с посадочной платформы космического аппарата на лунное транспортное средство и устройства для реализации этого способа : № 2024120111: заявлено 17.07.2024 : опубликовано 31.03.2025 / Волов В.А., Маленков М.И., Богачев А.Н., Гусева Н.К., Лазарев Е.А.; патентообладатель Акционерное общество Научно-Технический Центр «РОКАД» (RU). – 29 с.: ил. – Текст : непосредственный.
10. Патент RU 2 837 711 C1 Российская Федерация, МПК B64G 1/10 (2024.08), B64G 5/00 (2024.08), B66F 11/00 (2024.08). Способ изготовления или обслуживания космического аппарата на орбите и система космического производства для его осуществления : № 2024106648: заявлено 11.03.2024 : опубликовано 03.04.2025 / Ерохин Г.А., Жуков А.А., Залыгаев Н.В., Ризванов А.А., Тюлин А.Е., Хартов В.В., Хромов О.Е.; патентообладатель Акционерное общество «Российская корпорация ракетно-космического приборостроения и информационных систем» (АО «Российские космические системы») (RU). – 13 с.: ил. – Текст : непосредственный.
11. Патент RU 2 837 940 C1 Российская Федерация, МПК B64G 1/58 (2025.01), F16L 59/07 (2025.01), F17C 3/04 (2025.01). Экранно-вакуумная теплоизоляция бака криогенной ёмкости : № 2024113714: заявлено 20.05.2024 : опубликовано 07.04.2025 / Туманин Е.Н., Сухачева О.В.; патентообладатель Публичное акционерное общество «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва» (RU). – 7 с.: ил. – Текст : непосредственный.
12. Патент RU 2 837 726 C1 Российская Федерация, МПК B64G 1/50 (2025.01), F28D 15/04 (2025.01). Контурная тепловая труба космического аппарата : № 2024125319: заявлено 29.08.2024 : опубликовано 03.04.2025 / Колесников А.П., Шилкин О.В., Попов А.В., Кузнецов А.Ю., Попугаев М.М., Бакуров Е.Ю., Акчурин В.П.; патентообладатель Акционерное общество «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва» (RU). – 14 с.: ил. – Текст : непосредственный.
13. Патент RU 2 838 269 C1 Российская Федерация, МПК B64G 1/16 (2025.01), B62D 57/00 (2025.01), B60B 19/00 (2025.01), B25J 11/00 (2025.01). Автономная платформа космического аппарата : № 2024127437: заявлено 18.09.2024 : опубликовано 14.04.2025 / Авкельгин С.В., Жуков А.В., Мироненко Е.Д., Савицкий В.В., Шангина Е.А.; патентообладатель Акционерное общество «Информационные спутниковые системы» им. академика М.Ф. Решетнёва» (RU). – 12 с.: ил. – Текст : непосредственный.
14. Патент RU 2 839 349 C1 Российская Федерация, МПК A61B 5/00 (2024.08), G09B 23/28 (2024.08), B64G 7/00 (2024.08). Система обезвешивания сегментов тела человека для моделирования эффектов микрогравитации и способ её использования : № 2024107173: заявлено 19.03.2024 : опубликовано 30.04.2025 / Нетреба А.И., Химорода Н.Н., Ярманова Е.Н.; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Государственный научный центр Российской Федерации - Институт медико-биологических проблем Российской академии наук (ГНЦ РФ - ИМБП РАН) (RU). – 12 с.: ил. – Текст : непосредственный.
15. URL: https://www.fips.ru/publication-web/publications/IZPM?inputSelectOIS=Invention,UtilityModel&tab=IZPM&searchSortSelect=dtPublish&searchSortDirection=true

ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF THE ROCKET AND SPACE INDUSTRY

V.K. Belousov[1], **A.V. Tsarev**[2]
[1-2]MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] belousov.v.k@edu.mirea.ru, [2] tsarev.a.v@edu.mirea.ru

Abstract

The article examines current trends in the development of the Russian rocket and space industry, highlighting key technological advancements and their implications for national security and economic growth. The study focuses on adaptive engines, nuclear power systems, lunar exploration, orbital manufacturing, thermal regulation, space debris mitigation, and artificial gravity technologies.

Keywords

Rocket and space industry, adaptive engines, nuclear power systems, lunar missions, orbital manufacturing, thermal regulation, space debris, artificial gravity.

УДК 621.3.091.1

СОЗДАНИЕ БЕЗЭХОВОЙ КАМЕРЫ ДЛЯ АКТИВНОЙ РАДИОСЕНСОРНОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

А.Ю. Звягин[1], **К.А. Бойков**[2]
[1–2] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] zvyagin@mirea.ru, [2] nauchnyi@yandex.ru

Аннотация

Постановка проблемы. В настоящее время метод активной радиосенсорной технической диагностики (АРТД), обладая значительными преимуществами, имеет существенный недостаток: при регистрации сигнального радиопрофиля (СРП) диагностируемого устройства приемная антенна фиксирует множество паразитных сигналов. Это снижает точность анализа и требует дополнительной обработки данных.

Цель. Оценить эффективность и возможность применения экранирующих материалов, при проведении АРТД, выбрать наиболее подходящий материал.

Результаты. Представлены два варианта экранирующих конструкций, проведен их сравнительный анализ и оценка эффективности подавления помех.

Практическая значимость. Результаты исследования могут быть использованы для оптимизации систем АРТД, обеспечивая более чистый прием сигналов и повышая достоверность диагностики.

Ключевые слова

Коэффициент экранирования, АРТД, ФТ ткань, экранирующие материалы.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

АРТД является перспективным методом контроля состояния радиоэлектронных устройств, основанным на анализе их сигнальных радиопрофилей (СРП). Однако, как было отмечено в [1], ключевой проблемой данного подхода остается наличие паразитных электромагнитных излучений (ЭМИ), искажающих полезный сигнал и снижающих точность диагностики. Эти помехи не просто затрудняют общую идентификацию устройства - они серьезно мешают обнаружению его реперных точек, которые играют критически важную роль в диагностическом процессе.

Реперные точки служат своеобразными электромагнитными «отпечатками пальцев» устройства. Они позволяют не только точно определить тип оборудования, но и выявить малейшие отклонения в его работе, указывающие на возможные неисправности. Однако при наличии сильных помех эти характерные особенности СРП могут либо полностью маскироваться шумами, либо ошибочно интерпретироваться системой.

Такая ситуация приводит к целому ряду серьезных последствий. Во-первых, снижается достоверность идентификации – можно принять одно устройство за другое или вообще не распознать его. Во-вторых, теряется точность диагностики - без четкого выделения реперных точек становится невозможно достоверно оценить техническое состояние оборудования. В-третьих, высока вероятность ложных срабатываний, когда исправное устройство ошибочно признается неисправным, или наоборот.

Особенно остро эта проблема проявляется при работе со сложными радиоэлектронными системами, имеющих множество схожих спектральных особенностей. В таких случаях даже относительно небольшой уровень помех может привести к существенному искажению диагностической картины.

Ц е л ь р а б о т ы – оценить эффективность и возможность применения экранирующих материалов, при проведении АРТД, выбрать наиболее подходящий материал.

Проектирование и реализация экранирующих систем

Взаимодействие электромагнитных волн с материалами подчиняется фундаментальным законам электродинамики, в первую очередь уравнениям Максвелла, которые описывают распространение и преобразование электромагнитных полей в различных средах [2]:

$$\begin{cases} \nabla E = \rho/\varepsilon_0 \\ \nabla B = 0 \\ \nabla \times E = -\dfrac{dB}{dt} \\ \nabla \times B = \mu_0 J + \mu_0 \varepsilon_0 \dfrac{dB}{dt} \end{cases}. \quad (1)$$

В вакууме (при отсутствии зарядов и токов) уравнения приводят к волновому:

$$\nabla^2 E - \mu_0 \varepsilon_0 \frac{dB}{dt} = 0. \quad (2)$$

Для плоской волны, распространяющейся вдоль оси z формула будет выглядеть так:

$$\begin{aligned} E(z,t) &= E_0 e^{i(kz-\omega t)}, \\ B(z,t) &= B e^{i(kz-\omega t)}. \end{aligned} \quad (3)$$

При падении волны на поверхность часть энергии отражается (согласно закону сохранения энергии и принципу Френеля), часть поглощается за счет преобразования в тепловую энергию (эффект Джоуля-Ленца в проводящих средах), а оставшаяся — проходит сквозь материал или рассеивается. Основным параметром, характеризующим качество экранизации, является степень экранирования (SE, Shielding Effectiveness), зависящая от частоты волны [3]:

$$SE = 10 \log_{10}\left(\frac{P_{\text{внеш}}}{P_{\text{внутр}}}\right) = 20 \log_{10}\left(\frac{E_{\text{внеш}}}{PE_{\text{внутр}}}\right). \quad (4)$$

Так же SE можно представить через три основных критерия экранирования ЭМП - это отражение, поглощение и затухание:

$$SE = R + A + M, \quad (5)$$

где R - потери на отражение, A - потери на поглощение, M - потери на многократные отражения.

$$R = 168 + 10 \log_{10}\left(\frac{\sigma_r}{\mu_r f}\right). \quad (6)$$

$$A = 8{,}686 + \frac{t}{\delta}. \quad (7)$$

$$M = 20 \log_{10}\left|1 - e^{-\frac{2t}{\delta}}\right|. \quad (8)$$

Чем выше SE, тем лучше экран блокирует волны. Основными параметрами материала, влияющими на экранирование, является: глубина скин эффекта, относительная проводимость материала, относительная магнитная проницаемость, толщина активного материала. Понимание этих закономерностей позволяет проектировать эффективные экранирующие материалы с заданными свойствами для различных применений.

Проектировка и выбор материала

На стадии проектирования были подобраны размеры для последующих измерений с АРТД. При проектировании экранирующей камеры ключевым аспектом стал выбор материалов, обеспечивающих как конструкционную прочность, так и эффективное подавление электромагнитных помех. В качестве основы было решено использовать полистирол – легкий и доступный полимер, обладающий хорошими диэлектрическими свойствами. Его применение

позволило создать жесткий каркас, не влияющий на электромагнитные характеристики экранирующего покрытия.

Полистирол обладает рядом преимуществ, делающих его наилучшим выбором для подобных конструкций. Во-первых, его малый вес упрощает транспортировку и сборку камеры, особенно если требуется перемещение устройств. Во-вторых, низкая стоимость материала позволяет снизить общие затраты на проект без ущерба для функциональности. Кроме того, полистирол легко обрабатывается, что дает возможность точно подгонять элементы конструкции под нужные размеры и формы.

Для обеспечения экранирования были рассмотрены два варианта. В первом случае применялась многослойная фольга, уложенная с перехлестом для минимизации зазоров. Такой подход обеспечивает высокую степень отражения электромагнитных волн и прост в реализации, однако требует тщательной герметизации стыков. Во втором варианте использовалась ткань с проводящими нитями (ФТ-материал) [4], сочетающая гибкость и эффективное экранирование. Этот материал особенно удобен для нестандартных форм и условий, где жесткие экраны неприменимы.

Экспериментальное исследование экранирующих свойств системы

После получения двух экранирующих коробок перед нами встала задача оценки их качества и эффективности экранирования. На первом этапе был проведен базовый замер без экранирующих коробок для установления контрольных значений. Затем был разработан метод измерения, основанный на использовании векторного анализатора цепей и двух антенн, одна из которых размещалась внутри экранирующей конструкции. Схема метода изображена на рисунке 1.

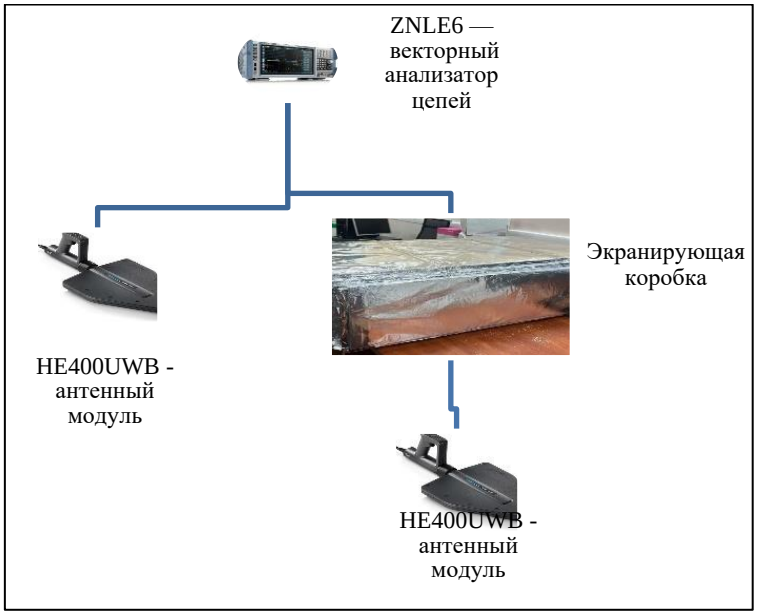


Рис. 1. Схема измерительного стенда
Fig. 1. Diagram of the measuring stand

В качестве передатчика и приёмника использовались две широкополосные антенны HE400UWB, направленные друг на друга. Выбор HE400UWB обусловлен несколькими причинами. Эти антенны обладают сверхширокополосными характеристиками, что позволяет проводить измерения в широком диапазоне частот, обеспечивая гибкость при тестировании различных материалов и структур. Они отличаются высокой чувствительностью и стабильностью параметров, что важно для точного определения уровня экранирования без искажений и помех, их компактный размер и удобная конструкция облегчают процесс измерений, особенно в условиях ограниченного пространства или при работе с сложными геометрическими формами экранирующих материалов. Кроме того, эти антенны обладают низким уровнем собственных шумов и высокой повторяемостью результатов, что делает их

надежным инструментом для лабораторных и промышленных применений. Все эти факторы в совокупности делают антенны HE400UWB оптимальным выбором для задач, связанных с измерением экранирования. Первую антенну (передающую) расположили снаружи экранирующей коробки (Рисунок 2), а вторую (приёмную) - внутри неё (рисунок 3). Обе антенны были подключены к векторному анализатору цепей Rohde&Swartz ZNLE6, который позволял измерять коэффициент передачи (S_{21}) между ними. Этот параметр характеризует затухание сигнала, прошедшего через экран, и является ключевым показателем эффективности экранирования.



Рис. 2. Расположение внешней антенны, относительно экранирующей коробки
Fig. 2. Location of the external antenna relative to the shielding box



Рис. 3. Расположение внутренней антенны, относительно экранирующей коробки
Fig. 3. Location of the internal antenna relative to the shielding box

Измерения позволили получить графики, отображающие характеристики экранирующей коробки в заданном частотном диапазоне. Основной параметр для оценки экранирования является коэффициент (S21). Сравнение S21 до и после экранирования фольгированной

коробкой и коробки с ФТ тканью показало ослабление сигнала (рисунок 4 и 5), что свидетельствует о эффективности экранировки в диапазоне до 6 ГГц. Полученные результаты слегка разнятся с расчётными, что скорее всего связано с завышенными заявленными параметрами материалов и их реальными значениями. Поскольку при расчётах значение проводимости или магнитной проницаемости экранирующего материала слегка выше действительных, а также на результат могло повлиять пористость материала и его структура.

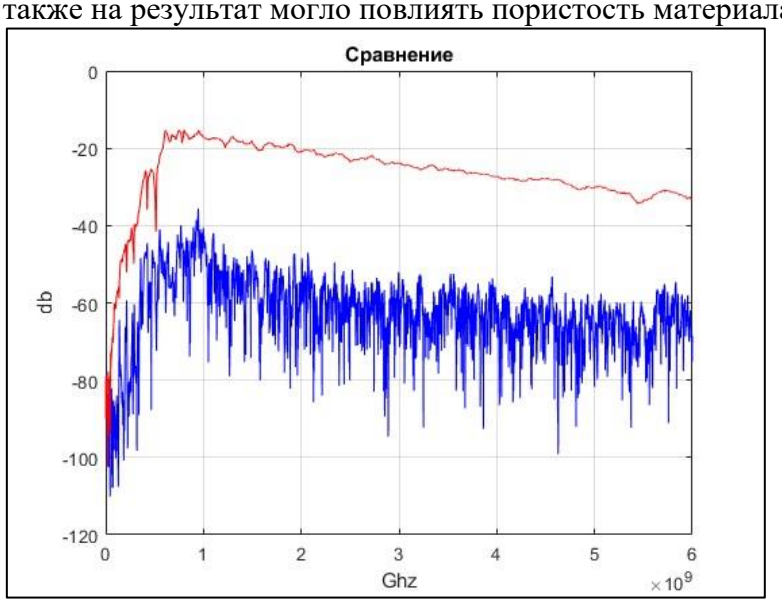


Рис. 4. Сравнение Фольгированной коробки (синяя линия) с прямым излучением (красная линия)
Fig. 4. Comparison of a foil box (blue line) with direct radiation (red line)

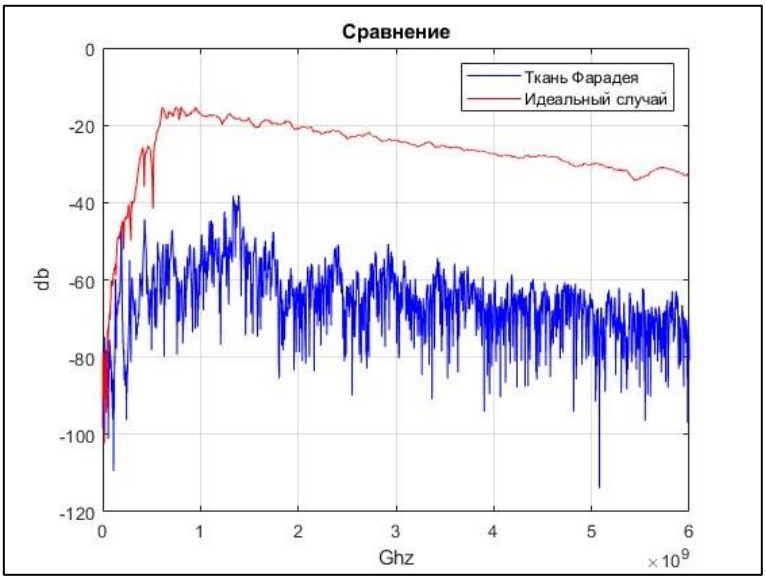


Рис. 5. Сравнение FT (синяя линия) с прямым излучением (красная линия)
Fig. 5. Comparison of FT (blue line) with direct radiation (red line)

В ходе измерений было обнаружено выраженное нелинейное поведение коэффициента экранирования. В отличие от ожидаемого плавного изменения затухания сигнала, в обоих случаях наблюдались резкие колебания эффективности экранирования - от 60 дБ до 20 дБ на различных частотах, причем эти скачки носили несистематический характер и не подчинялись явной закономерности.

Анализ полученных данных позволяет выделить несколько ключевых факторов, способствующих такому поведению системы. Значительное влияние оказывают резонансные явления внутри экранирующего объема. Даже незначительные изменения геометрии коробки или локальные неоднородности в покрытии (складки фольги, неоднородность ФТ-материала)

создают условия для формирования стоячих волн на определенных частотах. Это особенно заметно в диапазоне 1-3 ГГц, где длина волны сопоставима с размерами экранирующих конструкций. Это объясняет резкие перепады в эффективности экранирования при небольших изменениях частоты.

Интересно отметить, что характер колебаний для фольги и ФТ-материала различался. ФТ-материал демонстрировала более резкие, но локальные по частотной оси провалы экранирования (узкополосные эффекты), в то время как фольга показывал более плавные, но протяженные участки снижения эффективности (широкополосные эффекты). Это различие связано с разными механизмами экранирования: преимущественно отражающим - для фольги и поглощающим - для ФТ-материала.

Однако в низкочастотном диапазоне (рисунок 6) до 500 МГц ослабление сигнала намного ниже расчетного или отсутствует вообще (ниже 40 МГц). Основной причиной такого поведения является использование антенн HE400UWB, которые, несмотря на свою широкополосность, имеют ограниченную эффективность на низких частотах. Эти антенны оптимизированы для работы в ультрашироком диапазоне, но он лежит в частотах от 40 МГц до 6 ГГц. Для корректной оценки экранирования на частотах ниже 40 МГц требуется использование специализированных низкочастотных антенн или магнитных датчиков, оптимизированных для данного диапазона. Антенны HE400UWB, несмотря на их удобство для широкополосных измерений, не позволяют получить достоверные данные на столь низких частотах из-за физических ограничений их конструкции.

Проблема низкого экранирования в низкочастотном диапазоне во многом связана с толщиной скин-слоя, которая напрямую влияет на эффективность экранирующего материала. На низких частотах скин-слой становится значительно толще, что означает, что электромагнитное поле проникает глубже в материал, и для его эффективного ослабления требуется большая толщина экрана. Если экран слишком тонкий, низкочастотные поля могут проходить через него практически без затухания, что резко снижает эффективность экранирования.

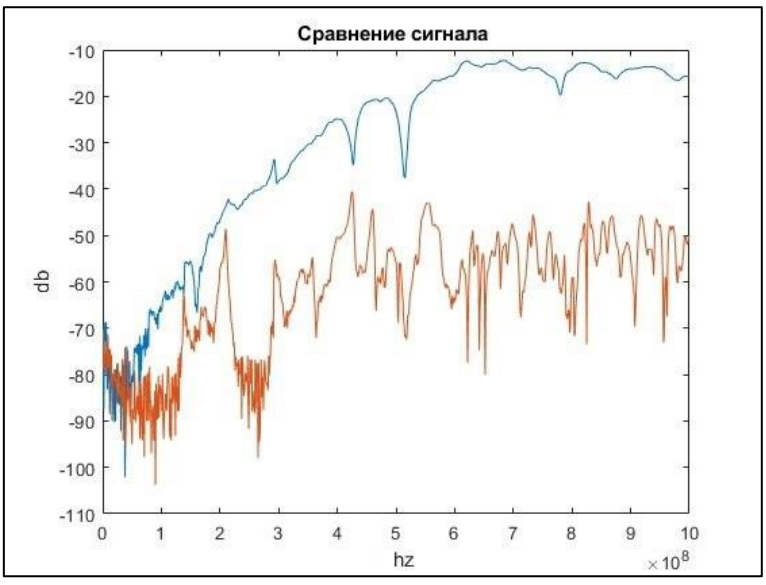


Рис. 6. Сравнение Фольгированной коробки (красная линия) с прямым излучением (бирюзовая линия) в диапазоне до 1 ГГц

Fig. 6. Comparison of a foil box (red line) with direct radiation (turquoise line) in the range up to 1 GHz

Кроме того, на низких частотах доминирующую роль часто играют магнитные поля, которые сложнее экранировать обычными проводящими материалами (алюминиевая фольга, ФТ ткань с проводящими нитями). Для их подавления требуются либо очень толстые металлические экраны, либо материалы с высокой магнитной проницаемостью, такие как пермаллой или ферриты [5]. Однако даже в этом случае достижение высокого уровня

экранирования на частотах ниже 500 МГц требует тщательного расчёта толщины экрана и выбора подходящих материалов.

Таким образом, основная сложность при экранировании низкочастотных помех заключается в необходимости использования значительно более толстых или специализированных материалов по сравнению с высокочастотным диапазоном, где достаточно тонких проводящих слоёв для достижения сопоставимого или даже лучшего эффекта.

В ходе проведенных измерений экранирующих свойств различных материалов сравнивались графики эффективности экранирования для стандартной алюминиевой фольги и специализированной ФТ-ткани в частотном диапазоне до 6 ГГц (рисунок 7). ФТ-ткань демонстрирует несколько лучшие показатели экранирования по сравнению с фольгой. Он обеспечил затухание сигнала на уровне 20–60 дБ в диапазоне 500 МГц – 6 ГГц, но при этом обеспечил лучшую стабильность в условиях внешних помех благодаря своим поглощающим свойствам. Фольга показал несколько меньшую эффективность (40–50 дБ), что соответствует ее высокой проводимости и способности отражать электромагнитные волны. Небольшое преимущество ФТ-ткани объясняется ее многослойной структурой и наличием специальных поглощающих компонентов, которые более эффективно подавляют электромагнитные волны, особенно на высоких частотах.

В графиках видно, что разница в эффективности между этими материалами не столь значительна и составляет в среднем всего 5-7 дБ.

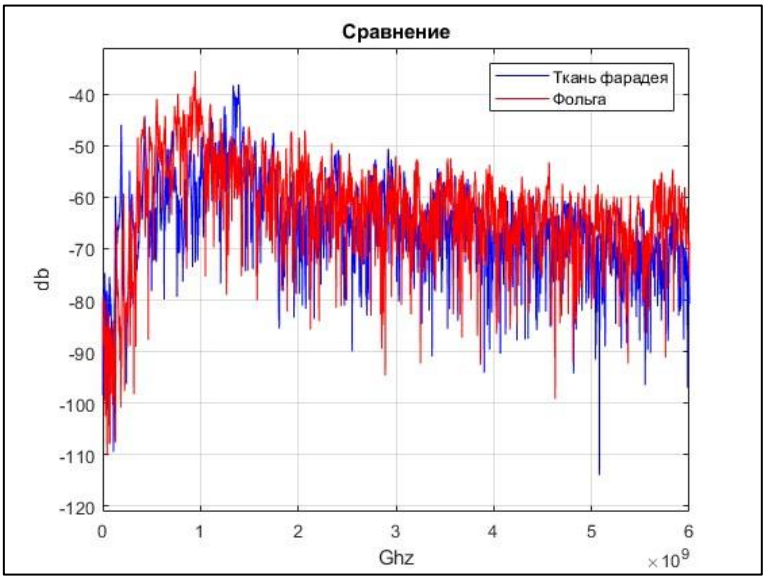


Рис. 7. Сравнение FT (красная линия) с Фольгированный коробкой (синяя линия)
Fig. 7. Comparison of FT (red line) with Foil box (blue line)

Заключение

Проведенные исследования двух вариантов экранирующих коробок - с использованием ФТ-ткани и алюминиевой фольги - продемонстрировали, что оба материала обладают рядом практических преимуществ, делающих их перспективными для применения в системах активной радиосенсорной технической диагностики. ФТ-ткань проявила себя как технологичный материал, сочетающий доступность, гибкость и малый вес, что особенно важно при создании мобильных измерительных комплексов. Ее относительная простота в обработке и монтаже позволяет оперативно адаптировать экранирующие конструкции под конкретные измерительные задачи. В свою очередь, алюминиевая фольга, несмотря на более низкие показатели экранирования, остается исключительно экономичным и повсеместно доступным решением, что делает ее незаменимой при массовом внедрении методик радиодиагностики.

Применение таких экранирующих решений открывает новые перспективы для развития методов активной радиосенсорной диагностики. Использование доступных экранирующих материалов позволит стандартизировать условия измерений, минимизировав влияние внешних электромагнитных помех. Возможность создания легких и мобильных экранирующих конструкций существенно расширит область применения радиодиагностических методов, в том числе в полевых условиях. Особенно важно, что применение таких экранирующих решений позволит повысить воспроизводимость результатов измерений и чувствительность диагностического оборудования, что в конечном итоге приведет к повышению достоверности и информативности всего метода в целом.

Дальнейшие исследования в этом направлении должны быть сосредоточены на оптимизации конструкции экранирующих коробок с учетом специфики различных диагностических задач, а также на разработке унифицированных методик оценки эффективности экранирования применительно к конкретным условиям эксплуатации. Особый интерес представляет изучение возможностей комбинирования этих материалов для создания многослойных экранирующих структур, способных обеспечить максимальную защиту при сохранении экономической целесообразности. Реализация этих направлений позволит существенно продвинуть развитие методов технической диагностики, обеспечив новый уровень качества и достоверности получаемых результатов.

Однако стоит отметить, что при увеличении толщины фольги или замене алюминиевой фольги на медную, характеристики экранирования существенно улучшаются.

Медь, как материал с более высокой электропроводностью, обеспечивает лучшее отражение электромагнитных волн и меньшие потери на переизлучение. Особенно заметно это преимущество на низких частотах. Кроме того, медные экраны обладают лучшей долговременной стабильностью характеристик и устойчивостью к механическим повреждениям, что делает их более надежным решением для ответственных применений.

Таким образом несмотря на то, что ФТ-ткань показала себя немного лучше стандартной алюминиевой фольги, ее преимущества не являются абсолютными. Применение более толстого слоя фольги или переход на медные экранирующие материалы позволяет достичь значительно более высоких показателей экранирования. Выбор конкретного материала в конечном итоге должен основываться на требованиях к эффективности экранирования, бюджетных ограничениях и условиях эксплуатации. Для задач, где критично максимальное подавление помех, медь остается безусловным лидером, тогда как алюминиевая фольга может быть компромиссным решением при ограниченном бюджете и умеренных требованиях к экранированию.

Список источников

1. *Бойков, К. А.* Исследование сигнального радиопрофиля при активной радиосенсорной диагностике / К. А. Бойков, А. Ю. Звягин // Актуальные проблемы и перспективы развития радиотехнических и инфокоммуникационных систем ("Радиоинфоком-2024") : Сборник научных статей по материалам VIII Международной научно-практической конференции, Москва, 18–22 ноября 2024 года. – Москва: МИРЭА - Российский технологический университет, 2024. – С. 403-406. – EDN DALURT.
2. *Никольский В. В.* Электродинамика и распространение радиоволн : учебное пособие для студентов радиотехнических специальностей вузов / В. В. Никольский, Т. И. Никольская ; В. В. Никольский, Т. И. Никольская. – Изд. 6-е. – Москва : Либроком, 2012. – 542 с. – ISBN 978-5-397-02973-5. – EDN QJZUGD.
3. *Paul C. R., Scully R. C., Steffka M. A.* Introduction to electromagnetic compatibility. – John Wiley & Sons, 2022.
4. *Вьюгова, К. Д.* Сравнительный анализ защитных тканей от электромагнитного излучения / К. Д. Вьюгова // Тинчуринские чтения – 2022 "Энергетика и цифровая трансформация" : Сборник статей по материалам конференции. В 3-х томах, Казань, 27–29 апреля 2022 года / Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. Том 1. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 396-399. – EDN ULEEZP.
5. *Ромащенко, М. А.* Обзор материалов и способов электромагнитного экранирования средств технической охраны при решении задач электромагнитной совместимости и помехоустойчивости / М. А. Ромащенко // Техника и безопасность объектов уголовно-исполнительной системы - 2011 : сборник материалов Международной научно-практической конференции, Воронеж, 06–07 октября 2011 года. Том 1. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр "Научная книга". - Воронежский институт ФСИН России, 2011. – С. 579-584. – EDN ZRVTFB.

CREATION OF AN ANECHOIC CHAMBER FOR ACTIVE RADIO SENSOR TECHNICAL DIAGNOSTICS

A.Y. Zvyagin [1], **K.A. Boykov** [2]
[1–2] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] zvyagin@mirea.ru, [2] nauchnyi@yandex.ru

Abstract

Currently, the method of active radiosensory technical diagnostics (ARTD), while having significant advantages, has a significant drawback: when registering the signal radio profile (SRP) of the device being diagnosed, the receiving antenna detects many spurious signals. This reduces the accuracy of the analysis and requires additional data processing. To improve the quality of diagnostics, it is necessary to minimize the impact of electromagnetic side effects (EMR). This paper considers a solution to this problem by using shielded enclosures. Two variants of shielding structures are presented, their comparative analysis and evaluation of the effectiveness of interference suppression are carried out. The results of the study can be used to optimize ART systems, providing cleaner signal reception and increasing diagnostic reliability.

Keywords

Shielding coefficient, ARTD, FT fabric, shielding materials.

УДК 534.86

ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА: ПРИМЕР КУРСА РТУ МИРЭА «СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДИКИ ВЕКТОРНОГО АНАЛИЗА ЦЕПЕЙ» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕКТОРНЫХ АНАЛИЗАТОРОВ ЦЕПЕЙ «ПЛАНАР»

А.А. Золотарев[1], **А.Н. Шовгенин**[2], **А. А. Крылов**[3]
[1–3] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[3] ООО «Планар-Проект», г. Москва
[1] zolotarev@mirea.ru, [2]shovgenin@mirea.ru, [3]andrey.krylov@planarchel.ru

Аннотация

Постановка проблемы. В России сегодня формируется устойчивый тренд на использование отечественного контрольно-измерительного оборудования, который требует решения множества различных задач. Одной из них является создание качественных курсов повышения квалификации для сотрудников, работающих с радиотехнической аппаратурой, чтобы сделать их переход на отечественные приборы безболезненным и эффективным с точки зрения освоения доступного и иногда концептуально отличающегося от прежде имевшегося функционала оборудования иностранного производства.

Цель. Оценить эффективность перехода инженеров на отечественное измерительное оборудование при помощи использования курса дополнительного профессионального образования.

Результаты. Разработана программа ДПО для изучения современных измерительных приборов отечественного производства, проведен первый набор, который показал высокий интерес слушателей к учебному материалу.

Практическая значимость. Полученные результаты позволяют проводить курсы дополнительного образования для инженеров с целью переподготовки для работы на измерительных приборах отечественного производства.

Ключевые слова

Векторный анализатор цепей, адаптивная фильтрация, помехи, радиоизмерения, дпо.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

В центре коллективного проектирования МИРЭА – Российского технологического университета была поставлена цель совместно с коллегами из ООО «Планар-Проект» предложить курс повышения квалификации заинтересованным сотрудникам российских предприятий и организаций, приступающим к использованию векторных анализаторов цепей «Планар» или желающих глубже узнать и научиться использовать доступные возможности этих контрольно-измерительных приборов.

Практическая реализация

Ключевой особенностью метода адаптивного шумоподавления является его способность к Курс направлен на получение теоретических и практических компетенций в области измерений параметров радиочастотных цепей с использованием Векторных Анализаторов Цепей (ВАЦ) компании «ПЛАНАР». В рамках курса рассматриваются теоретические и практические вопросы, связанные с выбором состава и конфигурации измерительных систем на основе ВАЦ для измерения параметров активных и пассивных ВЧ- и СВЧ- устройств, обеспечением точности и метрологической прослеживаемости получаемых результатов измерений, компенсацией влияния измерительных приспособлений.

Цель обучения заключается в:

– формировании компетенции, необходимых для качественной работы с современными ВАЦ для выполнения точных измерений характеристик компонентов и узлов радиотехнических систем,

- выработке навыков культуры выполнения радиочастотных измерений,
- умении создавать описания наборов калибровочных мер,
- освоении методов исключения влияния измерительной оснастки,
- ознакомлении с основами удалённого управления ВАЦ.

Содержание программы повышения квалификации учитывает требования следующих профессиональных стандартов и нормативных документов:

- федерального государственного образовательного стандарта (ФГОС) высшего образования к результатам освоения образовательной программы бакалавриата по направлению подготовки 11.03.01 «Радиотехника» (утвержден приказом Министерства образования и науки РФ от 19 сентября 2017 г. № 931);
- федерального государственного образовательного стандарта (ФГОС) высшего образования к результатам освоения образовательной программы магистратуры по направлению подготовки 11.04.01 «Радиотехника» (утвержден приказом Министерства образования и науки РФ от 19 сентября 2017 г. № 925);
- федерального государственного образовательного стандарта (ФГОС) высшего образования к результатам освоения образовательной программы специалитета по направлению подготовки 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы» (утвержден приказом Министерства образования и науки РФ от 09 февраля 2018 г. № 94);
- профессионального стандарта 06.048 «Инженер-радиоэлектронщик в области радиотехники и телекоммуникаций» (утвержден приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 31.08.2021 № 600н);
- профессионального стандарта 06.052 «Инженер-программист радиоэлектронных средств и комплексов» (утвержден приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 04.10.2022 № 618н);
- квалификационных характеристик должностей работников, занятых в научно-исследовательских учреждениях, конструкторских, технологических, проектных и изыскательских организациях (утвержден приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 21.08.1998 № 37).

Курс начинается с фундаментальных основ векторного анализа цепей, где слушатели осваивают (повторяют) ключевую терминологию и базовые принципы СВЧ-измерений. Особое внимание уделяется физике прохождения сигнала через СВЧ-устройства и пониманию принципов работы векторных анализаторов цепей. На примере приборов линейки «Планар» (таких как «Обзор-304» или «С1220») демонстрируется упрощенная структурная схема ВАЦ, включающая источник сигнала, измерительные приемники и систему обработки данных. Слушатели изучают классификацию измеряемых устройств (пассивные, активные, линейные, нелинейные) и осваивают основные измеряемые характеристики: S-параметры (коэффициенты передачи и отражения), КСВН, групповое время запаздывания, фазовые характеристики. Особенно ценным для инженеров-практиков является раздел о преимуществах векторных измерений по сравнению с другими методами, где на конкретных примерах демонстрируются возможности приборов «Планар» по точности, скорости и информативности получаемых результатов в широком диапазоне частот.

Структурная схема современного анализатора цепей. В этом разделе курса слушатели погружаются в детальное изучение архитектуры современных векторных анализаторов цепей. Рассматривается структурная схема базового прибора линейки «Планар», включающая высокочастотный блок, блок цифровой обработки сигналов и управляющий компьютер. Особое внимание уделяется принципам работы измерительных приемников, которые в приборах «Планар» (например, в моделях серии «Обзор») построены на основе супергетеродинной архитектуры с цифровой обработкой сигнала промежуточной частоты. Слушатели изучают возможности прямого доступа к ВЧ-трактам анализатора, что является

важной функцией для построения сложных измерительных систем и расширения функциональности базового прибора. На примере моделей С1209/С1220 демонстрируется, как использование режима прямого доступа позволяет подключать внешние усилители, направленные ответвители или другие устройства для расширения динамического диапазона или частотного охвата измерений. Подробное рассмотрение внутреннего устройства современного ВАЦ включает анализ источников погрешностей и методов их минимизации, что формирует у слушателей глубокое понимание особенностей работы приборов и способствует более эффективному их использованию.

Тема курса «Программное обеспечение для векторного анализа цепей» посвящена освоению программного обеспечения векторных анализаторов цепей «Планар», которое является ключевым инструментом взаимодействия с прибором. Слушатели изучают иерархическую структуру средств измерения, обработки и отображения информации, представленную в ПО. На практических демонстрациях с использованием программного обеспечения (например, ПО «Graphit» для приборов серии «Обзор») разбираются базовые понятия: окно, график и измерительный канал. Особое внимание уделяется настройке измерительных каналов и трасс, где слушатели осваивают создание многоканальных измерений с различными параметрами и форматами отображения данных. Практические занятия включают упражнения по установке основных параметров измерения: частотного диапазона (от единиц кГц до десятков ГГц в зависимости от модели прибора), выходной мощности сигнала, числа точек измерения (до 100 000 в современных моделях «Планар») и полосы пропускания фильтра ПЧ, что напрямую влияет на скорость и точность измерений. Завершающая часть темы посвящена методам сохранения настроек прибора в виде файлов состояния и экспорту результатов измерений в различных форматах (Touchstone, CSV, графические форматы), что особенно важно для последующей обработки и документирования результатов измерений в научных и производственных задачах.

В теме курса «СВЧ коаксиальные соединители» слушатели получают важные практические знания о СВЧ коаксиальных соединителях, которые являются критически важным элементом при проведении точных измерений на высоких частотах. Изучаются основные типы соединителей, применяемых при работе с векторными анализаторами цепей «Планар» – N, SMA, 3.5 мм, 2.92 мм, 2.4 мм и 1.85 мм, их частотные диапазоны и особенности применения. Детально рассматривается конструкция соединителей: центральный проводник, диэлектрик, внешний проводник и механизм сочленения. Особое внимание уделяется классам точности соединителей (прецизионный, лабораторный, общего применения) и их влиянию на достоверность измерений. При работе с анализаторами «Планар» серии P4M или С1220, способными работать на частотах до 20-40 ГГц, правильный выбор и использование соединителей становится особенно критичным. Отдельно рассматриваются NMD (Non-Mating Destructive) соединители с защитой от неправильного сочленения, которые помогают предотвратить повреждение дорогостоящего оборудования. Заключительная часть темы посвящена практическим аспектам эксплуатации и обслуживания соединителей: правильному подключению, применению динамометрического ключа с нормированным моментом затяжки, периодической проверке, чистке и хранению соединителей. Эти знания непосредственно влияют на точность и повторяемость измерений, особенно в миллиметровом диапазоне длин волн.

Ключевой темой курса является тема «Погрешность и калибровка». Она формирует у слушателей понимание метрологических аспектов векторного анализа цепей. Начинается она с изучения базовых терминов и определений: систематическая и случайная погрешности, направленность, согласование источника и приемника, изоляция между портами. Далее рассматривается модель погрешности измерений, применяемая в анализаторах «Планар», включающая 12 терминов ошибки для двухпортового измерения. В фокусе внимания

находится векторная калибровка – процесс, необходимый для достижения высокой точности измерений. На примере работы с приборами серии «Обзор» и «С1220» демонстрируются принципиальные отличия простой нормализации от полной векторной калибровки, позволяющей компенсировать все систематические погрешности измерения. Слушатели изучают основные методы калибровки: однопортовая (OSL), двухпортовая (SOLT/SOLR), TRL/LRL, а также их модификации. Особое внимание уделяется различным видам калибровочных наборов, поставляемых компанией «Планар» (механические, электронные, автоматические), и правилам работы с ними. Важным практическим аспектом является понимание концепции плоскости калибровки и методов её переноса для исключения влияния измерительной оснастки. Завершается тема изучением методов верификации калибровки с использованием проверочных мер и анализом типичных ошибок, возникающих при калибровке. Практические занятия по этой теме позволяют слушателям самостоятельно выполнить различные виды калибровки и оценить их влияние на точность измерений.

В теме «Меры предосторожности» курса слушатели знакомятся с важными аспектами безопасной и корректной эксплуатации векторных анализаторов цепей «Планар», что напрямую влияет на долговечность оборудования и достоверность получаемых результатов. Подробно рассматриваются требования к электропитанию приборов: необходимость использования стабилизированного напряжения, заземления и защиты от скачков напряжения. Для моделей «Планар» с внешним источником питания (например, компактные приборы серии P2M) особое внимание уделяется правильному подключению и использованию только оригинальных блоков питания. Слушатели изучают влияние внешних механических воздействий на точность измерений: вибрации, удары и неаккуратное обращение с кабелями могут существенно исказить результаты, особенно при работе на высоких частотах. Отдельный блок посвящен вопросам электромагнитной совместимости и электробезопасности: рассматриваются правила размещения прибора вдали от источников сильных электромагнитных полей, использования экранированных кабелей и соблюдения мер защиты от статического электричества при работе с чувствительными СВЧ-компонентами. Завершает тему изучение влияния климатических условий на работу прибора: допустимые диапазоны температуры и влажности для эксплуатации и хранения (для большинства моделей «Планар» рабочий диапазон составляет +5...+40°C при относительной влажности до 90%), необходимость температурной стабилизации перед началом точных измерений и правила транспортировки при экстремальных температурах. Практические рекомендации этого раздела помогают слушателям обеспечить надежную работу оборудования и высокую повторяемость результатов измерений.

Тема «Измерение параметров пассивных устройств» курса представляет собой комплексный блок теоретических и практических занятий, посвященных измерению параметров пассивных устройств – фильтров, аттенюаторов, делителей мощности, направленных ответвителей и других компонентов. Слушатели продолжают знакомство с необходимым оборудованием для проведения таких измерений: векторными анализаторами цепей «Планар» (например, «Обзор-304» или «С1209»), соответствующими измерительными кабелями, переходами и калибровочными наборами. Особое внимание уделяется оптимальным настройкам для проведения измерений различных типов пассивных устройств: выбору частотного диапазона с учетом специфики исследуемого компонента, установке оптимальной мощности зондирующего сигнала (обычно от -20 до 0 дБм для приборов «Планар»), настройке полосы фильтра ПЧ для баланса между скоростью и точностью измерений. Подробно разбираются особенности калибровки при измерении пассивных устройств, включая выбор оптимального метода калибровки в зависимости от типа измеряемого устройства и требуемой точности. На лабораторных работах слушатели практически осваивают средства обработки результатов измерений, доступные в

программном обеспечении анализаторов «Планар»: маркерные функции, математические операции с трассами, сглаживание, временную селекцию, функции статистики и допускового контроля. Особое внимание уделяется практическим аспектам измерения типовых параметров пассивных устройств: АЧХ, ФЧХ, группового времени запаздывания, КСВН входов и выходов, развязки между портами многопортовых устройств. Лабораторные работы позволяют слушателям самостоятельно провести полный цикл измерений различных пассивных компонентов и закрепить полученные теоретические знания.

Тема «Измерение параметров усилителей» курса посвящена особенностям измерения характеристик активных устройств на примере усилителей СВЧ диапазона. Слушатели изучают принципы работы различных типов усилителей и их ключевые характеристики. Особое внимание уделяется различиям между линейным и нелинейным режимами работы усилителей и соответствующим методикам измерений для каждого из них. В ходе лекционных занятий рассматривается широкий спектр измеряемых параметров: коэффициент усиления, неравномерность АЧХ, входной и выходной КСВН, коэффициент шума, точка компрессии 1 дБ, точка пересечения по интермодуляционным составляющим третьего порядка (IP3). Подробно разбираются методические особенности организации и проведения измерений усилителей с помощью векторных анализаторов цепей «Планар»: необходимость использования аттенюаторов для защиты входов прибора, обеспечение правильного питания усилителя, учет нелинейных эффектов. Особое внимание уделяется настройке и калибровке ВАЦ при измерении параметров усилителей, а именно выбору оптимальной мощности зондирующего сигнала (для приборов «Планар» серии Р4М или «Обзор» обычно используется диапазон от -40 до -20 дБм при измерении малосигнальных параметров), использованию специальных методов калибровки с учетом различия импедансов входа и выхода усилителя. На лабораторной работе слушатели практически осваивают методику измерения S-параметров усилителя в линейном режиме, определение стабильности усилителя по коэффициенту Роллета, измерение точки компрессии 1 дБ с использованием режима свипирования по мощности, доступного в анализаторах «Планар». Отдельно рассматриваются вопросы обеспечения электромагнитной совместимости при измерении высокочувствительных усилителей и методы повышения точности измерений путем усреднения и выбора оптимальной полосы фильтра ПЧ.

Тема «Измерение активных устройств в импульсных режимах» курса раскрывает специализированные методики измерения характеристик активных устройств, работающих в импульсных режимах, что особенно актуально для радиолокационных и телекоммуникационных применений. Слушатели изучают аппаратное устройство векторных анализаторов цепей «Планар», обеспечивающее возможность импульсных измерений, а именно особенности архитектуры приемников, системы синхронизации и модуляции зондирующего сигнала. На примере приборов серии С1220 и Р4М-18 демонстрируются возможности импульсной модуляции выходного сигнала с контролируемыми параметрами импульсов (длительность, скважность, задержка). Подробно рассматриваются различные режимы импульсных измерений: стробирование в точке (point-in-pulse), стробирование импульса (pulse-in-pulse) и профилирование импульса (pulse profiling). Слушатели знакомятся с особенностями настройки параметров измерения для каждого из этих режимов, включая выбор оптимальной частоты повторения импульсов, длительности стробирования и параметров усреднения. Отдельное внимание уделяется режимам детектирования импульсных сигналов, узкополосному, широкополосному и с использованием БПФ, их преимуществам и ограничениям при различных соотношениях длительности импульса и времени измерения. В ходе лабораторных работ слушатели практически осваивают методику измерения параметров усилителей и других активных устройств в импульсных режимах, например, измерение изменения коэффициента усиления и фазы в течение импульса,

определение времени установления характеристик, измерение параметров в условиях теплового дрейфа. Особое внимание уделяется практическим аспектам синхронизации анализатора с внешними источниками импульсных сигналов и методам повышения точности импульсных измерений путем оптимизации параметров стробирования и фильтрации. Эта тема курса позволяет слушателям освоить передовые методики измерений, необходимые при разработке и тестировании современных импульсных СВЧ-устройств.

Важной темой курса является тема «Измерения устройств с преобразованием частоты». Она посвящена методикам измерения характеристик смесителей, конверторов и других устройств с преобразованием частоты, которые широко применяются в современных радиотехнических системах. Слушатели изучают принципы работы различных типов преобразователей частоты, а имеено смесителей с диодной и транзисторной структурой, балансных и двойных балансных смесителей, активных преобразователей. Рассматривается широкий спектр измеряемых параметров, к которым относятся коэффициент преобразования, изоляция между портами, КСВН входа и выхода, уровень побочных составляющих, точка компрессии 1 дБ, интермодуляционные искажения. Особое внимание уделяется различиям между скалярным и векторным методами измерения преобразователей частоты. На примере анализаторов «Планар» серии P4M демонстрируются возможности скалярных измерений с использованием встроенных или внешних детекторов, а для векторных измерений рассматриваются особенности работы с многопортовыми анализаторами серии «Обзор» и С1220, позволяющими проводить измерения с опорным сигналом гетеродина. Подробно разбираются методические особенности проведения измерений, среди которых необходимость использования фильтров для подавления побочных составляющих, обеспечение стабильности частоты и мощности гетеродина, учет влияния согласования портов. Слушатели изучают специфику настройки и калибровки ВАЦ при измерении параметров преобразователей частоты; использование специальных методов калибровки (например, скалярной калибровки с мощностной калибровкой приемников или векторной калибровки с использованием калибровочного смесителя). В ходе лабораторных работ слушатели практически осваивают методики измерения основных параметров смесителей и конверторов, включая построение частотных зависимостей коэффициента преобразования, определение точки компрессии, измерение изоляции между портами. Особое внимание уделяется правильной настройке частотных планов для измерения устройств с преобразованием частоты в программном обеспечении анализаторов «Планар», что позволяет корректно учитывать соотношения между частотами входного сигнала, гетеродина и выходного сигнала.

Завершает курс тема «Учет влияния измерительных приспособлений», которая посвящена критически важным методикам повышения точности измерений путем компенсации влияния измерительной оснастки на результаты. Слушатели изучают принципы исключения (de-embedding) и встраивания (embedding) цепей, которые позволяют математически перенести плоскость калибровки непосредственно к исследуемому устройству. На практических примерах с использованием векторных анализаторов цепей «Планар» демонстрируется применение этих методов для компенсации влияния контактных приспособлений, переходов, кабелей и других элементов измерительной системы. Особое внимание уделяется различным способам описания встраиваемых/исключаемых цепей, а именно с помощью S-параметров, эквивалентных схем или физических параметров линий передачи. В программном обеспечении приборов «Планар» (например, в ПО для серии «Обзор») слушатели осваивают функциональность автоматического расширения портов (port extension), которая позволяет компенсировать электрическую длину соединительных линий без проведения полной процедуры исключения цепей. Подробно изучается мощный инструмент анализа – преобразование во временную область (Time Domain

Reflectometry/Transmission), доступный в современных моделях «Планар». Этот метод позволяет локализовать неоднородности в измерительном тракте, оценить их влияние на результаты и применить временную селекцию для исключения нежелательных отражений. На лабораторных работах слушатели практически осваивают методики автоматического учета влияния оснастки; отрабатываются создание и применение моделей оснастки, использование функций автоматического определения параметров линий, применение временной селекции для исключения множественных отражений. Особое внимание уделяется практическим аспектам выбора оптимального метода компенсации влияния оснастки в зависимости от конкретной измерительной задачи, доступной информации о параметрах оснастки и требуемой точности измерений. Эта часть курса позволяет слушателям значительно повысить точность и достоверность проводимых измерений, особенно при работе с миниатюрными устройствами, требующими специальных.

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 72 академических часа. При этом курс разделён на две части – дистанционную и очную.

В рамках дистанционной части обучающиеся присутствуют на лекциях и практических занятиях, проводимых в дистанционном формате с использованием ВКС, проходят промежуточную аттестацию в виде тестирования.

Во время очной части курса сотрудники университета проводят в указанное в расписании время лабораторные работы, в рамках которых обучающиеся закрепляют материалы, освоенные в дистанционной части, а также получают новые навыки по работе с радиоэлектронным оборудованием.

По окончании курса слушатели умеют:

• проводить измерение параметров активных и пассивных устройств в частотной и временной областях и интерпретировать полученные результаты измерений;

• выполнять калибровку измерительных стендов на основе ВАЦ, диагностику используемого оборудования для проверки корректности проводимых измерений,

• создавать описание наборов калибровочных мер;

• проводить постобработку результатов измерений, в том числе использовать функции исключения (де-эмбеддинг) и встраивания (эмбеддинг) виртуальных цепей.

В случае успешного прохождения итоговой аттестации обучающиеся, имеющие среднепрофессиональное или высшее образование, получают удостоверения о повышении квалификации установленного образца, с иным образованием – выдаётся сертификат слушателя курса.

Первый набор на этот курс показал состоятельность идеи и общий интерес со стороны предприятий радиотехнической промышленности самого широкого профиля, убедительно подтвердив наше мнение, что быстрый, а главное качественный переход на современные отечественные решения в российской радиоэлектронной промышленности возможен только при соответствующем методическом обеспечении и сопровождении.

Список источников

1. *Крылов, А. А.* Роль дополнительного образования в переходе на массовое использование отечественного контрольно-измерительного оборудования (на примере курса РТУ МИРЭА «Современные методики векторного анализа цепей» с использованием векторных анализаторов цепей «Планар») / А. А. Крылов, А. Н. Шовгенин, А. А. Золотарев // Научное приборостроение: перспективы разработки, создания, развития и использования : Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Ростов-на-Дону, 17–20 сентября 2024 года. – Ростов-на-Дону: Южный научный центр РАН, 2024. – С. 254-256. – EDN UIFVXU.

TRAINING OF SPECIALISTS FOR TECHNOLOGICAL SOVEREIGNTY: AN EXAMPLE OF THE RTU MIREA COURSE "MODERN METHODS OF VECTOR CIRCUIT ANALYSIS" USING PLANAR VECTOR CIRCUIT ANALYZERS

A.A. Zolotarev[1], **A.N. Shovgenin**[2], **A.A. Krylov**[3]
[1–3] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[3] "PLANAR-PROEKT" LLC (Moscow, Russia)
[1]zolotarev@mirea.ru, [2]shovgenin@mirea.ru, [3]andrey.krylov@planarchel.ru

Abstract

Problem statement. Today, a steady trend is forming in Russia towards the use of domestic control and measuring equipment, which requires solving many different tasks. One of them is to create high-quality advanced training courses for employees working with radio equipment in order to make their transition to domestic devices painless and effective in terms of mastering affordable and sometimes conceptually different from the previously available functionality of foreign-made equipment. Goal. To evaluate the effectiveness of engineers' transition to domestic measuring equipment by using a course of additional professional education. Results. A training program has been developed for the study of modern measuring instruments of domestic production, the first set was conducted, which showed a high interest of students in the educational material. Practical significance. The results obtained make it possible to conduct additional education courses for engineers in order to retrain for work on measuring instruments of domestic production.

Keywords

Vector circuit analyzer, adaptive filtering, interference, radio measurements, DPO.

УДК 347.8

ВОПРОСЫ ЗАЯВЛЕНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ В МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОЮЗ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

Д.А. Ковалевский[1]
[1] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] dmitriy.kovalevskiy@mail.ru

Аннотация

Постановка проблемы. На данный момент вопрос заявления радиоэлектронных средств в Международный союз электросвязи стоит достаточно остро. Ежегодно заявляются и регистрируются десятки спутниковых систем, при том, что частотный ресурс довольно ограничен и уже распределен между существующими сетями.

Цель. Провести анализ регистрации радиоэлектронных средств в Международный союз электросвязи, описать основные шаги для подачи заявления на регистрацию радиоэлектронного устройства.

Результаты. Проведен анализ регистрации радиоэлектронных средств в Международный союз электросвязи, описаны основные шаги для подачи заявления на регистрацию радиоэлектронного устройства. Описаны проблемы, возникающие при несоответствии заявления в Международный союз электросвязи с учетом Международной таблицы распределения частот. Предложены советы по разрешению конфликтных ситуаций.

Практическая значимость. Полученные результаты позволяют более взвешено подойти к регистрации средств в Международный союз электросвязи и избежать типовых ошибок при заявлении.

Ключевые слова

Международный союз электросвязи, частотный ресурс, Администрация связи, координация.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Проблемы подачи заявления радиоэлектронного средства (РЭС) в Международный союз электросвязи (МСЭ) [1] стоят с незапамятных времен. Очень часто остро стоит вопрос в координации сетей, утверждения заявки и перечисленных в ней характеристик, а также согласования со всеми заинтересованными органами для её дальнейшего продвижения.

Цель работы – провести анализ регистрации радиоэлектронных средств в Международный союз электросвязи и описать основные шаги для подачи заявления на регистрацию радиоэлектронного устройства.

Определение характеристик для заявления

Начальный этап формирования сведений об характеристиках для заявляемого устройства должен начинаться с рассмотрения Международной таблицы распределения частот (МТРЧ), установленной МСЭ, для определения заявляемой службы.

Согласно установленному Регламенту Радиосвязи [2], в целях распределения частот мир разделен на три Района, как показано на рис. 1 (Затененная часть представляет собой Тропическую зону).

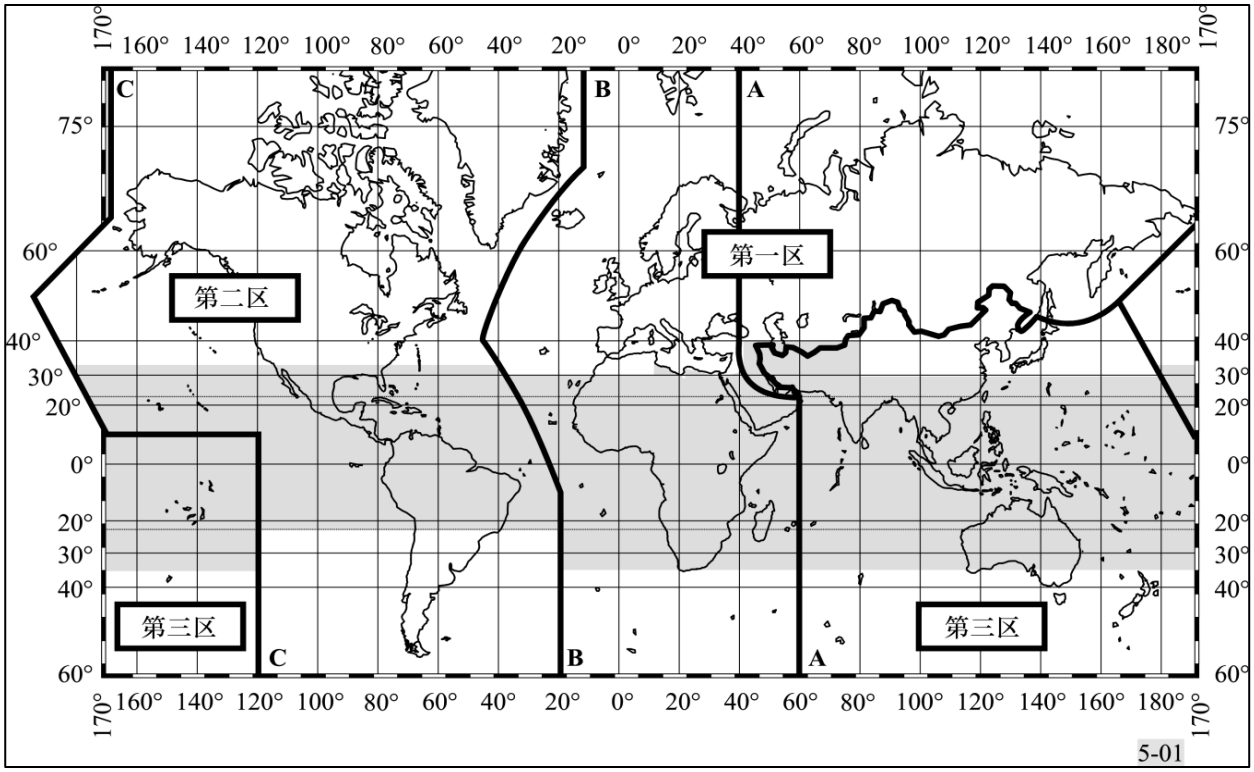


Рис. 1. Районы и зоны распределения частот
Fig. 1. Frequency distribution areas and zones

Район 1 включает в себя зону, ограниченную на востоке линией A (линии A, B, C определены ниже) и на западе линией B, за исключением любой части территории Исламской Республики Иран, расположенной между этими границами. В этот Район также полностью включаются территории Армении, Азербайджана, Российской Федерации, Грузии, Казахстана, Монголии, Узбекистана, Турции, Кыргызстана, Таджикистана, Туркменистана и Украины и зона между линиями A и C, расположенная к северу от Российской Федерации.

Район 2 включает в себя зону, ограниченную на востоке линией B и на западе линией C.

Район 3 включает в себя зону, ограниченную на востоке линией C и на западе линией A, за исключением любой части территорий Армении, Азербайджана, Российской Федерации, Грузии, Казахстана, Монголии, Узбекистана, Турции, Кыргызстана, Таджикистана, Туркменистана и Украины, и зоны к северу от Российской Федерации. В этот Район также включается та часть территории Исламской Республики Иран, которая расположена вне этих границ.

«Тропическая зона» определяется как:

- вся зона Района 2, находящаяся между тропиками Рака и Козерога;
- вся зона Районов 1 и 3, которая находится между параллелями 30° северной широты и 35° южной широты, и в дополнение к этому:
- зона, находящаяся между меридианами 40° восточной долготы и 80° восточной долготы от Гринвича и параллелями 30° северной широты и 40° северной широты;
- часть Ливии, расположенная к северу от параллели 30° северной широты.

В Районе 2 Тропическая зона может быть расширена до параллели 33° северной широты при условии заключения специальных соглашений между заинтересованными странами этого Района

Основываясь на трех главных районах, далее идет распределение по категориям служб:

- службы, названия которых напечатаны прописными буквами (например: ФИКСИРОВАННАЯ); такие службы называются «первичными»;
- службы, названия которых напечатаны строчными буквами (например: Подвижная); такие службы называются "вторичными".

Приоритет у первичных служб над вторичными в том, что заявляемые средства, которые относятся ко вторичной группе не могут причинять вредных помех станциям первичных служб, но могут оспаривать воздействие со стороны других вторичных служб, если нарушается их функционирование.

Отдельным способом заявления идет формирование через статью 4.4 Регламента Радиосвязи, в которой говорится об использовании станции на любой частоте, но с учетом ее беспомеховой работы и отсутствия требований о защите от станций первичных и вторичных служб, расположенной в работающей полосе частот. Этот вариант не является приоритетным из-за большой плотности средств в большинстве используемых спектрах частот.

На основе данных о распределении служб и районах частот сформирована Международная таблица радиочастот, которая является основным фактором для формирования характеристик потенциально заявляемой РЭС.

Формирование заявки для регистрации

На международном уровне формирование заявки должно происходить в два этапа: через Администрацию связи (АС) государства, через которое будет проходить данное РЭС, далее, после согласования, идет подача в МСЭ.

В целом, процесс подачи в МСЭ состоит из нескольких сегментов:

- соблюдение распределения в соответствии с МТРЧ;
- оплата заявки: на момент публикации в 2024 от 0,5 до 40 расчетных единиц (1 расчетная единица стоит 318000 швейцарских франков), в зависимости от представляемых АС (исторически 0,5 расчетных единиц – ***оплата для островных государств, 40 расчетных единиц для крупных стран***) (табл. 1);

Таблица 1. Количество расчетных единиц на примере нескольких стран в 2024 году

Страна	Количество расчетных единиц	Сумма (CHF)
США	40	12720000
Китай	30	9540000
Россия	6	1908000
Индия	5	1590000
Науру	0,5	159000

Хотя и существует стремление сделать все страны равноправными в вопросе обеспечения услуг к 2030 году [3], но фактически это до сих пор считается труднодостижимой задачей.

- обязательное заключение со стороны Администрации связи, на территории которой будет производиться обслуживание данного РЭС. В нем должно указываться, что у радиочастотного органа нет претензий на заявление, а также должно указываться экспертное заключение в области обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) (в России радиочастотным органом является ГКРЧ – Государственный комитет по радиочастотам [4]). На сайте ГКРЧ публикуются последние решения по выделенным частотам [5].

Добиться заключения со стороны АС тоже довольно проблематично. Например, на территории России действует своя Таблица распределения полос радиочастот (ТРПЧ) [6] (аналогичной МТРЧ в МСЭ), по которой можно заметить, что большинство радиочастотного спектра на территории России распределено за правительственным сегментом или имеет область совместного использования, исключительно под коммерческий сектор всего используется порядка 3 % задействованных частот. Да, ранее было отмечено, что есть возможность использования сетей в частотах совместного использования, но на деле часто эксплуатация в таких диапазонах затруднена, либо не представляется возможным. В первую очередь из-за того, что приоритет отдается к средствам государственного назначения и получить разрешение у правительственных органов не всегда получается. Более того, даже при отсутствии помех со стороны средств гражданского назначения и не влиянии помех на него (фактор обеспечения ЭМС), всегда может последовать отказ без объяснения причин и государственные органы на это имеют полное право.

Порядок действий для подачи заявки через национальные представительства (на примере АС России):

1) Согласование с ГКРЧ:

- Подготовка технических сведений об используемой системе: характеристики, частоты обслуживания, зоны покрытия;
- Подача заявки через Роскомнадзор, которая пойдет на рассмотрение в ГКРЧ;
- Экспертиза со стороны ГКРЧ на предмет электромагнитной совместимости и соответствия интересам национальной безопасности.

2) Получения решения ГКРЧ об эксплуатации:

- Если ГКРЧ одобрит заявку, он направит ее через Роскомнадзор в МСЭ от имени АС России;
- В случае отрицательного решения потребуется переработать характеристики заявляемого РЭС.

3) Подача в МСЭ:

- После одобрения заявка регистрируется в соответствующей секции МСЭ;
- Далее следует процедура координации с зарубежными АС, на которые может влиять используемое средство.

При несоблюдении вышеперечисленных условий предусмотрены штрафные санкции и исключение [7].

Конфликтные ситуации при использовании средств

Однако есть и другой немаловажный фактор. Учитывая распределения МТРЧ и ТРПЧ, есть расхождения в некоторых используемых полосах частот. К примеру, в России не доступны такие службы как Starlink и OneWeb из-за права на использование частотного ресурса Россией [8].

Из этого вытекает другая проблема. Использование одного и того же диапазона разными средствами может создавать приграничные помехи из-за разных характеристик РЭС, вследствие чего процесс координации замедляется и может затянуться на неопределенный срок.

Механизмами в этом случае выступает согласование через МСЭ и двусторонние соглашения с конфликтующими странами (для Китая и России действует соглашение об использовании 700 МГц в рамках развития сетей 5G, но операторы не могут использовать эти частоты до 2029 года на свое усмотрение [9]). Также, на это может поспособствовать влияние МСЭ на изменение ТРПЧ для синхронизации работы средств.

Одним из примеров таких несостыковок МТРЧ и ТРПЧ можно выделить работу радиолюбительских станций в диапазоне 144-146 МГц, в то время как в Европе этот диапазон выделен для цифрового радио. Это, в свою очередь, приводило к нарушению работы систем в Калининградской области.

Однако возможность лоббирования необходимых частотных присвоений присутствует у Администраций связи во время проведения Всемирной конференции радиосвязи (ВКР) [10], которые проходят раз в четыре года. Во время проведения ВКР также обсуждаются вопросы изменения нормативных документов (Регламента радиосвязи, Рекомендаций и Приложений) и обсуждения других региональных вопросов обеспечения ЭМС, возникших со времен проведения прошлой ВКР.

Заключение

Актуальность проведения работ по организации эксплуатации устройств для обеспечения беспомеховой работы не исчезает. В данной работе была проведена аналитическая оценка по регистрации устройств в МСЭ, а также учтены возможные конфликтные ситуации уже учтенных устройств между разными Администрациями связи. Мировое сообщество должно стремиться к глобальному обеспечению электромагнитной совместимости, но из-за устоявшихся исторических тенденций это процесс развивается

довольно медленно. Вопросы урегулирования сейчас решаются гораздо быстрее с учетом возможности двухсторонней координации.

Список источников

1. *Международный союз электросвязи* // Википедия URL: https://ru.wikipedia.org/wiki Международный_союз_электросвязи (дата обращения: 15.05.2025).
2. *Регламент Радиосвязи 2024 год* // Международный союз Электросвязи URL: https://www.itu.int/hub/publication/r-reg-rr-2024/#/ru (дата обращения: 15.05.2025)..
3. *Международный союз электросвязи - технический регулятор или арена нового противостояния* // Международная жизнь URL: https://interaffairs.ru/news/show/30759 (дата обращения: 15.05.2025).
4. *Государственная комиссия по радиочастотам* // Минцифры URL: https://digital.gov.ru/advisory/gosudarstvennaya-komissiya-po-radiochastotam (дата обращения: 15.05.2025).
5. *Радиослужбы* // ГРЧЦ URL: https://grfc.ru/grfc/zayav/radioservice/ (дата обращения: 15.05.2025).
6. *Акт правительства Российской Федерации "«Об утверждении Таблицы распределения полос радиочастот между радиослужбами Российской Федерации и признании утратившими силу некоторых постановлений Правительства Российской Федерации»" от 18.09.2019 № 1203-47* // Официальный интернет-портал правовой информации. – 2019.
7. *ОБЗОР УПРАВЛЕНИЯ И АДМИНИСТРИРОВАНИЯ В МЕЖДУНАРОДНОМ СОЮЗЕ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ (МСЭ)* // UNITED NATIONS URL: https://www.unjiu.org/sites/www.unjiu.org/files/jiu_rep_2016_1_russian.pdf (дата обращения: 15.05.2025).
8. *Starlink и OneWeb не могут работать в России из-за приоритета российской заявки на частоты* // ТАСС URL: https://tass.ru/kosmos/16595511 (дата обращения: 15.05.2025).
9. *ТВ-вещание не позволяет запустить сети 5G* // it-world URL: https://www.it-world.ru/tech/lhdiqzm4wggcg484k8o4008gwcwcw40.html (дата обращения: 15.05.2025).
10. *Всемирная конференция радиосвязи 2023 года (ВКР-23) // Международный союз Электросвязи URL: https://www.itu.int/wrc-23/ru/#:~:text=%Всемирные%20конференции%20радиосвязи%20(ВКР)%20проводятся,радиочастотного%20спектра%20и%20спутниковых%20орбит (дата обращения: 15.05.2025).*

METHODS OF ADAPTIVE REJECTION OF SIGNAL AUDIO INTERFERENCE

D.A. Kovalevskiy [1]
[1] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] dmitriy.kovalevskiy@mail.ru

Abstract

At the moment, the issue of declaring radio-electronic means in the International Telecommunication Union is quite acute. Dozens of satellite systems are declared and registered annually, despite the fact that the frequency resource is quite limited and has already been distributed among existing networks. An analysis of the registration of radio-electronic means in the International Telecommunication Union was conducted, the main steps for filing an application for registration of a radio-electronic device were described. The article also describes the problems that arise when the application to the International Telecommunication Union does not correspond to the International Frequency Allocation Table. Advice on resolving conflict situations is offered. The results obtained allow a more balanced approach to registering means in the International Telecommunication Union and avoiding typical errors in the application.

Keywords

International Telecommunication Union, frequency resource, Communications Administration, coordination.

УДК 535.23

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТУПНОСТИ АТМОСФЕРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ ВО ВСЕХ СЕЗОНАХ В ГОРНЫХ ЛАНДШАФТАХ

Б.А. Кузяков [1]
[1] ЛАС - Лазерная Ассоциация (Москва, Россия); [1] МИРЭА – Российский Технологический Университет (Москва, Россия)
boris.kuzyakov@yandex.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Рассматриваются преимущества лазерных телекоммуникаций в ближнем космосе и на трассах космический аппарат (КА) – труднодоступные наземные объекты. Приведены: общая схема волоконного лазера с солнечной накачкой и схема приёмника лазерного излучения. Анализируются уровни затухания оптического сигнала в атмосфере в зависимости от дальности видимости. Приведено распределение разнообразных облаков по высоте над земной поверхностью.

Цель. Показано, что размещая, при необходимости, приёмо-передающую лазерную аппаратуру выше зоны слоисто-дождевых и кучево-дождевых облаков, можно обеспечить бесперебойную высокоэффективную связь в любое время года на значительных горных площадях РФ.

Результаты. Разработана перспективная схема лазерного источника волоконного типа. Приведена графическая зависимость метеорологической дальности видимости. Интегрированы площади территории РФ, на которых, за счёт применения предложенной тактики, можно существенно повысить эффективность оптических атмосферных линий телекоммуникаций.

Практическая значимость. Предложенная тактика размещения приёмо-передающей аппаратуры позволяет повысить эффективность оптических атмосферных линий телекоммуникаций на десятках тысяч км^2 территории РФ.

Ключевые слова

Лазерные телекоммуникации, преимущества, трасса, космический аппарат, труднодоступные наземные объекты, волоконный лазер, солнечная накачка, облака, слоисто-дождевые, горные ландшафты, высокоэффективная связь, времена года.

Введение

Преимущества лазерных телекоммуникаций в ближнем космосе настолько привлекательны, что привело к созданию высокоэффективных ретрансляторов. В наше время лазерные ретрансляторы успешно работают на околоземных орбитах. Большими преимуществами обладают так же лазерные системы на трассах космический аппарат (КА) – труднодоступные наземные объекты.

К базовым преимуществам лазерных телекоммуникаций [1-3], в первую очередь, относятся следующие. 1. Высокая пропускная способность: Лазерные системы обеспечивают значительно большую пропускную способность по сравнению с радиосвязью. Это позволяет передавать большие объемы данных с высокой скоростью, что особенно важно для научных миссий и передачи изображений. 2. Малая задержка: Лазерные лучи движутся со скоростью света, что минимизирует временную задержку в передаче данных между космическими аппаратами иназемными станциями. Это важно для операций, требующих реакции в реальном времени. 3. Большая безопасность: Лазерная связь сложнее подвергнуть перехвату или помехам, что делает ее более безопасной для передачи конфиденциальных данных. 4. Меньшая интерференция сигналов: Лазерная связь (рис. 1) менее подвержена сигнальной интерференции, что является проблемой для радиосвязи в плотных радиочастотных диапазонах.

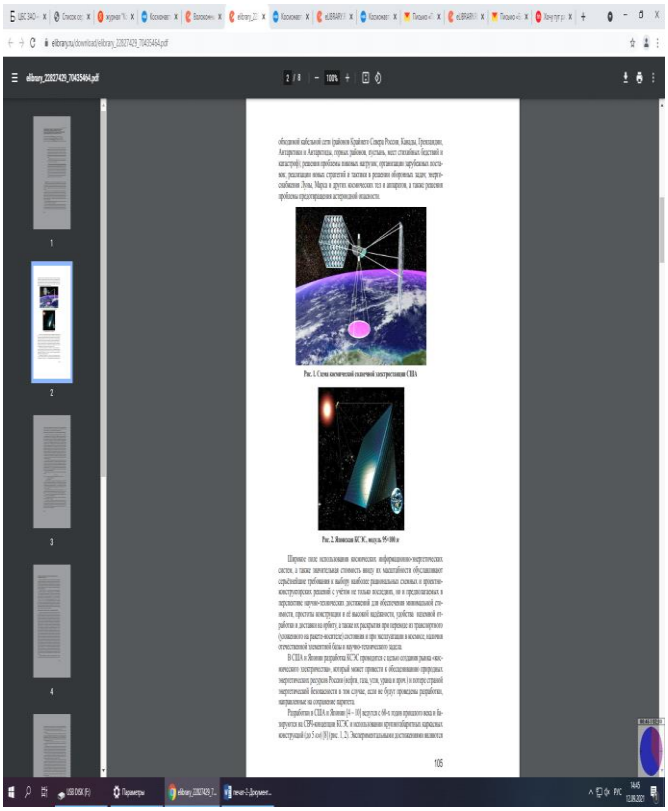


Рис. 1. Вариант лазерной связи КА – наземные объекты
Fig. 1. Spacecraft laser communication option – ground objects

При размещении лазерных источников в космическом пространстве большими перспективами обладают лазеры с солнечной накачкой, например, волноводного или волоконного типов. На рис. 2 приведена общая схема волоконного лазера с солнечной накачкой.

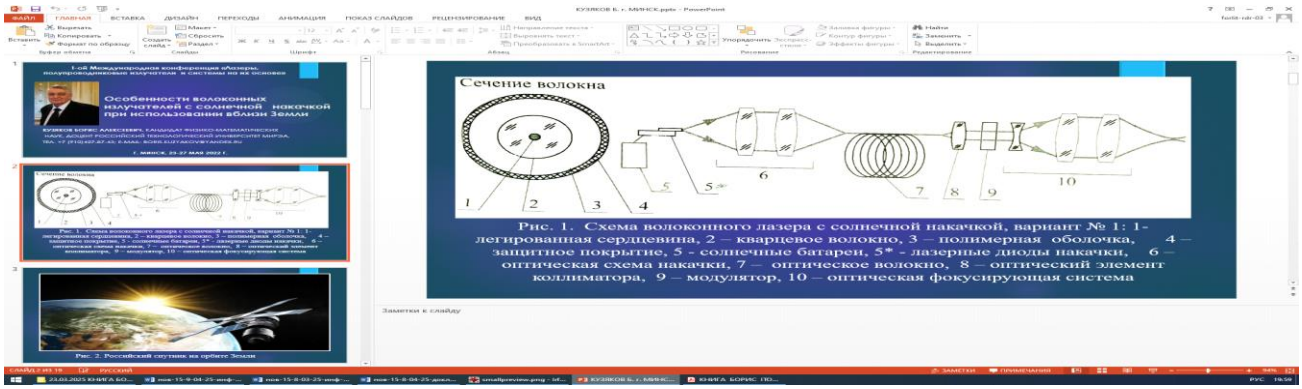


Рис. 2. Общая схема волоконного лазера с солнечной накачкой: а) Поперечное сечение волокна: 1 – легированная сердцевина, 2 – кварцевое волокно, 3 – полимерная оболочка, 4 – защитное покрытие; б) Основные компоненты схемы:5 – солнечные батареи, 5* - лазерные диоды накачки, 6 – оптическая схема накачки, 7 – оптическое волокно, 8 – оптический элемент коллиматора, 9 – модулятор, 10 – оптическая фокусирующая система

Fig. 2. General diagram of a solar–pumped fiber laser: a) Fiber cross-section: 1 - alloy core, 2 – quartz fiber, 3 – polymer shell, 4 – protective coating; b) Main components of the circuit:5 – solar panels, 5* - pumping laser diodes, 6 – optical pumping circuit, 7 – optical fiber, 8 – optical collimator element, 9 – modulator, 10 – optical focusing system

Один из вариантов приёмника лазерного излучения [4] приведён на рис. 3.

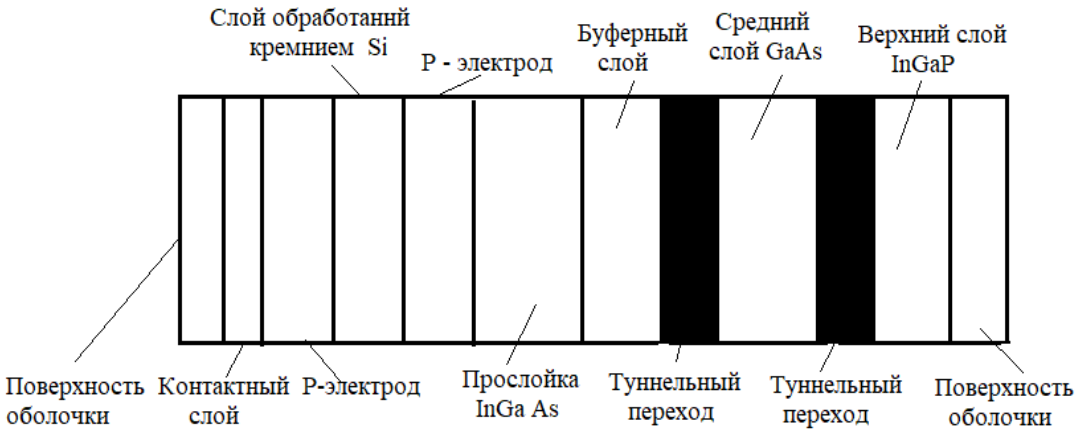


Рис. 3. Схема приёмника лазерного излучения
Fig. 3. Diagram of the laser radiation receiver

Таким образом, кратко представлены основные модули лазерной системы телекоммуникации на трассе КА – наземные объекты. Наряду с неоспоримыми преимуществами лазерных систем связи из ближнего космоса [5 - 7], они имеют некоторые недостатки. Некоторые противники лазерных систем телекоммуникаций, в качестве главного недостатка лазерной связи на околоземных трассах, указывают на её зависимость от аномальных метеорологических условий, определяемой метеорологическойдальностью видимости (МДВ). Зависимость затухания оптического сигнала в атмосфере от дальности видимости, показана на рисунке 4.

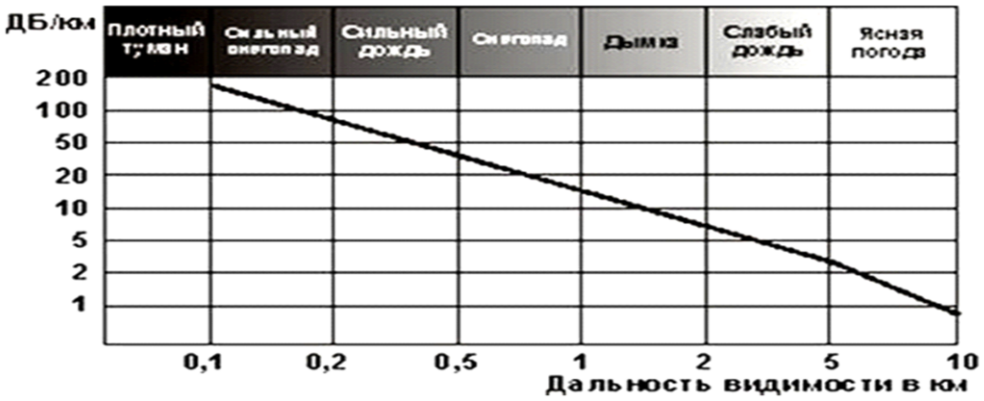


Рис. 3.15 - Уровень затухания оптического сигнала в атмосфере в зависимости от дальности видимости

Рис. 4. Уровень затухания оптического сигнала в атмосфере в зависимости от дальности видимости
Fig. 4. The attenuation level of the optical signal in the atmosphere depending on the range of visibility

Приведённые данные показывают, что дожди и снегопады могут существенно снижать дальность видимости и могут приводить к затуханию оптического сигнала выше 50 дБ/км. При этом, из природоведения вспоминаем, что источниками дождей и снегопадов являются слоисто-дождевые и кучево-дождевые облака (рис. 5).

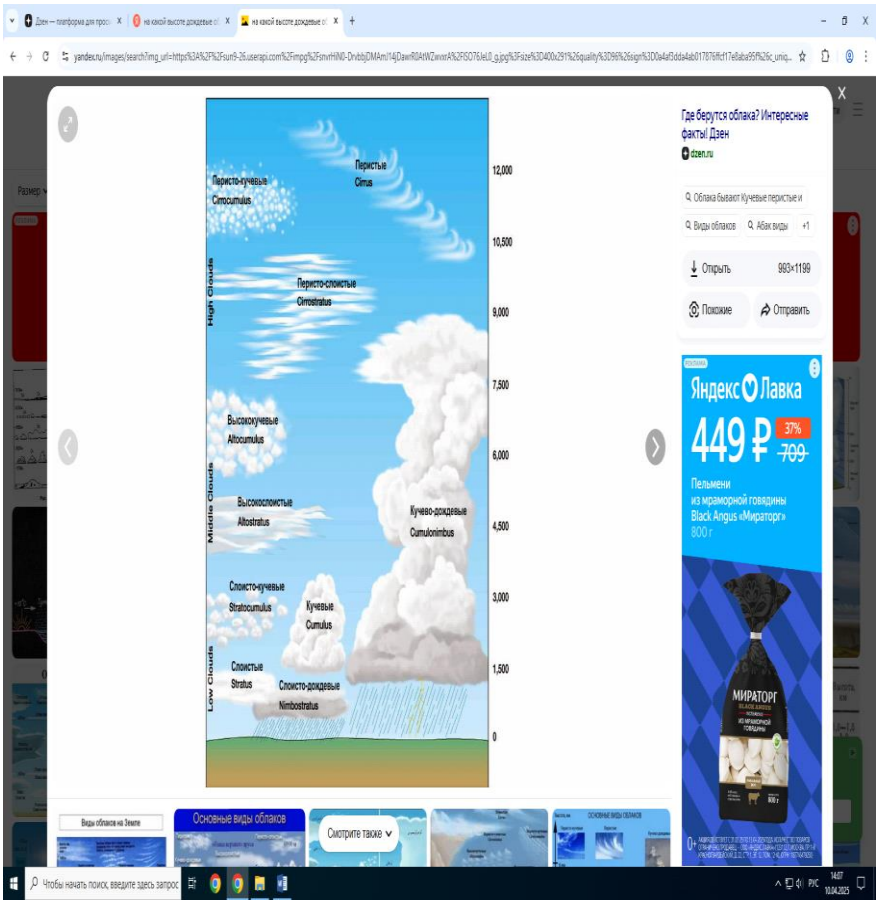


Рис. 5. Распределение разнообразных облаков по высоте над земной поверхностью
Fig. 5. Distribution of various clouds by height above the Earth's surface

Из метеорологии известно, что слоисто-дождевые и кучево-дождевые облака обычно занимают высоты 800–1400 м над земной поверхностью. На больших высотах может быть облачность, но не несущая потенциальных осадков. На рис. 6 показан пример весьма сильной облачности в горной местности.

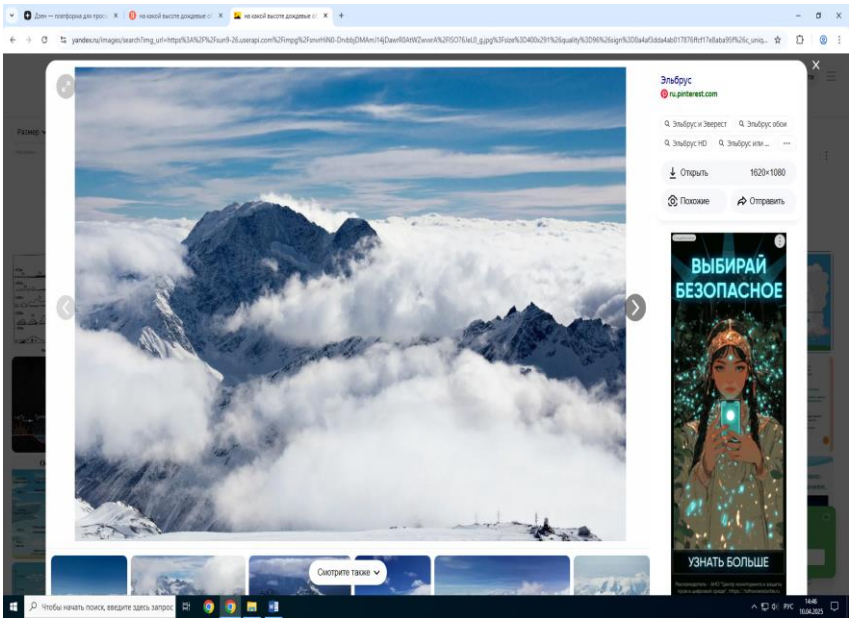


Рис. 6. Пример весьма сильной облачности в горной местности
Fig. 6. An example of very heavy clouds in a mountainous area

На переднем плане, внизу рис. 6, виден скалистый уступ, который находится выше плотных облаков. При определении МДВ с этого уступа, по трассе вверх, можно получить величину превышающую 6 – 8 км. Для туриста на рис. 7, для трассы – вверх, МДВ значительно превышает величину - 10 км.

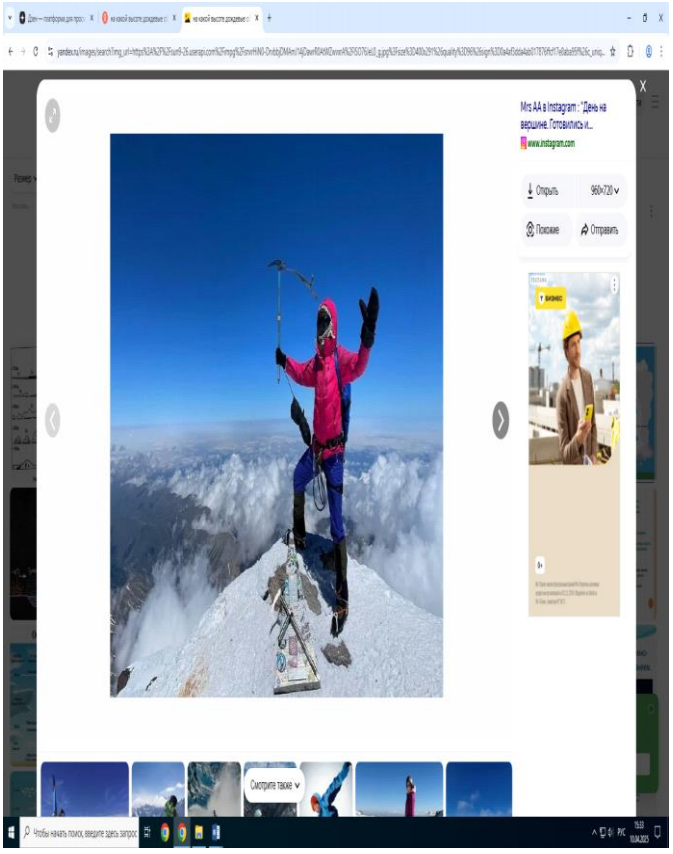


Рис.7. Вверху только «Чистое небо», вся сильная облачность осталась внизу
Fig. 7. Only "Clear sky" above, all heavy clouds remained below.

Приведенные рисунки (5–7) показывают, что в горной местности для одного и того же географического места по широте и долготе, величины МДВ сильно отличаются в зависимости от высоты места наблюдения и могут быть больше 10 -12 км. Для этих величин МДВ уровни затухания оптического сигнала в атмосфере оказываются ниже 1 дБ/км, что практически не ухудшает эффективность лазерных телекоммуникаций в наземных условиях. Таким образом, размещая, при необходимости, приёмо-передающую лазерную аппаратуру выше зоны слоисто-дождевых и кучево-дождевых облаков, можно обеспечить бесперебойную высокоэффективную связь в любое время года.

Обращаясь к географическим картам РФ, можно увидеть огромные площади горных районов РФ, исчисляемые десятками и сотнями тысяч км^2. В первую очередь к ним относятся: Уральские горы (протяженность более 2.5 тыс. км); Кавказские горы, Алтайские горы; Якутские горные массивы (один из хребтов, под именем, «Черского», на севере – протяженностью более 1200 км); Хибины; Чукотские горы; Горные хребты Камчатки.

Необходимо отметить, что подобная тактика размещения аппаратуры, широко применяется в астрономии [8 - 10]. Наиболее современные астрономические обсерватории размещают свои телескопические системы высоко в горах (рис. 8), на высотах более 3000–4000 м над уровнем океана [11 - 12].



Рис. 8. Пример расположения астрономической обсерватории в горной местности
Fig. 8. An example of the location of an astronomical observatory in a mountainous area

Заключение

Приведенные материалы, аргументы и тактика размещения аппаратуры, показывают возможности реализации высокоэффективных лазерных телекоммуникаций на обширных территориях РФ при разных метеорологических условиях, в любое время года.

Список источников

1. *Первушин А. И.* 108 минут, изменившие мир. Москва. – 2011. – Эксмо. — 528 с.
2. *Кузяков Б.А.* Перспективный волоконный лазер с солнечной накачкой на околоземных космических орбитах. Журнал “UNIVERSUM: Технические науки”, секция «Приборостроение, метрология и информационно - измерительные системы».-2021. - № 9(90). - с. 42 - 45.
3. *Кузяков Б.А. и др.* Повышение доступности оптической телекоммуникационной системы с атмосферными сегментами // Электромагнитные волны и Электронные системы. - 2013. - т. 18. - № 12. - с. 38 – 43.
4. *Андреев В.М.* Высокоэффективные фотоэлектрические преобразователи лазерного и концентрированного солнечного излу4чения. - Альтернативный киловатт. - 2012. - № 6. - с. 14-20.
5. *Зернов А.С., Николаев В.Д.* Опыт эксплуатации солнечных батарей служебного модуля международной космической станции. Космическая техника и технологии. – 2016. - №1 (12). – с. 29 – 38.
6. *Сигов А.С., Матюхин В.Ф.* Лазерные системы для беспроводной передачи энергии. Альтернативный киловатт. - 2012. - №6. - с. 21 – 27.
7. *Чистяков Е. А., Репин М. М.* Анализ методов связи между наземной станцией слежения и космическими аппаратами. ММНТК «Космическиетехнологии-2023». -2023. - Москва. – Сборник статей 1. - с. 216 – 218.
8. https://ru.wikipedia.org/wiki/Астрономическая _обсерватория.
9. http://www.websib.ru/noos/metod/astronom/sprav/Obser.htm (Обсерватории мира).
10. https://asteropa.ru/krupnejshie-astronomicheskie-observatorii-mira.
11. Кисляков А.Г., Разин В.А., Цейтлин Н.М. Введение в радиоастрономию. – М. - 1995. – 212 с.
12. StullR. B. An introduction to Boundary Layer Meteorology. – 1988. - London. – 666 p.

METHODS OF INCREASING THE AVAILABILITY OF ATMOSPHERIC OPTICAL TELECOMMUNICATION LINES IN ALL SEASONS IN MOUNTAINOUS LANDSCA

B.A. Kuzyakov
LAS - Laser Association (Moscow, Russia); MIREA – Russian Technological University (Moscow, Russia)
boris.kuzyakov@yandex.ru

Abstract

The advantages of laser telecommunications in near space and on the routes of spacecraft (SPACECRAFT) – hard-to-reach ground objects are considered. The following are presented: a general scheme of a solar-pumped fiber laser and a scheme of a laser radiation receiver. The levels of attenuation of the optical signal in the atmosphere are analyzed depending on the range of visibility.The distribution of various clouds in height above the earth's surface is given. It is shown that by placing, if necessary, receiving and transmitting laser equipment above the zone of layered rain and cumulonimbus clouds, it is possible to ensure uninterrupted, highly efficient communication at any time of the year in significant mountainous areas of the Russian Federation. A promising scheme of a fiber-type laser source has been developed. The graphical dependence of the meteorological range of visibility is given. The areas of the territory of the Russian Federation are integrated, where, through the use of the proposed tactics, it is possible to significantly increase the efficiency of optical atmospheric lines of telecommunications

Keywords

Laser telecommunications, advantages, route, spacecraft, hard-to-reach ground objects, fiber laser, solar pumping, clouds, layered rain, mountain landscapes, high-efficiency communications, seasons.

УДК 629.786.2

ВЛИЯНИЕ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ФАКТОРОВ КОСМИЧЕСКОЙ СРЕДЫ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

В.О. Скрипачев[1], **А.Н. Дементьев**[2], **С.В. Литвинов**[3], **К.А. Гайдуков**[4]
[1–4] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] skripachev@mirea.ru, [2] dementev@mirea.ru, [3] litvinov_s@mirea.ru, [4] gajdukov@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Космические аппараты подвержены воздействию неблагоприятных условий околоземного космического пространства, особенно во время повышенной солнечной активности, что может вызывать сбои и отказы бортового оборудования, особенно у малых спутников, где ограничены возможности защиты.

Цель. Рассмотреть методы мониторинга и прогнозирования состояния космической погоды, включая диагностику ионосферы, для повышения надёжности и долговечности КА.

Результаты. Исследования показали рост отказов техники в 2–2,5 раза при высокой солнечной активности. Предложены методы диагностики ионосферы через сигналы ОНЧ-радиопередатчиков и ГНСС. Продемонстрирована эффективность недорогих технологий, например, использование звуковых карт ПК для анализа сигналов.

Практическая значимость. Предложенные методы позволяют повысить безопасность и срок службы космических аппаратов, снизить риски аварий и внедрить экономически целесообразные системы мониторинга космической погоды, особенно актуальные для перспективных орбитальных станций и малых спутников.

Работа выполнена в рамках реализации программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» (соглашение от 31.03.2025 № 075-15-2025-020, федеральный проект «Университеты для поколения лидеров» национального проекта «Молодежь и дети»).

Ключевые слова

Космические аппараты, гелиогеофизические факторы, околоземное космическое пространство, солнечная активность, космическая радиация.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Функционирование космических аппаратов (КА) осуществляется в сложных гелиогеофизических условиях околоземного комического пространства (ОКП) при воздействии на бортовую аппаратуру и элементы конструкции КА целого ряда неблагоприятных гелиогеофизических факторов (ГГФ).

Состояние ОКП, описываемое неким множеством физических параметров в их качественных или количественных характеристиках, принято именовать космической погодой. Впервые термин космическая погода официально был применён в США в 1995 году при разработке национальной программы NSWP – National Space Weather Program. Космическая погода, как совокупность явлений в ОКП, в основном обусловлена сложными процессами, происходящими на Солнце, которые в свою очередь порождают широкий спектр неблагоприятных для функционирования КА явлений в ближнем космосе – верхней атмосфере, магнитосфере и ионосфере Земли. Степень проявления вариаций ГГФ в зоне функционирования космического аппарата влияет на устойчивость его конструкционных элементов, радиоэлектронного и оптического оборудования, что может привести к отказу аппарата и, как следствие, к срыву выполнения целевых задач. Кроме того, проявление неблагоприятных ГГФ в ряде случаев необходимо учитывать и при применении наземных космических комплексов [1].

Неблагоприятные факторы

Неблагоприятные гелиогеофизические факторы оказывают значительное влияние на работоспособность космических аппаратов, что требует реализации специальных защитных мер на этапе проектирования. К таким мерам относятся резервирование систем КА,

применение защитных экранов и использование радиационно-стойкой электронной компонентной базы. Однако существенные конструктивные ограничения, включая жесткие требования к массогабаритным характеристикам и энергопотреблению, существенно затрудняют полную реализацию защитных решений. Особенно остро эта проблема проявляется при создании малых космических аппаратов (МКА), включая аппараты формата CubeSat. Ярким примером служит МКА RTU MIREA1, в конструкции которого не предусмотрено резервирование систем.

Пилотируемые полёты представляют собой ключевое направление современной космонавтики, где основным вектором развития стало создание и эксплуатация долговременных орбитальных станций. Эволюция орбитальных комплексов прошла путь от первых пилотируемых станций с малочисленными экипажами до масштабной Международной космической станции (МКС), а в перспективе – к развёртыванию Российской орбитальной станции (РОС). Принципиальным отличием РОС станет использование полярной орбиты (в отличие от наклонной орбиты МКС), что позволит проводить исследования в высокоширотных областях околоземного пространства, где интенсивностью проявления неблагоприятных ГГФ максимальна.

Численная оценка неблагоприятных воздействий, обусловленных различной физической природой и пространственно-временным распределением [2, 3], требуют разработки методов количественной оценки уровня геофизической безопасности при управлении космическими средствами.

Анализ статистики эксплуатации космических аппаратов демонстрирует, что количество отказов бортовых систем в периоды повышенной гелиогеофизической активности увеличивается в 2-2.5 раза, что существенно сокращает срок их активного функционирования. В частности, в декабре 2022 года компания SpaceX (США) потеряла около 40 спутников Starlink вследствие ионосферных возмущений, вызванных солнечной вспышкой. Историческим прецедентом подобных событий стала преждевременная гибель американской станции Skylab в 1979 году, также обусловленная воздействием повышенной солнечной активности.

Последствия воздействий неблагоприятных гелиогеофизических факторов ОКП на бортовую аппаратуру КА описываются случайным распределением и отличаются большим диапазоном численных значений. Отдельно необходимо отметить, что ГГФ различны для разных типов орбит. Среди неблагоприятных факторов ОКП выделяют следующие [2]:

– вакуум;
– холодная и горячая плазма;
– поток нейтрального кислорода;
– электромагнитное излучение Солнца;
– электроны и ионы радиационных поясов Земли;
– солнечные и галактические космические лучи;
– метеориды;
– космический мусор.

Эти факторы индуцируют следующие явления:

– электризация КА;
– объёмное заряжание диэлектриков;
– собственная атмосфера КА.

Указанные выше две категории факторов приводят к возникновению следующих эффектов:

– сублимация материалов;
– эрозия полимеров;
– фотоэмиссия;
– свечение окрестности КА;

– заряжение материалов;
– электрические разряды;
– изменение механических, оптических и электрофизических свойств материалов;
– токи утечки, нагрев и термоциклирование;
– окисление и коррозия элементов радиоэлектронной аппаратуры;
– радиационные эффекты;
– сбои в работе радиоэлектронной аппаратуре;
– загрязнение оптических поверхностей.

Одним из основных неблагоприятных для функционирования КА гелиогеофизических факторов ОКП является космическая радиация, представляющая собой космическое галактическое излучение и потоки высокоэнергичных заряженных частиц, индуцируемых Солнцем. Одним из наиболее опасных последствий, вызванных взаимодействием КА с окружающей его космической средой, является электризация его поверхности, наружных элементов конструкции и приборов, что проявляется в образовании разности электрических потенциалов как между самим КА и окружающей его плазмой, так и на поверхности КА. Электризация, в свою очередь, вызывает электрические разряды на поверхности КА и в электрических цепях. Названные явления обусловлены как движением КА в среде, содержащей заряженные частицы, так и неравномерным распределением электрических зарядов на поверхности КА вследствие фотоэлектрического эффекта или свойств материалов конструктивных элементов КА. В свою очередь степень проявления фотоэлектрического эффекта зависит не только от свойств материалов, но и от условий освещённости КА (параметры отбиты, собственное вращение, затенение части корпуса наружными элементам и конструкции КА).

Наибольшее неблагоприятное воздействие на бортовую аппаратуру и элементы конструкции КА проявляется во время повышенной солнечной активности и/или при геоэффективных солнечных событиях, а также на геостационарных орбитах и в полярной области низких орбит КА вследствие понижения степени защитного действия геомагнитного поля и повышения плотности потока заряженных частиц. По этой причине в ряде случаев предусматривается отключение наиболее чувствительной или наименее защищённой части бортовой аппаратуры на приполярных участках орбит КА.

Технологии мониторинга

В условиях финансовых ограничений целесообразно рассматривать малобюджетные технологии и средства мониторинга состояния ОКП. Одна из таких технологий основана на способе измерений отдельных параметров ионосферы посредством оценки сигналов мировой сети радиопередатчиков ОНЧ диапазона. Физический принцип диагностики состояния ионосферы заключается в приёме наземным радиоприёмником сигнала ОНЧ-радиопередатчика, отражённого от слоёв E и D ионосферы [4, 5]. В настоящее время в мире функционируют около 30 ОНЧ-радиопередатчиков непрерывно, излучающих амплитудно-модулированные сигналы в диапазоне 10-50 кГц. Распространение электромагнитных волн этого диапазона в промежутке между ионосферой и поверхностью Земли претерпевает изменение амплитуды и фазы сигнала вследствие изменения параметров нижней ионосферы. Целью обработки принимаемых сигналов является получение информации о ионосфере посредством оценки вариаций их амплитуд и фазы. В проведённых исследованиях [6] в качестве аналогово-цифрового преобразователя использована звуковая карта ПЭВМ с частотой дискретизации не менее 96 кГц.

Схема экспериментальной установки, включающая в себя антенну, антенный усилитель, разработанный приёмник ОНЧ сигналов, и персональный компьютер приведена на рисунке 1. Отслеживание сигнала производилось посредством специальной вычислительной программы, предназначенной для наблюдения вариаций амплитуд в принимаемом радиосигнале сверхдлинных волн.

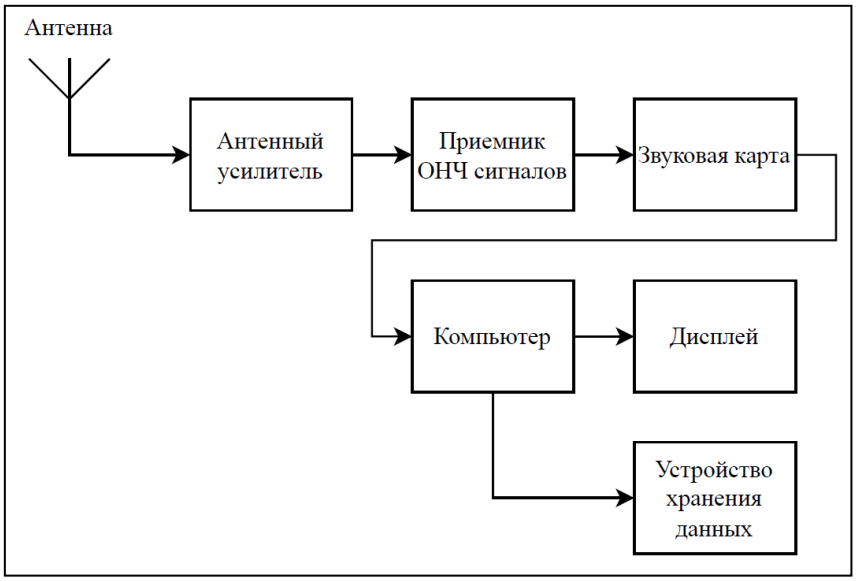


Рис. 1. Схема экспериментальной установки
Fig. 1. Experimental setup scheme

На рисунке 2 показан пример данных, полученных 11 марта 2015 года, где виден всплеск амплитуды сигналов от трех СДВ-радиопередатчиков: GQD (22.1 кГц, Великобритания), JJI (22.2 кГц, Япония) и NAA (24.0 кГц, США).

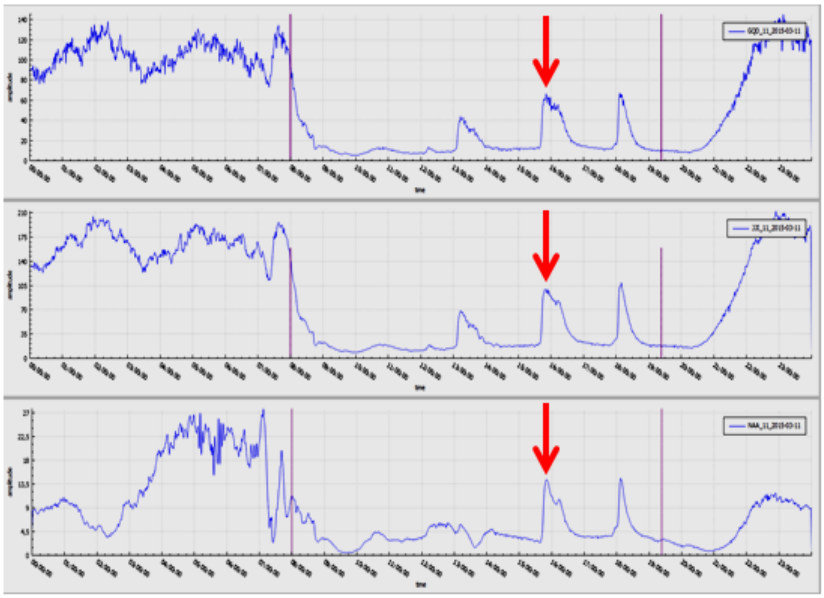


Рис. 2. Результаты обработки сигналов от трех СДВ-радиопередатчиков, принятых 11 марта 2015 года
Fig. 2. The results of signal processing from three SDV radio transmitters received on March 11, 2015

По оси абсцисс указано время UTC. Как видно из рисунка 2, около 16 часов по UTC (отмечено стрелкой) наблюдалось повышение амплитуды принимаемого сигнала, связанное с возмущением ионосферы по трассам распространения радиоволн, обусловленное произошедшей солнечной вспышкой балла X2.1.

Последние десятилетия в целях исследований ионосферы разрабатываются и активно используются технологии, основанные на приёме и анализе характеристик сигналов от КА глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) типа ГЛОНАСС, GPS, GALILEO и др. Приём может осуществляться не только бортовыми навигационными приёмниками, но и наземными их аналогами. По характеристикам принятых сигналов от КА ГНСС диагностируется состояние ионосферы и тропосферы вдоль трассы распространения сигнала, что позволяет исследовать морфологию естественных и искусственных возмущений полного

содержания электронов (Total Electron Concentration – TEC) в ионосфере и иные ее параметров (Рисунок 3) [7].

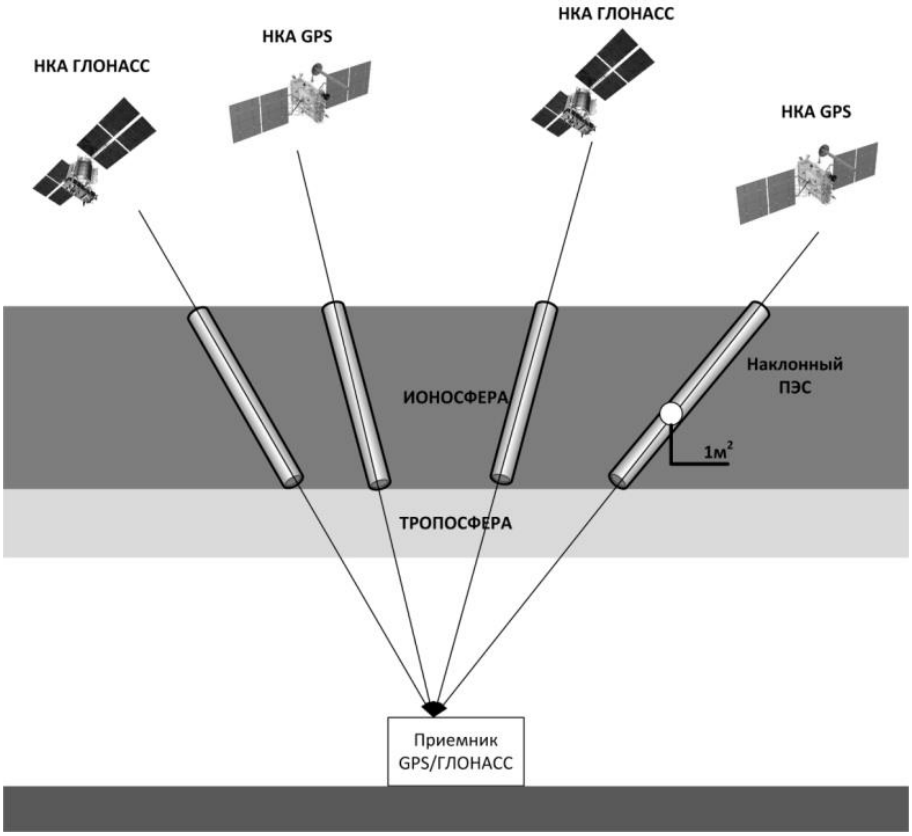


Рис. 3. – Схема мониторинга ионосферы с помощью наземного приемника сигналов ГНСС
Fig. 3. Ionosphere monitoring scheme using a ground-based GNSS signal receiver

Скорость распространения радиоволны в ионосфере зависит от полного электронного содержания – TEC, которое может быть определено как:

$$TEC = \int_S^P n_e(s)ds, \quad (1)$$

где $n_e(s)$ – концентрация электронов в ионосфере вдоль пути распространения сигнала от навигационного КА S к наземному приемнику P. Из приведенного уравнения следует, что чем ближе навигационный КА к зениту, тем меньше длина пути через ионосферу. Следовательно, TEC имеет наименьшее значение в вертикальном направлении.

Заключение

Таким образом, мониторинг текущих условий в ОКП – основа повышения срока активного существования КА и успешности работы бортовой аппаратуры. Такой мониторинг должен не только носить непрерывный глобальный характер, но и быть основанным на развитой методологии диагностики и прогнозирования.

Список источников

1. *Сапего М. К., Тестоедов Н. А., Атамасов В. Д., Бабук В. А., Белов В. П., Бурылов Л. С., Романов А. В.* Теория проектирования сложных технических систем космического базирования. СПб.: НПО «Профессионал», 2012. – 560 с.
2. Модель космоса. Научно-информационное издание: В 2 т. / Под ред. М.И. Панасюка, Л.С. Новикова. – Т.2: Воздействие космической среды на материалы и оборудование космических аппаратов.-М.: КДУ, 2007. – 1144 с.
3. В. О. Скрипачев, О. В. Семенова, К. В. *Авдеев [и др.]*. О необходимости разработки методологии количественной оценки уровня геофизической безопасности при управлении космическими средствами. Научно-технический вестник Поволжья. – 2023. – № 1. – С. 88-94. – EDN APMFWE.
4. *Belov A.V., Gushchina R.T., and Yanke V.G.* On connection of cosmic ray long term variations with solar - heliospheric parameters // Proc. 26-th ICRC. 1999. V. 7. P. 175-178.

5. *Nathan Blaunstein, Eugeniu Plohotniuc*. Ionosphere and Applied Aspects of Radio Communication and Radar. CRC Press, 2008, – 600 p.
6. *Скрипачев В. О., Пирхавка А. П., Полушковский Ю. А.* Выявление внезапных ионосферных возмущений, обусловленных солнечными вспышками по сигналам наземных СДВ-радиопередатчиков. Фундаментальные проблемы системной безопасности: материалы II школы-семинара молодых ученых. – Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина Елец, 2015. – С. 260-265.
7. *Скрипачев В.О., Яковлев О.В.* Использование информационных ресурсов глобальных навигационных спутниковых систем для мониторинга ионосферы. Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2013. – № 9. – С. 562-566. – EDN TJTTAX.

THE INFLUENCE OF UNFAVORABLE FACTORS OF THE SPACE ENVIRONMENT ON THE FUNCTIONING OF SPACECRAFT

V.O. Skripachev[1], **A.N. Dementev**[2], **S.V. Litvinov**[3], **K.A. Gaidukov**[4]
[1–4] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] skripachev@mirea.ru, [2] dementev@mirea.ru, [3] litvinov_s@mirea.ru, [4] gajdukov@mirea.ru

Abstract

Spacecraft are susceptible to the adverse conditions of near-Earth space, especially during times of increased solar activity, which can cause failures and failures of on-board equipment, especially for small satellites where protection capabilities are limited.

The aim is to consider methods for monitoring and forecasting the state of space weather, including ionospheric diagnostics, to improve the reliability and durability of spacecraft.

Studies have shown a 2-2.5-fold increase in equipment failures with high solar activity. Methods of ionospheric diagnostics using VLF radio transmitters and GNSS signals are proposed. The effectiveness of low-cost technologies has been demonstrated, for example, the use of PC sound cards for signal analysis.

The proposed methods make it possible to increase the safety and service life of spacecraft, reduce the risk of accidents, and implement economically feasible space weather monitoring systems, especially relevant for promising orbital stations and small satellites.

Keywords

Spacecraft, heliogeophysical factors, near-Earth space, solar activity, cosmic radiation.

The work was carried out within the framework of implementation of the strategic academic leadership program "Priority-2030" (agreement from 31.03.2025 № 075-15-2025-020, federal project "Universities for the generation of leaders" of the national project "Youth and Children").

УДК 004.946

ПЛАНИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ СИСТЕМ ПОСРЕДСТВОМ ИМИТАЦИОННЫХ VR СИМУЛЯТОРОВ

А.В. Осокин[1], **Д.А. Назаров**[2], **И.С. Филиппин**[3],
[1–2] Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета (Рязань, Россия)
[3] Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина (Рязань, Россия)
[1] torn_78@mail.ru, [2] dmitriynazarov90@gmail.ru, [3]coppeliusanx@gmail.ru

Аннотация

Исследование посвящено применению VR-технологий при разработки космических систем. Рассмотрены примеры использования VR симуляторов NASA и Роскосмоса для проектирования аппаратов и подготовки экипажей. Показано, как VR сокращает затраты и повышает безопасность испытаний. Обсуждены перспективы интеграции VR с искусственным интеллектом и облачными вычислениями. Важным моментом для практического применения виртуальной реальности в различных симуляциях также является объем первоначальных данных, которые своевременно корректируются по мере использования. Эта особенность также отражена в этой публикации, при этом одним из способов наполнения среды, является возможность использования механизмов краудсорсинга. С практической точки зрения именно совокупность концепций, указанных в данном материале приведет к стремительному развитию VR в планировании космических систем.

Ключевые слова

Виртуальная реальность, космос, обучение космонавтов, проектирование космических аппаратов, симуляторы, краудсорсинг, облачный сервис

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Современные космические программы сталкиваются с уникальными вызовами, включая высокую стоимость разработки, риски испытаний в экстремальных условиях и необходимость точного прогнозирования поведения систем. Традиционные методы проектирования и тестирования космических аппаратов зачастую требуют многолетних циклов и значительных финансовых вложений. В этом контексте технологии виртуальной реальности (VR) становятся ключевым инструментом для оптимизации процессов планирования и разработки перспективных космических систем.

VR-симуляторы позволяют создавать цифровые модели космических аппаратов, планетарных сред и рабочих сценариев с физической точностью, открывая новые возможности для инженеров, ученых и космонавтов. В данной статье рассматривается роль VR-технологий в современных космических исследованиях, их практическое применение и перспективы развития.

1. Теоретические основы применения VR в космической индустрии

1.1. Принципы работы VR-симуляторов

Виртуальная реальность создает искусственную интерактивную среду, имитирующую физические и визуальные характеристики реального мира. В контексте космических систем VR-симуляторы опираются на физические движки, такие как NVIDIA PhysX или Unity Engine, которые обеспечивают моделирование гравитации, столкновений и динамики полета. Дополнительно используются системы 3D-визуализации высокого разрешения для воссоздания поверхностей планет и космических станций, а также haptic-устройства, имитирующие тактильные ощущения.

1.2. Преимущества VR-моделирования

Главным преимуществом VR-технологий является сокращение затрат. Например, тестирование системы стыковки корабля с МКС в виртуальной среде обходится на 70% дешевле, чем аналогичные испытания в гидролаборатории [1]. Кроме того, по данным

Европейского космического агентства (ESA), внедрение VR сокращает время проектирования на 30–50% за счет раннего выявления ошибок [2]. Немаловажным аспектом остается безопасность: отработка нештатных ситуаций, таких как разгерметизация станции, исключает риск для жизни персонала.

Представим основные актуальные направления VR в космической индустрии (таблица 1).

Таблица 1. Актуальные направления VR

Направление	VR потенциал	Результат
Пилотируемая космонавтика	Отработка навыков управления космическими аппаратами	Безопасность полетов
Непилотируемая космонавтика	Имитация полета космического аппарата согласно его функциональному назначению	Сокращение количества потерь космических аппаратов в результате поломок или при возникновении внештатных ситуаций
Разработка/создание космических аппаратов	Создание новых или усовершенствование существующих технологических процессов	Значительное уменьшение временных и производственных затрат на изготовление космической техники
Экспериментальная космонавтика	Создание специфических условий для проведения экспериментов и их наблюдение	Расширение новых знаний о космосе и его влияние на различные процессы
Фундаментальная космонавтика	Интерактивные модели и демонстрации демонстрации космических явлений лежащих в основе природы окружающего мира	Развитие теоретической базы связанной с освоением космического пространства
Обучение	Виртуальные уроки по космическим и астрономическим образовательным программам	Развитие и создание новых образовательных программ

Выявление потенциальных направлений для развития VR является одной из приоритетных задач, стоящих для выполнения в ближайшее время. Важно своевременно систематизировать полученные результаты и находить решения по полученным данным [3].

2. Практическое применение VR-симуляторов

2.1. Проектирование космических аппаратов

Современные инженерные команды используют VR для оптимизации компоновки модулей. Виртуальное «погружение» в модель аппарата позволяет выявить недочеты эргономики, которые сложно обнаружить при работе с 2D-чертежами. Например, тестирование систем жизнеобеспечения в условиях Марса или Луны включает моделирование работы солнечных батарей, систем охлаждения и связи. Важным аспектом является коллаборация специалистов: удаленные команды могут работать в единой VR-среде, внося правки в режиме реального времени.

Проектирование космических аппаратов с помощью VR активно применяется в отечественной космической отрасли. При этом существенную помощь виртуальная среда оказывает при макетно-конструкторских испытаниях определяя правильность конструкторских и технологических решений, заложенных в документации [4].

2.2. Подготовка космонавтов

VR-тренажеры стали неотъемлемой частью тренировок в NASA и Роскосмосе. Они позволяют отрабатывать выходы в открытый космос с имитацией невесомости, тренировать действия при аварийных ситуациях, таких как пожар или поломка оборудования, а также изучать геологию планет через симуляцию марсианских или лунных ландшафтов.

Для повышения мобильности космонавтов при выходе в открытый космос уже отработаны имитации, которые оказывают существенную помощь в их подготовке. Отмечено,

что в разработке виртуального прототипа использовались как отечественные, так и зарубежные программные продукты [5].

Также VR симуляторы позволяют и дальше подготавливаться к межпланетным перелетам с помощью пилотируемых космических кораблей, несмотря на отсутствие практической возможности. Уже существую несколько симуляций позволяющих готовить космонавтам к будущим полетам [6], [7], [8].

2.3. Планирование межпланетных миссий

Ярким примером служит программа NASA Mars XR Operations, где ученые используют VR для моделирования марсоходов и анализа возможных маршрутов. Симуляция условий Марса, включая атмосферу, температуру и радиацию, помогает выбрать оптимальные материалы для аппаратов.

3. Кейсы успешного внедрения VR-технологий

Европейское космическое агентство (ESA) разрабатывает проект «Digital Twin Earth», в рамках которого создаются «цифровые двойники» спутников. Эти модели позволяют прогнозировать износ компонентов и оптимизировать орбитальные маневры. В России Роскосмос внедрил VR-тренажер «Селен» для подготовки к лунным миссиям. Он воссоздает лунную гравитацию (1/6 земной) и моделирует работу с оборудованием в условиях реголитовой пыли. Также проходит успешное внедрение цифровых двойников в аэрокосмической промышленности [9].

4. Вызовы и ограничения

Несмотря на потенциал, внедрение VR-симуляторов сталкивается с техническими и финансовыми барьерами. Высокие требования к вычислительным ресурсам для симуляции сложных физических процессов ограничивают доступность технологий. Например, стоимость профессиональных VR-решений, таких как Varjo XR-3, превышает $5 000, что делает их малодоступными для университетов [10]. Дополнительной проблемой является нехватка квалифицированных кадров, способных работать на стыке программирования, физики и космической инженерии.

5. Перспективы развития

Интеграция VR с искусственным интеллектом открывает новые возможности. Нейросети смогут анализировать данные симуляций и предлагать оптимизационные решения, такие как улучшение конструкции теплозащитного экрана. Перспективным направлением является использование дополненной реальности (AR) для управления миссиями, включая наложение виртуальных данных на реальные кадры с космических аппаратов. Развитие облачных VR-платформ позволит обеспечить удаленный доступ к симуляторам через серверы, снизив требования к локальным компьютерам.

По поводу использования облачных сервисов, можно упомянуть площадку «МТС FOG PLAY». К несравненным плюсам этого сервиса можно отнести то, что он может работать на “слабых” персональных компьютерах за сравнительно небольшую почасовую оплату – от 13 руб/ч (таблица 2). Предложенная технология относится к категории туманного гейминга. Основная особенность – это то, что в качестве серверов используются компьютерная техника других пользователей. Таким образом, если в последствии появятся свободные вычислительные мощности, то их можно предоставить, получая при этом доход с площадки, не устанавливая самостоятельно программное обеспечения пользователя. Сам сервер восстановится до предоставленного состояния после работы на нем после перезагрузки. Данные при этом могут сохраняться в облаке от МТС – «МТС Вторая Память».

Таблица 2. Примеры серверов сервиса МТС FOG PLAY

Наименование сервера	Описание сервера	Стоимость, руб/ч
10192X13	Процессор: Intel(R) Core™ i9-14900K Видеокарта: NVIDIA GeForce RTX 4060 Ti 16109 Mb Оперативная память: 32 Gb	75
6D6X21	Процессор: 13th Gen Intel® Core™ i5-13400F Видеокарта: NVIDIA GeForce RTX 4070 SUPER 11999 Mb Оперативная память: 32 Gb	55
198CX5	Процессор: 12th Gen Intel® Core™ i5-12400 Видеокарта: NVIDIA GeForce RTX 4060 Ti 16109 Mb Оперативная память: 32 Gb	38
11FF9X5	Процессор: Intel(R) Xeon® CPU E5-2670 v2 @ 2.5GHz Видеокарта: NVIDIA GeForce RTX 2060 SUPER 8006 Mb Оперативная память: 32 Gb	13

Соответственно можно предположить, что возможно использование различных VR симуляторов, если они будут присутствовать на площадке сервиса.

Также, следует упомянуть и про возможности развития систем получения данных для работы симуляторов, например, используемых для обучения или проектирования новых космических аппаратов. В этом случае можно применить механизмы краудсорсинга с целью наполнения и поддержки баз данных.

В качестве примера реализации концепции краудсорсинга для развития систем в основе которых лежат информационные базы данных можно привести онлайн-площадку форума «Сильные идеи для нового времени». Данный краудсорсинговый проект, организованный в 2020 году Агентством стратегических инициатив, собрал в себя все самое лучшее с начала развития направления проектов по сбору идей в России начиная с 2010 года. Более того он постоянно совершенствуется и проводится на ежегодной основе и соответственно можно говорить о возможности его применения для обучения проектной деятельности и такие практики в нашей стране уже есть [11]. Таким образом можно получить актуальное наполнение рабочей среды для использования в VR симуляторах.

Заключение

Имитационные VR симуляторы кардинально меняют подход к разработке космических систем, делая ее более быстрой, безопасной и экономически эффективной. Уже сегодня они используются ведущими космическими агентствами для проектирования аппаратов, подготовки экипажей и планирования миссий. Однако для массового внедрения технологий необходимо решить вопросы стоимости и подготовки кадров. В перспективе сочетание VR с искусственным интеллектом и облачными вычислениями откроет новые горизонты для освоения космоса.

Список источников

1. *De la Torre, G., et al. (2022).* "VR and AR for Astronaut Training: The ESA PANGAEA Project". Acta Astronautica, Vol. 190, pp. 1-12. DOI: 10.1016/j.actaastro.2021.10.015
2. *Smith, J., & Lee, K.* (2020). "Digital Twins for Spacecraft: A VR-Based Approach". Proceedings of the IEEE Aerospace Conference. DOI: 10.1109/AERO47225.2020.9172732.
3. *Кабанов, А. А.* VR/AR в изучении, создании и эксплуатации аэрокосмической техники: из макромира в микромир, от наблюдения к действиям / А. А. Кабанов, М. В. Амосов // Труды МАИ. – 2023. – № 128. – DOI 10.34759/trd-2023-128-21. – EDN UPJJTJ
4. *Поляков, А. А.* Использование виртуального пространства для проведения макетно-конструкторских испытаний по электронному макету космического аппарата / А. А. Поляков, С. А. Защиринский // Труды МАИ. – 2019. – № 107. – С. 12. – EDN IRETWM
5. Виртуальное прототипирование устройств для повышения мобильности космонавтов при выходе в открытый космос / М. В. Михайлюк, Б. И. Крючков, В. М. Усов [и др.] // Экстремальная робототехника. – 2020. – № 1(31). – С. 175-182. – EDN WWNAOНоптев Д.С. Теория радиотехнических сигналов: учебное пособие. Курск: ЮЗГУ, 2019. 239 с.
6. Комплекс виртуальной реальности для моделирования и демонстрации процессов спуска и посадки пилотируемого космического аппарата на лунную поверхность / А. В. Ефремов, М. С. Тяглик, А. В. Кошеленко [и др.] // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2015. – № 6(132). – С. 18-25. – DOI 10.14489/vkit.2015.06.pp.018-025. – EDN UHHCHB

7. Системы виртуального окружения для прототипирования на моделирующих стендах использования космических роботов в пилотируемых полетах / М. В. Михайлюк, А. В. Мальцев, П. Ю. Тимохин [и др.] // Пилотируемые полеты в космос. – 2020. – № 2(35). – С. 61-75. – DOI 10.34131/MSF.20.2.61-75. – EDN AMEGIE
8. Виртуальное прототипирование "слепой посадки" аппаратов вертолетного типа для изучения принятия космонавтами решения о посадке лунного модуля в ручном режиме / Ю. А. Бубеев, В. М. Усов, Б. И. Крючков [и др.] // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2022. – Т. 56, № 1. – С. 32-46. – DOI 10.21687/0233-528X-2022-56-1-32-46. – EDN VBQQIB
9. *Кузнецова, С. В.* Цифровые двойники в аэрокосмической промышленности: объектно-ориентированный подход / С. В. Кузнецова, А. С. Семенов // Труды МАИ. – 2023. – № 131. – DOI 10.34759/trd-2023-131-24. – EDN TLKCGF
10. *Stone, R. (2022).* "Human Factors in VR Simulations for Space Exploration". Annual Reviews in Control, Vol. 53, стр. 112-125
11. *Осокин, А. В.* Обучение по проектной деятельности в вузах на основе Форума «Сильные идеи для нового времени» / А. В. Осокин // Перспективы цифровой трансформации образования : Материалы III Национальной научно-практической конференции, Рязань, 20–21 июня 2024 года. – Рязань: Рязанский государственный университет им. С.А. Есенина, 2024. – С. 184-186

PLANNING AND DEVELOPMENT OF ADVANCED SYSTEMS THROUGH SIMULATION VR SIMULATORS

A.V. Osokin [1], D.A. Nazarov [2] I.S. Filippin [3]
[1–2] Ryazan Institute (branch) Moscow Polytechnic University (Ryazan, Russia)
[3] Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin (Ryazan, Russia)
[1] torn_78@mail.ru, [2] dmitriynazarov90@gmail.ru, [3] coppeliusanx@gmail.ru

Abstract

The research is devoted to the application of VR technologies in the development of space systems. Examples of using NASA and Roscosmos VR simulators for spacecraft design and crew training are considered. It shows how VR reduces costs and increases test safety. The prospects of integrating VR with artificial intelligence and cloud computing were discussed. An important point for the practical application of virtual reality in various simulations is also the amount of initial data, which is adjusted in a timely manner as it is used. This feature is also reflected in this publication, while one of the ways to fill the environment is the possibility of using crowdsourcing mechanisms. From a practical point of view, it is the combination of concepts mentioned in this material that will lead to the rapid development of VR in space system planning.

Keywords

VR, space, astronaut training, spacecraft design, simulators, crowdsourcing, cloud service

УДК 621.314.5

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЦИКЛ УПРАВЛЕНИЯ СТЕРЕОПАРОЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО НАБЛЮДЕНИЯ

А.Ю, Потюпкин[1], **Г.В. Светлов**[2]
[1–2] АО «РПТП «Гранит» (г.Рязань, Россия)
[1] fotin853@mail.ru, [2] office@rptp.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Перспективная реализация проектов создания многоспутниковых группировок КА предполагает реализацию новых возможностей, связанных с групповым применением КА видового наблюдения. Управление КА как по отдельности, так и в группе, предполагает реализацию определённого технологического цикла управления, который для нового группового космического объекта должен получить новое содержание, определяемое заданным целевым эффектом группового взаимодействия, среди которых наибольший интерес представляет эффект стереосъёмки.

Цель. Разработка предложений по структуре технологического цикла группового управления парой КА оптико-электронного наблюдения, реализующих эффект стереосъёмки в режиме реального времени..

Результаты. Предложена структура технологического цикла управления стереопарой КА, содержащая новые задачи управления, определяемые групповым взаимодействием КА. Определены цели лётного эксперимента на основе исследовательского лётного кластера КА типа CubeSat.

Практическая значимость. Полученные результаты позволяют приступить к разработке практически реализуемых алгоритмов управления новым космическим объектом – стереопарой КА.

Ключевые слова

Многоспутниковые группировки, космический аппарат, стереосъёмка, технологический цикл управления, исследовательский кластер.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Проекты создания многоспутниковых группировок на основе конвейерного производства космических аппаратов (КА), требуют решения целого комплекса частных научно-технических проблем, к числу которых относятся реализация новых групповых сервисов и разработка технологий управления совместно действующими группами КА. В работах [1- 4] выдвинута концепция управления многоспутниковыми группировками КА как управления системным выходным эффектом на основе реализации ряда целевых эффектов непрерывности, многопозиционности (стереосъемки), комплексности наблюдения. При этом под многоспутниковой орбитальной группировкой КА понимается динамическая многоагентная система КА, обеспечивающая потребителя сервисами высокого уровня, основанными на групповом применении и взаимодействии КА.

В связи с этим в ряде исследований рассматриваются вопросы группового применения КА, разрабатываются способы планирования функционирования бортовой аппаратуры КА, управления группой КА, создания кластерных структур [5, 6]. Однако уровень практической реализации высказанных выше предложений оставляет желать лучшего. Ключевым вопросом остаётся групповое управление КА не как совместное управление множеством отдельных КА, а как управление группой КА, воспринимаемой как единый космический объект.

В связи с этим изменяются требования к содержанию технологического цикла управления (ТЦУ) КА как типовой суточной последовательности операций управления КА по всем составляющим информационного обеспечения управления – командно-программного, навигационно - баллистического, информационно – телеметрического и частотно-временного обеспечения (КПО, НБО, ИТО и ЧВО) [7, 8]. В их составе появляются новые задачи, связанные с групповым взаимодействием КА (Рис..1).

Новые задачи по видам информационного обеспечения управления орбитальной группировкой			
Командно-программное обеспечение	**Навигационно-баллистическое обеспечение**	**Информационно-телеметрическое обеспечение**	**Частотно-временное обеспечение**
Расчет и выдача исходных данных для режимов функционирования. **Управление конфигурацией системы.** **Решение задач маршрутизации передачи служебной и специальной информации.** **Формирование и поддержание альманаха системы.**	**Расчет и прогнозирование движения центра масс каждого КА.** **Расчет и поддержание параметров орбитальных структур КА в установленных пределах.** **Прогнозирование баллистического существования орбитальных структур и системы в целом.**	**Контроль состояния и функционирования каждого КА.** **Контроль состояния системы информационного обмена.** **Оценка состояния орбитальных структур и системы в целом.** **Оценка качества выполнения режимов функционирования.**	**Синхронизация и поддержание групповой шкалы времени системы.** **Синхронизация бортовой шкалы времени на всех элементах системы.**

Рис. 1. Новые задачи ТЦУ, связанные с групповым взаимодействием КА
Fig. 1. New tasks of the TCC related to group interaction

Цель работы – разработать предложения по структуре ТЦУ группового управления парой КА оптико-электронного наблюдения (ОЭН), реализующих эффект стереосъёмки в режиме реального времени.

Структура перспективного ТЦУ

Существующие технологии получения стереоизображения с КА ОЭН основаны на постобработке изображений, получаемых либо с соседних витков для одного и того же КА или разных КА, либо получаемых с одного КА в результате программного разворота по углу тангажа в процессе полёта над объектом наблюдения. Однако, перспективное наращивание орбитальной группировки КА ОЭН позволит решать эту задачу в режиме on-line, за счёт одновременной съёмки объекта с соседних витков разными КА путём образования временной стереопары. Подробно вопросы выбора КА для реализации эффекта стереосъёмки рассмотрены в работе [9].

Исходя из особенностей динамики движения в процессе полёта КА изменяют своё местоположение в пространстве (рис. 2), однако требования по образованию стереопары остаются неизменными: если B – стереобаза между КА, H – высота полёта, то заданный показатель стереосъёмки B/H = 1/50, обеспечивающий взаимное угловое положение Ψ. Для того чтобы выдерживать указанные требования КА стереопары должны обеспечить устойчивое поддержание стереобазы B с заданной точностью, а также согласованно выполнить программные развороты в соответствии с динамикой движения КА.

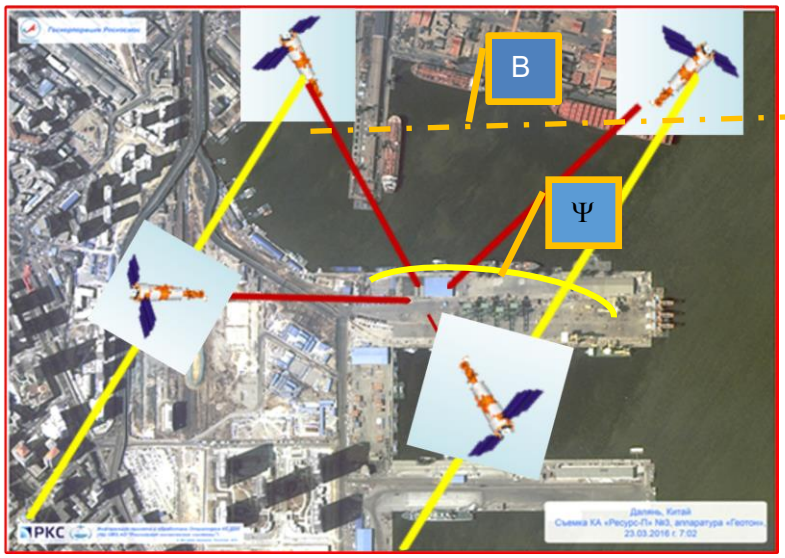


Рис. 2. Пример реализации эффекта стереосъёмки
Fig. 2. An example of the implementation of a stereo shooting effect

Вектор состояния каждого КА можно описать следующей совокупностью параметров {X, Y, Z, V_x, V_y, V_z, $\varphi_т$, $\varphi_к$, $\varphi_р$, $\omega_т$, $\omega_к$, $\omega_р$; t}. Здесь {X, Y, Z, V_x, V_y, V_z} – координаты КА и скорости их изменения в геоцентрической системе координат, {$\varphi_т$, $\varphi_к$, $\varphi_р$, $\omega_т$, $\omega_к$, $\omega_р$} – углы крена, тангажа и рыскания и угловые скорости их изменения. Значение стереобазы B(t) в первом приближении можно описать как

$$B(t) = \sqrt{[X_{ка1}(t) - X_{ка2}(t)]^2 + [Y_{ка1}(t) - Y_{ка2}(t)]^2 + [Z_{ка1}(t) - Z_{ка2}(t)]^2} \quad (1)$$

Точность поддержания стереобазы, а также взаимного углового положения должна обеспечивать требуемое качество изображения, в первую очередь отсутствие смаза.

В качестве аналога приведём требования по среднеквадратичным отклонениям основных параметров существующих систем ОЭН, предъявляемым для обеспечения точности геодезической привязки изображений - среднеквадратического отклонения (СКО) 2 метра (в плане) [10] (таблица1).

Как видно из таблицы 1 наиболее существенными погрешностями являются СКО определения положения центра масс X, Y, Z и СКО угловых скоростей $\omega_т$, $\omega_к$, $\omega_р$, причем следует учитывать, что для режима стереосъёмки, предполагающего совмещение двух изображений оптического диапазона требуются в конечном итоге точности, соизмеримые с длиной волны видимого света – (0.4 - 0.64) $\cdot 10^{-6}$ м. Для режима стереосъёмки появляются дополнительные контролируемые параметры в виде стереобазы B и взаимного углового расположения - стереоугла Ψ, а также расхождения шкал времени бортовых синхронизаторов КА - Δt.

Таблица 1. Требования по погрешностям параметров систем ОЭН

СКО исходных данных	**Значение СКО**	**Вклад в итоговую СКО**
СКО определения положения центра масс X, Y, Z	0,5 м	0,4 м
СКО определения скорости изменения положения центра масс V_x, V_y, V_z	0, 005 м/с	0,04 м
СКО угловой ориентации $\varphi_т$, $\varphi_к$, $\varphi_р$	0,15”	0,20 м
СКО угловых скоростей $\omega_т$, $\omega_к$, $\omega_р$	0,20 ”/с	0,70 м
СКО измерения углов $\varphi_т$, $\varphi_к$, $\varphi_р$	0,20 ”	0,20 м
СКО времени синхронизации	$1{,}00 \cdot 10^{-6}$ с	0,01 м

В связи с этим резко возрастают требования к качеству выполнения ТЦУ по всем составляющим – КПО, НБО, ИТО и ЧВО. В их составе, как было показано выше, появляются новые задачи, связанные с групповым взаимодействием КА, содержание которых на сегодняшний день в полной мере не определено.

Следует также учитывать, что помимо задач группового взаимодействия КА требование реального масштаба времени предполагает решение задач оперативного информационного обмена как между КА, так и между КА и наземными службами, обеспечивающими управление КА и приём специальной информации.

Проведённый анализ решаемых задач управления позволил предложить следующую структуру ТЦУ парой КА ОЭН для успешной реализации целевого стереоэффекта (СЭ) стереосъёмки заданного района (Таблица 2). В таблице показаны и решаемые задачи управления, и вид информационного обеспечения, к которому они относятся.

Как видно, структура ТЦУ значительно усложняется, причём в таблице приведены только задачи группового уровня. Конкретизация отдельных параметров и управляющих воздействий может быть осуществлена с привязкой к конкретным типам КА, реализующим заданный целевой эффект.

Первым шагом на пути к практической реализации предложенного ТЦУ может стать отработка технологий группового управления на основе исследовательского лётного кластера КА типа CubeSat [11, 12] (минимальное число - 3 КА), с последующим испытанием двухуровневой системы управления «Земля ↔ КА-лидер ↔ КА-ведомые» (рис.3).

Целями предлагаемого лётного эксперимента являются следующие:

- отработка технологий группового управления КА;
- отработка структуры ТЦУ и режимов функционирования;
- демонстрации целевых эффектов, в частности эффекта стереосъёмки.

Следует отметить, что изготовление КА формфактора CubeSat на сегодняшний день является практически рутинной операцией, доступной даже непрофессиональным конструкторам, например студентам высших учебных заведений.

Таблица 2. Решаемые задачи управления и вид информационного обеспечения

Решаемые задачи	**Вид обеспечения**
Выбор СЭ на основе заявки потребителя	КПО
Определение пространственно-временных требований к рабочей структуре для реализации КА, локализация требуемой области космического пространства	НБО
Прогноз параметров движения КА группировки	НБО
Расчет требуемых значений стереобазы, возможностей её поддержания на заданном интервале времени	НБО
Выбор КА, потенциально способных реализовать заданный СЭ в выбранной области пространства в требуемое время	КПО
Оценка технического состояния выбранных КА, запаса ресурсов электроэнергии и рабочего тела, прогноз состояния на момент выполнения целевых задач	ИТО
Оценка состояния системы информационного обмена, прогноз состояния на момент выполнения целевых задач, возможностей регистрации КА в системе информационного обмена	ИТО
Решение задачи маршрутизации на момент выполнения целевых задач	КПО
Контроль и синхронизация бортовой и групповой шкал времени, расчет поправок выполнения целевых задач	ЧВО
Уточнение альманаха системы	КПО
Оценка уровня конфликтности предварительно выбранных КА, заявок на их включение в другие орбитальные структуры	КПО
Выбор КА для реализации СЭ согласно алгоритма выбора, формирование целевого кластера	КПО
Расчет алгоритмов программного разворота КА, стабилизации, требований по точности стабилизации, расхода электроэнергии и рабочего тела на выполнение операций	КПО

Формирование набора управляющих воздействий - командно-программной информации для бортовой аппаратуры КА, исходных данных для аппаратуры ОЭН	КПО
Формирование исходных данных для режима построения рабочей структуры, расчёт рабочих программ для закладки на КА	КПО
Проведение сеансов связи с КА, закладка рабочей программы, разовых команд и уставок, контроль прохождения	КПО
Реализация СЭ, получение информации, обработка на БЦВК, передача информации по каналам связи КА –ретранслятору в соответствии с ранее решённой задачей маршрутизации	КПО ИТО НБО ЧВО
Контроль выполнения запланированного режима	ИТО
Оценка качества полученного результата, контроль выполнения запланированных алгоритмов функционирования отдельных КА и стереопары КА в целом.	ИТО

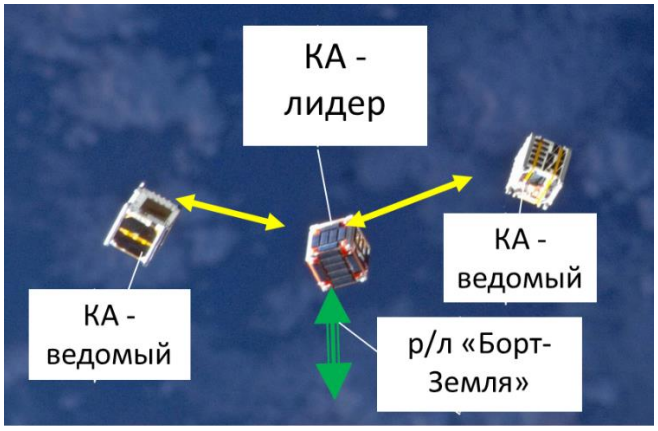


Рис. 3. Структура исследовательского кластера КА типа CubeSat.
Fig. 3. The structure of a CubeSat-type spacecraft research cluster.

Заключение

В настоящей работе предлагается структура ТЦУ группового управления парой КА оптико-электронного наблюдения (ОЭН), реализующих эффект стереосъёмки в режиме реального времени. Основной упор сделан на новые задачи управления, связанные с групповым взаимодействием КА, содержание которых на сегодняшний день в полной мере не определено. Для практической отработки нового ТЦУ предложено проведение лётного эксперимента на основе исследовательского лётного кластера КА типа CubeSat.

Список источников

1. Проблемные вопросы создания многоспутниковых орбитальных группировок на базе малоразмерных космических аппаратов */ В.В. Бетанов, С.А. Волков, Н.С. Данилин и др. //* Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, 2019, Т. 6, вып. 3. С. 57–65.
2. *Потюпкин А.Ю. Волков С.А., Пантелеймонов И.Н., Тимофеев Ю.А.* Управление многоспутниковыми орбитальными группировками// Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы,2020, том 7, выпуск 3, с. 61–70
3. *Потюпкин А.Ю., Волков С.А., Тимофеев Ю.А.* Перспективные сервисы многоспутниковых космических систем// Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы,2021, том 8, выпуск 1, с. 59–68.
4. *Потюпкин А.Ю. Волков С.А., Тимофеев Ю.А.* Групповое управление многоспутниковой орбитальной группировкой на основе концепции режимов совместного функционирования // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, 2021, т. 8, вып. 3, С. 11–19.
5. *Клюшников В.Ю.* Построение кластеров малых космических аппаратов //Изв. Вузов. Приборостроение. 2016. Т. 59, № 6, с.423-428.
6. *Потюпкин А. Ю., Данилин Н. С., Селиванов А. С.* Кластеры малоразмерных космических аппаратов как новый тип космических объектов // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, 2017, т. 4, вып. 4. С. 45–56.

7. Разработка систем космических аппаратов/ *Пер. с англ.; Под ред П. Фортескью, Дж.Старка, Г. Суинерда* - М.: Альпина Паблишер,2015 г. -762 с.
8. *Тюлин А.Е., Бетанов В.В., Ларин В.К.* Информационное обеспечение управления космическими аппаратами. –М.: Радиотехника, 2019.- 270 с.
9. *Потюпкин А.Ю. Волков С.А., Тимофеев Ю.А.* Алгоритм формирования рабочих структур при управлении многоспутниковой орбитальной группировкой // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, 2022, т. 9, вып. 3, С. 3–12.
10. *Тюлин А.Е., Бетанов В.В., Яшин В.Г.* Орбитальные сегменты космических систем пространственно-временного обеспечения. Часть 2 –М.: Инновационное машиностроение, 2020.- 298 с.
11. Малые космические аппараты информационного обеспечения *// Под ред. В. Ф . Фатеева.* М.: Радиотехника, 2010. 320 с.
12. *Данилин Н. С.* Системная микроминиатюризация и малые спутники. М.: ИД «Спектр», 2013. 55 с.

TECHNOLOGICAL CONTROL CYCLE OF A STEREO PAIR OF OPTICAL-ELECTRONIC SURVEILLANCE SPACECRAFT

A.Yu, Potyupkin[1], **G.V. Svetlov**[2]
[1–2] JSC RPTP Granit – (Ryazan, Russia)
[1] fotin853@mail.ru, [2] office@rptp.ru

Abstract

The prospective implementation of projects for the creation of multi-satellite spacecraft groupings involves the implementation of new opportunities related to the group application of satellite species observation. Spacecraft control, both individually and in a group, involves the implementation of a certain technological control cycle, which for a new group space object should receive a new content determined by a given target effect of group interaction, among which the effect of stereo photography is of the greatest interest. The aim is to develop proposals on the structure of the technological cycle of group control of a pair of optical-electronic surveillance spacecraft that implement the effect of stereo photography in real time.. Results. The structure of the technological control cycle of a stereo pair of spacecraft is proposed, containing new control tasks determined by the group interaction of spacecraft. The objectives of the flight experiment have been determined based on a CubeSat-type spacecraft research flight cluster. Practical significance. The results obtained make it possible to start developing practically realizable control algorithms for a new space object – a stereo pair of spacecraft.

Keywords

Multi-satellite groupings, spacecraft, stereo photography, technological control cycle, research cluster.

УДК 629.78

КОНЦЕПЦИЯ СИСТЕМЫ НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ МОДУЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПЛАТФОРМ

Н.С. Жизняков[1], **Г.А. Щеглов**[2]
[1] АО «ИТМиВТ им. С.А. Лебедева РАН» (Москва, Россия)
[2] МГТУ им. Н.Э. Баумана - Национальный исследовательский университет (Москва, Россия)
[1] post@msp.ru, [2] shcheglov_ga@bmstu.ru

Аннотация

Постановка проблемы. В настоящее время становится актуальной проблема дефицита ресурса низких околоземных орбит где фиксируется резкий рост числа автономно летающих спутников, накапливается космический мусор и создаются риски столкновений, что усложняет алгоритмы и средства контроля космического пространства. Для решения указанной проблемы в мировой космонавтике планируется переход от многоспутниковых группировок к автоматизированным модульным обслуживаемым космическим платформам. Параллельно проявляется интерес к автоматизированным объектам и мультисервисным платформам на Земле и в космосе, последовательно объединяемым в киберфизические экосистемы, что особенно актуально в части освоения районов Арктической зоны, Северного морского пути и Дальнего Востока России.

Цель. Обосновать концепцию отечественной системы низкоорбитальных автоматизированных обслуживаемых и многоцелевых космических платформ на основе принципов открытой модульной архитектуры с участием интересов государственных, специализированных и коммерческих структур, в части подготовки к тотальной роботизированной автоматизации территорий России, освоения автоматизированными устройствами сухопутных районов, морских акваторий Арктической зоны и Дальнего Востока

Результаты. Показано, что создание структурированных мультисервисных платформ, на которых в процессе непрерывного обслуживания будут в форме сменяемых модулей размещаться полезные нагрузки, замещающие множество внесистемных группировок из малых автономных спутников, позволит существенно снизить риски столкновения космических объектов и отказаться от сложных систем регулирования космического трафика. Обслуживаемые и модульные платформы позволят повысить надежность техники благодаря возможности своевременно проводить техническое обслуживание, ремонт и модернизацию, а также сформировать экосистему ввода полезных нагрузок на орбиты и их последующего вывода с орбит без воспроизводства космического мусора,

Практическая значимость. Полученные результаты планируется использовать в целях построения государственной околоземной инфраструктуры в форме мультисервисных низкоорбитальных экосистем с активным участием государственно-частного партнерства в соответствии с новой редакцией закона о космической деятельности.

Ключевые слова

Низкая околоземная орбита, космические аппараты, спутниковые системы, открытая модульная архитектура, орбитальное обслуживание, орбитальная инфраструктура, государственно-частное партнерство, Арктическая зона РФ

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Развитие мировой космонавтики сегодня в целом соответствует плану [1], предложенному К.Э. Циолковским в 1929 г. – всего через 100 лет после его публикации на низкой околоземной орбите (НОО) может находится более 50 тысяч спутников. Экстенсивное освоение космоса, проводимое путем формирования на НОО многоспутниковых группировок, порождает проблему дефицита орбитального ресурса: место на орбите скоро станет дороже спутника, который там находится. Проблема дефицита орбитального ресурса делает актуальными две взаимосвязанных задачи освоения ближнего околоземного пространства:

- Задача контроля космического трафика. Рост числа автономно летающих космических аппаратов (КА), в области НОО создает риски столкновений, что требует усложнения мер контроля космического пространства и введения правил «управления космическим движением».

- Задача предотвращения техногенного засорения НОО. Увеличение числа КА увеличивает скорость образования объектов космического мусора, поскольку современные спутники – это неремонтопригодные изделия, срок службы которых ограничен. Заполнение

НОО увеличивает риск фрагментации объектов и развития сценария Кесслера. Для его предотвращения потребуются дорогостоящие операции по активному удалению мусора.

По результатам анализа публикаций можно сделать вывод о том, что в настоящее время в мировой (прежде всего западной и китайской) космонавтике планируется новый технологический подход: переход от многоспутниковых группировок к автоматизированным модульным обслуживаемым космическим платформам [2]. Суть подхода состоит в переносе накопленного опыта по эксплуатации модульных пилотируемых орбитальных станций на полностью автоматизированные беспилотные обслуживаемые космические платформы [3-6].

Ц е л ь р а б о т ы – Обосновать концепцию отечественной системы низкоорбитальных автоматизированных обслуживаемых и многоцелевых космических платформ на основе принципов открытой модульной архитектуры с участием интересов государственных, специализированных и коммерческих структур, в части подготовки к тотальной роботизированной автоматизации территорий России, освоения автоматизированными устройствами сухопутных районов, морских акваторий Арктической зоны и Дальнего Востока.

Концепция модульных космических платформ

В настоящее время космические аппараты строятся на базе универсальных космических платформ. Такую модульную архитектуру можно назвать закрытой, поскольку разработка платформы и адаптация к ней полезной нагрузки производится одной фирмой-изготовителем со своей кооперацией смежников. Закрытость архитектуры не позволяет в достаточной мере оперативно наращивать серийность производства и снижать стоимость спутников.

Построение КА на основе открытой модульной архитектуры подразумевает разделение его аппаратуры и элементов конструкции на эффективные с коммерческой точки зрения модули, которые могут изготавливаться серийно несколькими производителями в условиях конкуренции. Степень открытости модульной архитектуры определяется [7]:

– открытостью обеспечения системы в результате использования открытых стандартов на конструктив, интерфейсы, а также программное обеспечение, за счёт чего достигается унификация, сочетаемость и взаимозаменяемость модулей, изготовленных различными производителями;

– открытостью состава модулей, за счёт чего создаётся поддержка архитектуры большим сообществом производителей, обеспечивается большая промышленная база для производства модулей, что делает их доступными, а цены на них – конкурентоспособными;

– открытостью топологии связей между модулями, что даёт возможность построения децентрализованной эффективно масштабируемой и реконфигурируемой системы;

– открытостью функциональных возможностей системы, что позволяет существенно увеличить срок службы изделий и объём выполненных ими работ за счёт изменения специализации системы по мере возникновения новых целевых задач.

Пример компоновки модульной космической платформы показан на рисунке 1. Возможность замены отдельных компонентов делают ее практически вечной базой для космических исследований. Предлагаемый подход позволит повысить надежность КА путем многократного резервирования модулей и организации их технического обслуживания и ремонта (замены), а также локализовать неисправные модули на космических платформах откуда они могут быть удалены в процессе обслуживания. Такой подход исключает ситуацию, когда выход из строя одного элемента ведет к неработоспособности всей платформы, а также позволяет эффективно решить задачу предотвращения техногенного засорения НОО.

Недостатком рассматриваемой архитектуры представляется необходимость построения и эксплуатации дорогостоящей транспортной инфраструктуры. Здесь следует отметить, с одной стороны, имеющиеся развитые средства обслуживания пилотируемых станций (работающие в том же диапазоне высот), и, с другой стороны, перспективы развития многоразовых средств выведения требующих потока полезных нагрузок. Развитая транспортная система имеет важное преимущество – она позволяет оптимизировать массу доставляемого на платформу груза. Вместо выведения спутника, до 75% от массы которого составляет масса вспомогательных систем, в данном случае осуществляется доставка на платформу только модуля с целевой аппаратурой, который использует ресурсы платформы.

Предварительные расчеты показали, что использование платформ начинает быть рентабельным начиная с систем, содержащих более 600 модулей [5]. При этом транспортная инфраструктура обслуживания платформ заменит транспортную инфраструктуру очистки НОО от космического мусора. Переход к модульной архитектуре создаст более эффективный тип производства ремонтопригодных модульных КА. Производство взаимозаменяемых модулей с единым интерфейсом, которые единообразно собираются в спутники как на Земле, так и на орбите, может быть налажено широкой кооперацией государственных и частных фирм, что создаст новый рынок производства космической техники.

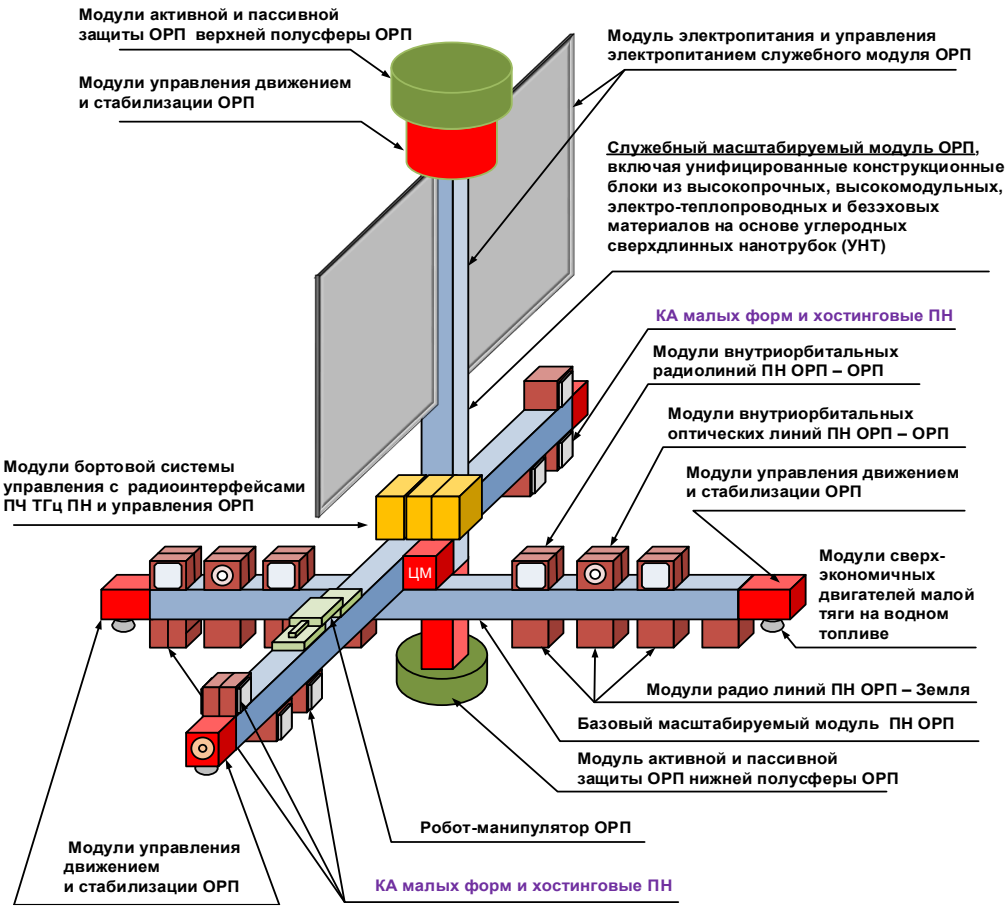


Рис. 1. Эталонная модель перспективной обслуживаемой орбитальной платформы с размещением ПН для множества операторов и потребителей, как основы глобальных киберфизических и беспилотных экосистем
Fig. 1. A reference model of a promising serviced orbital platform with the placement of modules for a variety of operators and consumers, as the basis of global cyber-physical unmanned ecosystems

Система модульных космических платформ

Космическая информатика, которая предлагает пользователям услуги связи, данные дистанционного зондирования Земли, а с недавних пор и информационные продукты, полученные в т.н. «неназемных компьютерных сетях» (Non-Terrestrial Networks) оказывается наиболее рентабельным видом промышленного производства в космосе. Для повышения конкурентоспособности подобных сервисов логично воспользоваться идеями Н.Н. Колосовского о создании территориально-производственных комплексов (ТПК) [8]. Инфокоммуникационные ТПК, в которых осуществляется так называемый «Цифровой передел» (Digital transformation), где полуфабрикатами являются виртуальные информационные продукты, легко вывести в космос, поскольку все потоки полуфабрикатов нематериальны и могут быть переданы по каналам связи. Предлагается на основе киберфизических принципов построить на околоземной орбите информационные ТПК как сеть автоматизированных спутниковых платформ на базе открытой модульной архитектуры, в которых объединены космическая солнечная электростанция, система сброса тепла, дата-центр (суперкомпьютер) и системы связи [9]. Пример подобной системы показан на рисунке 2.

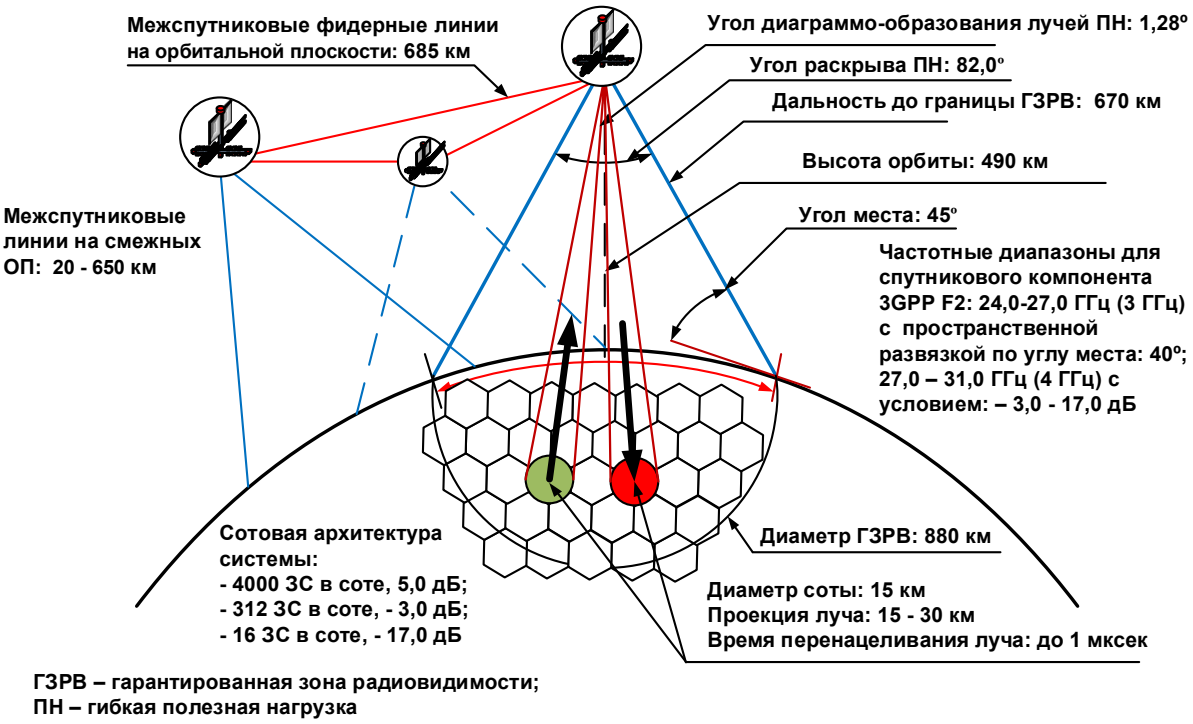


Рис. 2. Эталонная модель и тактико-технические характеристики сотовой архитектуры абонентского доступа для глобальных киберфизических и беспилотных экосистем

Fig. 2. Reference model and characteristics of cellular subscriber access architecture for global cyber-physical unmanned ecosystems

Создание вместо группировок из множества малых автономных спутников конечного числа крупных платформ, на которых в процессе обслуживания будут в виде модулей размещаться малые полезные нагрузки, позволит снизить риски столкновения космических объектов и позволит эффективно решить задачу контроля трафика. Развертывание платформ стимулирует развитие рынка коммерческих услуг, аналогичных пусковым услугам Rideshare по кластерному запуску малых спутников на носителях среднего класса. Совместное владение модульной орбитальной платформой может принести выгоду как крупным и государственным игрокам, поставляющим центральные (ядерные) услуги (энергетику, логистику, обслуживание), так и мелким частным фирмам – разработчикам и владельцам отдельных модулей, с помощью которых оказываются периферийные услуги: информационные сервисы.

В настоящее время Россия не имеет системно-ориентированного владения наиболее выгодными орбитальными ресурсами НОО, отдав в период с 2016 по 2021 гг. правовой паритет другим странам, в том числе США, Великобритании и Китаю. Из высокой ценности околоземного пространства следуют в стратегическом аспекте перспективы и преимущества платформ:

– *Более эффективное использование космических и информационных активов.* Вынужденный и эволюционно оправданный переход к наиболее высокому уровню концентрации активов в пределах орбитальных ресурсов, доступных для России;

– *Структуризация и управляемость активов в околоземном пространстве.* Концентрация активов в околоземном пространстве путем создания носителей локального множества разнородных полезных нагрузок, ориентированных на различные сервисы;

– *Неограниченный срок активного существования космических активов.* Длительный и возможно неограниченный жизненный цикл или срок активного существования обслуживаемых модульных платформ.

– *Научный и технологический паритет между космическими и наземными сегментами.* Орбитальное обслуживание и модернизация как полезных, так и служебных модулей в составе платформ, способно планово формировать наиболее эффективное и стратегически важное сочетание околоземных и наземных информационных полей для гражданских и оборонных целей.

– *Международная кооперация космических активов* В состав платформы можно включить элементы международной кооперации (аналогично МКС) на коммерческой или иной основе

Перспективы и преимущества обслуживаемых орбитальных модульных платформ в аспекте доступных приложений и сервисов:

– *Беспилотный транспорт.* Реализация проектов по обслуживанию и масштабированию всех видов беспилотного транспорта, включая проект НТИ «Цифровое небо» и др.;

– *Ситуативная осведомленность о земных и космических активах в реальном времени.* Построение систем дистанционного зондирования Земли и космического пространства в реальном времени;

– *Гибкость ввода-вывода и снижение стоимости космических активов.* Оптимизация трафика полезных нагрузок на орбиты обслуживаемых платформ.

– *Переход на новые стратегии космической деятельности России* Реализация перспективных и производных направлений за контуром 2030 года.

Заключение

Важность развития системы отечественных модульных платформ определяется не только тем, что будет обеспечен технологический паритет, но и в том, что данный проект является инфраструктурным. Он поддерживает развитие государственно-частного партнерства, обозначенного в соответствии с поправками №196-ФЗ в пункте 5 статьи 12 «закона о космической деятельности» от 20 августа 1993 года N 5663-I. При этом конструкция и основные системы, а также транспортная инфраструктура может быть создана по госконтракту предприятиями ГК Роскосмос, а модули целевой аппаратуры – коммерческими фирмами. При этом за счет разработки единых стандартов можно достичь расширения производства качественной полезной нагрузки, предоставляющей ценные продукты и услуги. Таким образом может быть сформирована экосистема бизнеса космических сервисов. Проект автоматизированных модульных платформ может успешно дополнить уникальную концепцию модульной Российской орбитальной станции.

Список источников

1. *Циолковский К.Э.* Цели звездоплавания. Калуга: Гостип. ОСНХ, 1929. – 40 с.
2. *Zhang Z., Li X., Li Y., Hu G., Wang X., Zhang G., Tao H.* Modularity, reconfigurability, and autonomy for the future in spacecraft: A review. Chinese Journal of Aeronautics – 2023. – Vol.36, Iss.7. – 282-315
3. *Сапрыкин О.А.* Открытые системы на орбите. Пилотируемые полёты в космос. – 2013. – № 1(6). – 15 – 28
4. *Ковтун В.С., Королёв Б.В., Синявский В.В. и др.* Космические системы связи разработки ракетно-космической корпорации «Энергия» имени С.П. Королёва. Космическая техника и технологии. – 2015. – № 2 (9). – 3 – 24
5. *Салиев Е.Р., Тютюнник Н.Н., Щеглов Г.А.* Концепция построения обслуживаемой группировки малых космических аппаратов на основе открытой модульной архитектуры. Космонавтика и ракетостроение. – 2020. – №3(114). – С.105-115
6. Проект STARFAB. Электронный ресурс. URL: https://www.spaceapplications.com/news/introducing-starfab-a-novel-concept-of-orbital-automated-hub (Дата обращения 15.05.2025)
7. *Салиев Е.Р., Тютюнник Н.Н., Щеглов Г.А.* О проектировании малого космического аппарата на основе открытой модульной архитектуры. Космонавтика и ракетостроение. – 2019. – №1(106). – 131-142
8. *Колосовский Н.Н.* Избранные труды. Смоленск: Ойкумена, 2006. – 336 с.
9. *Щеглов Г.А.* Экологические аспекты использования космических солнечных электростанций для производства информации на орбите. Экология и промышленность России. – 2020. – № 24(10). – С.50-56

THE CONCEPT OF A LOW-ORBIT SYSTEM OF MODULAR SPACE PLATFORMS

N.S. Zhiznyakov [1], **G.A. Shcheglov** [2]
[1] IPMCE - Lebedev Institute of Precision Mechanics and Computer Engineering (Moscow, Russia)
[2] BMSTU – Bauman Moscow State Technical University (Moscow, Russia)
[1] post@msp.ru, [2] shcheglov_ga@bmstu.ru

Abstract

The article deals with the actual problem of orbital space resource scarcity in low-Earth orbits. This problem is a sharp increase in the number of autonomously flying satellites, space debris accumulates and collision risks are created, which complicates algorithms and means of space traffic control. To solve this problem, a transition from multi-satellite constellations to automated modular serviced free-flying space platforms is planned in the global space industry. At the same time, there is an interest in automated facilities and multiservice platforms on Earth and in space, which are consistently integrated into cyberphysical ecosystems, which is especially important in terms of the development of the Arctic zone, the Northern Sea Route and the Russian Far East. The aim of the study is to substantiate the concept of a domestic system of low-orbit automated serviced and multi-purpose space platforms based on the principles of an open modular architecture involving the interests of government, specialized and commercial structures, in terms of preparing for total robotic automation of Russian territories, the development of automated devices in land areas, marine areas of the Arctic zone and the Far East. To increase the competitiveness of such orbital services, the ideas on the creation of territorial production complexes are used. A reference model and layout scheme of a promising serviced orbital platform with the placement of modules for a variety of operators and consumers, as the basis of global cyber-physical unmanned ecosystems are presented. t is shown that the creation of structured multiservice platforms, on which payloads will be placed in the form of replaceable modules in the process of continuous maintenance, replacing many non-system constellations of small autonomous satellites, will significantly reduce the risks of space object collisions and eliminate complex space traffic control systems. Serviced and modular platforms will improve the reliability of technology due to the ability to timely carry out maintenance, repair and modernization, as well as create an ecosystem for launching payloads into orbit and their subsequent removal from orbit without reproducing space debris. The results of the study are planned to be used in order to build a state LEO infrastructure in the form of multiservice low-orbit ecosystems with the active participation of public-private partnerships in accordance with the new version of the law on space activities.

Keywords

LEO, spacecraft, satellite constellation, open modular architecture, in-orbit servicing, orbital infrastructure, public-private partnership, AZRF.

УДК 378.147:004.9:62

ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ В ПОДГОТОВКЕ БУДУЩИХ ИНЖЕНЕРОВ И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ИХ РЕШЕНИЙ

С.А. Афанасьева[1], **А.В. Леснов**[2]
Научный руководитель – А. Н. Шовгенин[3]
МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] afanaseva.s.a1@edu.mirea.ru, [2] lesnov.a.v@edu.mirea.ru, [3] shovgenin@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Цифровизация инженерного образования в высших учебных заведениях на современном этапе является стратегически важным направлением модернизации профессиональной подготовки. В условиях формирования цифровой экономики и технологического суверенитета государства особенно остро встаёт задача подготовки высококвалифицированных инженерных кадров, способных эффективно функционировать в цифровой производственной среде. Однако реализация цифровой трансформации в вузах, осуществляющих инженерную подготовку, сопровождается рядом системных проблем, требующих внимательного анализа и комплексного подхода к их решению.

Цель. Выявить и систематизировать ключевые проблемы цифровизации инженерного образования в высших учебных заведениях, а также обосновать возможные направления и механизмы их преодоления в контексте формирования устойчивой цифровой образовательной среды.

Результаты. Проведён анализ, выявлены основные проблемы, препятствующие эффективной цифровизации инженерного образования в вузах. Для каждой из проблем предложены конкретные меры их преодоления, направленные на развитие цифровой образовательной среды инженерных направлений подготовки.

Практическая значимость. Полученные результаты исследования могут быть применены в практике управления образовательными организациями, при разработке программ повышения квалификации преподавателей, а также при проектировании и внедрении цифровых образовательных платформ и инфраструктурных решений.

Ключевые слова

Инженерное образование, цифровые технологии, система дистанционного обучения, цифровизация.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

В последние десятилетия наблюдается стремительный рост использования цифровых технологий во всех сферах общественной жизни, включая образование. Современные информационно-коммуникационные средства позволяют по-новому организовать образовательный процесс, обеспечивая доступ к разнообразным источникам знаний, возможность дистанционного обучения, а также более гибкую и индивидуализированную траекторию усвоения учебного материала. Особенно актуальным это становится в условиях цифровой трансформации экономики и развития новых технологических укладов.

Интеграция цифровых решений в образовательную среду открывает широкие перспективы для повышения качества и эффективности подготовки специалистов. Применение цифровых платформ, специализированных программ, средств удалённого доступа и иных инструментов обеспечивает расширенные формы интерактивного взаимодействия между преподавателями и обучающимися, создавая обратную связь и практико-ориентированный подход. Однако, несмотря на очевидные преимущества, цифровизация образования порождает комплекс новых вызовов, включая технические сбои, информационную перегрузку, снижение мотивации студентов, а также рост психологической и эмоциональной напряжённости участников образовательного процесса.

Целью данной работы является проведение комплексного анализа трудностей, возникающих при цифровизации инженерного образования в высших учебных заведениях, а также определение перспективных подходов к их разрешению, принимая во внимание особенности подготовки инженерных специалистов в эпоху цифровых технологий.

Проблемы цифровизации инженерного образования в вузах: причины и пути их преодоления

Одной из первоочередных проблем является неравенство в обеспеченности вузов современной цифровой инфраструктурой [1]. Несмотря на отдельные успешные примеры цифровизации, в реальности многие технические вузы, особенно региональные, сталкиваются с дефицитом оборудования, необходимого для реализации образовательных программ с использованием цифровых технологий. Это касается как слабой оснащённости компьютерных классов и лабораторий, так и недостаточной пропускной способности интернет-каналов. Причинами данной ситуации являются неравномерные затраты в распределении финансирования, различия в уровне региональной поддержки, а также устаревание технической базы. Преодоление этих ограничений возможно за счёт развития федеральных программ цифровой модернизации вузовской инфраструктуры, расширения сотрудничества с промышленными партнёрами, а также повышения уровня финансирования вузов, ведущих подготовку инженеров [2]. Кроме того, важно внедрение инструментов мониторинга цифровой оснащённости образовательных учреждений, что позволит более объективно определять потребности конкретных вузов и рационально распределять ресурсы на федеральном и региональном уровнях [3, 4].

Следующей важной проблемой является недостаточный уровень цифровой грамотности профессорско-преподавательского состава инженерных направлений [5]. Вопреки распространённому мнению, владение инженерными дисциплинами не всегда сопровождается умением использовать цифровые платформы и образовательные технологии. Многие преподаватели сталкиваются с трудностями при организации смешанного или полностью дистанционного форматов обучения. Так, например, нехватка технических навыков нередко приводит онлайн-обучение к традиционным методам преподавания: лекционный формат со слайдами и контроль знаний на основе зачётного теста [6]. Они не способны в полной мере использовать потенциал цифровых технологий. Причиной этого является слабая интеграция цифровой педагогики в систему повышения квалификации, а также дефицит методических разработок, адаптированных под инженерные дисциплины. Повышение цифровой компетентности преподавателей возможно через внедрение специализированных курсов, стажировок на цифровых производствах, а также создание внутриуниверситетских центров цифровой трансформации инженерного образования.

Особое значение приобретает проблема сопротивления изменениям со стороны части профессорско-преподавательского состава [5]. В вузовской среде, особенно среди преподавателей со значительным академическим стажем, наблюдается настороженное отношение к цифровым технологиям, которые воспринимаются как временное или поверхностное явление. Это проявляется в недоверии к электронным системам оценивания, дистанционным курсам и цифровым моделям взаимодействия с обучающимися. Причинами данного феномена являются как отсутствие уверенности в навыках работы с цифровыми технологиями [7], так и не проработанность организационных моделей цифрового обучения. Смягчение сопротивления возможно за счёт внедрения практики коллегиального наставничества, активного вовлечения преподавателей в разработку цифровых курсов и оценки их вклада в цифровизацию, в рамках стимулирующих систем.

Цифровизация инженерного образования также сталкивается с проблемой отсутствия единых стандартов и системного подхода при внедрении цифровых решений [1]. Часто внедрение цифровых образовательных платформ в вузах происходит несогласованно, без учёта межфакультетской и междисциплинарной интеграции, что снижает эффективность обучения. Отсутствие единой архитектуры цифровой образовательной среды препятствует формированию непрерывных цифровых траекторий, включающих лекционные, лабораторные и проектные разделы [8]. Причина – слабая методическая поддержка вузов, ограниченное взаимодействие с отраслевыми структурами [9]. Решением может стать разработка типовых моделей цифровой

образовательной среды, адаптированных под инженерные профили, с возможностью масштабирования и гибкой настройки [3].

Финансовые ограничения остаются значительным сдерживающим фактором цифровой трансформации вузов, готовящих инженеров. Затраты на цифровое переоснащение учебных аудиторий, приобретение лицензионного программного обеспечения, обновление вычислительных мощностей и содержание цифровых платформ требуют стабильного финансирования, которого зачастую не хватает [2]. Особенно остро данная проблема стоит для региональных вузов и инженерных факультетов с невысокой численностью обучающихся. Выходом из ситуации может быть реализация целевых программ софинансирования, участие вузов в проектах национальной технологической инициативы, а также поиск частных инвестиций и поддержки в развитии цифровой среды [3, 10].

Нельзя обойти стороной и проблему обеспечения информационной безопасности и защиты персональных данных студентов в условиях активного внедрения цифровых образовательных технологий. Работа с цифровыми платформами, электронными журналами, облачными хранилищами и средствами удалённого доступа порождает риски, связанные с утечкой данных, несанкционированным доступом, нарушениями конфиденциальности. Проблема усугубляется тем, что многие вузы не имеют специализированных ИТ-отделов, способных обеспечить надлежащую защиту. Дополнительным фактором является отсутствие у преподавателей и студентов необходимого уровня правовой и цифровой культуры [11]. В этой связи требуется формирование нормативно-методической базы, регламентирующей использование цифровых инструментов в инженерном образовании, обучение сотрудников и студентов основам кибербезопасности, а также использование защищённых отечественных платформ, соответствующих требованиям цифрового суверенитета [12].

Одной из ключевых проблем цифровизации образования является дегуманизация образовательного пространства, связанная с вытеснением живого общения между преподавателем и студентом и объективизацией педагогического процесса [13]. С одной стороны, цифровые технологии упрощают контроль знаний с помощью тестов, но с другой – снижают значимость очного взаимодействия, важного для учёта индивидуальных особенностей студентов. Особенно это ощутимо в вузах, где учебный процесс традиционно строится на живой коммуникации. Кроме того, всё чаще поднимаются и более глубокие риски цифровизации, такие как дегуманизация личности, формирование «информационного кокона», ограничение доступа к информации и отрыв пользователя от разработчиков научного ПО [14, 15]. В.Г. Буданов отмечает: «Риски расчеловечивания весьма велики уже сегодня, при неконтролируемом погружении человека в сетевые цифромиры» [16], а В.А. Кутырев подчёркивает: «Не все, что технически возможно, надо осуществлять…» [17]. Чрезмерное внедрение цифровой культуры может не только обеднить образовательное общение, но и привести к снижению интеллектуального уровня, поскольку передача развивающих функций машине тормозит развитие мышления [18, 7].

При всех вышеупомянутых минусах, нужно не забывать, что внедрение новшеств не может сразу проходить без проблем. Постепенная цифровизация с решением возникающих вопросов – это ключ к улучшению уровня знаний, поскольку, уже сейчас, можно увидеть благотворное влияние цифровых технологий в образовательном процессе. Так, например, они способствуют повышению мотивации и вовлечённости студентов, делая учебный процесс более интересным и доступным. Благодаря грамотному использованию цифровых инструментов учащиеся становятся более активными участниками обучения, что, в свою очередь, способствует лучшему усвоению материала. У студентов происходит развитие цифровых и самостоятельных навыков [19]. Это важно в современном мире, где умение работать с цифровыми технологиями становится необходимостью. Применение интерактивных платформ значительно повышает результативность обучения, увеличивая её на 35%, а использование мультимедийных ресурсов позволяет улучшить результат на 15–20%. Всё это в комплексе делает образование более эффективным и доступным для широкого круга студентов [4]. Так,

например, существуют прецеденты среди ведущих и даже региональных вузов, которые рассматривают онлайн-образование как источник преимуществ и укрепления межвузовского взаимодействия, в том числе с зарубежными университетами [20].

Стоит отметить, что использование технологий в образовании происходит не только в инженерных направлениях, но и гуманитарных, сохраняя возможность сделать учебный процесс более эффективным и гибким. Современные цифровые ресурсы и программы помогают развивать языковые и профессиональные навыки, повышают мотивацию студентов и обеспечивают доступ к актуальным материалам. Технологии упрощают самостоятельную работу, позволяют контролировать результаты, а преподавателю – выступать координатором процесса. Благодаря этому образование становится более адаптированным к требованиям времени и нуждам студентов [21].

Заключение

Процесс цифровизации инженерного образования в российских вузах представляет собой сложный и многогранный процесс, который сопряжён с рядом вызовов, требующих системного подхода и взаимодействия на всех уровнях – от вузов до профессиональных сообществ. Для эффективного решения этих проблем необходимо применение комплексного подхода, что позволит создать учебные заведения, соответствующие требованиям цифровой эпохи и технологического прогресса. Результаты исследований показывают, что, несмотря на первоначальные затраты, внедрение цифровых технологий способствует значительному повышению качества образования и эффективности учебного процесса, а также позволяет подготовить специалистов, соответствующих современным требованиям рынка труда.

Список источников

1. *Пашков М.В., Пашкова В.М.* Проблемы и риски цифровизации высшего образования // Высшее образование в России. 2022. Т. 31. № 3. С. 40–57. DOI: 10.31992/0869-3617-2022-31-22-3-40-57.
2. *Атаян А. М., Гурьева Т. Н., Шарабаева Л. Ю.* Цифровая трансформация высшего образования: проблемы, возможности, перспективы и риски // Отечественная и зарубежная педагогика. 2021. Т. 1, № 2 (75). С. 7–22.
3. *Алборова С.З., Зенкина С.В., Смыслова Г.А.* Проблемы реализации цифровизации образования // Современные образовательные технологии. – 2023. – № 4. – С. 14-16. – DOI: 10.12345/67890.
4. *Баширов Э.Э., Валиев И.Р., Завалихина А.С., Садыков М.А., Фень Е.С.* Data science в управлении образовательным пространством: исследование влияния цифровых технологий на современные методики обучения и их применение в образовательном процессе // Управление образованием: теория и практика / Education Management Review. – 2024. – Т. 14, № 2-1. – С. 62-71. – DOI: 10.25726/g8847-9248-3087-y. – EDN: TW/WAJ.
5. *Гаврилюк Е.С., Изотова А.Г.* Основные направления и факторы цифровой трансформации сектора науки и образования // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия "Экономика и экологический менеджмент". — 2021. — № 1. — С. 22-31. — DOI: 10.17586/2310-1172-2021-14-1-22-31. — УДК 330.341.
6. *Соловов А.В., Меньшикова А.А.* Коронавирусные зигзаги электронного дистанционного обучения // Высшее образование в России. 2021. Т. 30. № 6. С. 60-69. DOI: 10.31992/0869-3617-2021-30-6-60-69.
7. *Бурганова И.Н.* Многоуровневое высшее образование в РФ: состояние и проблемы / И.Н. Бурганова, О.А. Фарус// Проблемы современного педагогического образования. — 2021. — № 71-1. — С. 53-56.
8. *Найденко И.С., Величко О.А.* Проблемы и перспективы развития внедрения цифровых технологий в высшем образовании // Гуманитарный научный вестник. 2020. №5. С. 209-214. URL: http://naukavestnik.ru/doc/2020/05/Naydenko.pdf.
9. *Маливанов Н.Н.* Цифровизация инженерного образования. Часть 1: Проблемы, целевые задачи и направления // Вестник высшей школы. — 2024. — № 11. — С. 8. — DOI: 10.20339/AM.11-24.008. — УДК 378::62-042.4:004.
10. *Стоякин Е.А., Соболь Т.С.* Современные аспекты развития цифровой экономики в России // Научный вестник: Финансы, банки, инвестиции. — 2023. — № 4. — С. 131-140. — УДК 338.
11. *Кузина Н. Н., Корчак К. И.* Информационная безопасность: основополагающий аспект цифровизации образования // Вестник Прикамского социального института. 2021. № 1 (88). С. 97–99.
12. *Яхонтов И.С., Самойлюков Ю.Н.* Цифровизация образовательной среды: проблемы и решения // International Journal of Humanities and Natural Sciences. – 2024. – Т. 3-4, № 90. – С. 36-38. – DOI: 10.24412/2500-1000-2024-3-4-36-38.
13. *Данилов С. А., Ручин В. А.* Рискогенность образования и социокультурный потенциал общества в условиях цифровизации // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Философия. Психология. Педагогика. 2020. Т. 20, вып. 1. С. 10–14. DOI: https://doi.org/10.18500/1819-7671-2020-20-1-10-14.
14. *Масланов Е.В.* Цифровизация и развитие информационно-коммуникационных технологий: новые вызовы или обострение старых проблем? // The Digital Scholar: Philosopher’s Lab / Цифровой ученый: лаборатория философа. 2019. Т. 2. № 1. С. 6-21. DOI: 10.5840/dspl2019211

15. *Строков А.А.* Цифровизация образования: проблемы и перспективы // Вестник Мининского университета. 2020.Т. 8, №2. С. 15.
16. *Буданов В.Г.* Новый цифровой жизненный техноуклад — перспективы и риски трансформаций антропосферы // Философия искусственного мира. — 2016. — № 6 (ФЛ–6/2016). — С. 47-55.
17. *Ильин И. А.* Я вглядываюсь в жизнь: Книга раздумий. — [Б. м.]: Royallib.ru, [б. г.]. — URL: https://royallib.ru — Текст: электронный.
18. *Бурганова И.Н., Фарус О.А.* Проблемы цифровизации высшего образования в России // Международный научно-исследовательский журнал. — 2023. — № 7 (133). — DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.133.83.
19. *Моисеева Н. А., Полякова Т. А.* Развитие цифровых компетенций будущих инженеров средствами информационно-математического моделирования // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2021. – № 03 (март). – С. 71–85. – URL: http://e-koncept.ru/2021/211015.htm. DOI 10.24412/2304-120X-2021-11015.
20. *Чупандина Е.Е., Семенихина А.В.* Реализация онлайн-обучения в Воронежском государственном университете //Высшее образование в России. 2018. Т. 27. № 8-9. С. 103-110. https://doi.org/10.31992/0869-3617-2018-27-8-9-103-110.
21. *Шамие Н.Л., Шовгенин А.Н., Сафонова О.П., Шишкина Е.В.* Использование компьютерных технологий в процессе обучения иностранным языкам // Вестник ВолГУ. Серия 6. — 2008/2009. — Вып. 11. — С. 49-53.

THE CHALLENGES OF DIGITALIZATION IN THE TRAINING OF FUTURE ENGINEERS AND POSSIBLE SOLUTIONS

S.A. Afanaseva[1], **A.V. Lesnov** [2]
Scientific Adviser – A. N. Shovgenin[3]
MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] afanaseva.s.a1@edu.mirea.ru, [2] lesnov.a.v@edu.mirea.ru, [3] shovgenin@mirea.ru

Abstract

Problem statement. The digitalization of engineering education in higher educational institutions currently represents a strategically important direction for modernizing professional training. In the context of developing a digital economy and ensuring technological sovereignty, the task of preparing highly qualified engineering personnel capable of functioning effectively in digital production environments has become particularly critical. However, the implementation of digital transformation in universities that provide engineering education is accompanied by a series of systemic problems requiring careful analysis and a comprehensive approach to their resolution. Purpose. To identify and systematize the key challenges of digitalization in engineering education at higher educational institutions, and to substantiate possible directions and mechanisms for overcoming these challenges within the context of establishing a sustainable digital educational environment. Results. An analysis was conducted that identified the main obstacles hindering the effective digitalization of engineering education in universities. For each identified problem, specific measures for their resolution are proposed, aimed at developing the digital educational environment for engineering training programs. Practical significance. The research findings can be applied in educational organization management practices, in the development of faculty professional development programs, and in the design and implementation of digital educational platforms and infrastructure solutions.

Keywords

Engineering education, digital technologies, distance learning system, digitalization.

УДК 81:27

СПОРТИВНЫЕ МЕТАФОРЫ В НЕМЕЦКОМ ЭКОНОМИЧЕСКОМ ДИСКУРСЕ

Р. В. Белютин[1]
[1]Смоленский государственный университет
[1]deutsch-smolgu@mail.ru

Аннотация

В данной статье рассматриваются возможности и коммуникативный потенциал спортивной метафоры в немецком экономическом дискурсе. Подчеркивается роль спорта и спортивной метафоры в концептуализации, объективации, интерпретации и оценке действительности, организации многих дискурсивных практик, в том числе экономического дискурса. Выявляются примеры спортизации концептуальной области «Экономика», которая происходит с достаточно широким охватом понятий как сферы-источника, так сферы-мишени. Иллюстрируются случаи присутствия спортивной (футбольной метафоры) в биржевом, рекламном, управленческом дискурсах, отмечается прагмасемантический потенциал слов и выражений, репрезентирующих спортивный дискурс, но встраиваемых в не-спортивную, экономическую сферу. Перспективным представляется рассмотрение данной проблематики в сопоставительном аспекте, через сравнение с другими языками. В первую очередь родным русским языком.

Ключевые слова

Спорт, экономика, спортивный дискурс, метафора, этнолингвокультура, спортизация.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Изучению спортивного дискурса в лингвистике в последние годы придается особенное внимание, поскольку спортивная терминология все активнее вовлекается в различные дискурсивные практики и используется языковыми личностями для решения определенных коммуникативных задач. Не случайно многие специалисты, включая языковедов, говорят о «спортизации» языка, культуры, многих коммуникативных областей [1;2;3;4;5;6;7;8].

В данной статье мы обратимся к немецкой этнолингвокультуре, в которой, как показывают наблюдения, спортивные метафоры, особенно метафоры футбола, образуют базовую когнитивную модель коммуникации.

Судя по количественным показателям, включение терминосистемы «Спорт» в экономический дискурс и его составляющие воспринимается носителями языка как вполне адекватный когнитивный механизм, предоставляющий уникальную возможность проникновения в суть основополагающих вопросов данной научной отрасли.

Ярким примером успешного взаимодействия двух семантических сфер является, на наш взгляд, коллекция спортивных (футбольных) метафор, представленная в книге известного немецкого специалиста в области экономики, в частности, биржевой торговли, Б. Зандер «Der Ball muss ins Tor. Was Fußball, Börse und Aktien vereint und spannend macht», в которой ключевые концепты биржевой деятельности поясняются и комментируются через образы, заимствованные в футбольном дискурсе. Зандер выбрала для объяснения сложных процессов макро- и микроэкономики достаточно нетривиальный способ, и эта стратегия, с учетом той роли спорта и особенно футбола в немецком обществе, оказалась «попаданием в девятку». Обратимся к примерам:

Ценные бумаги

«*Wer jährlich im Schnitt eine Rendite von über fünf Prozent schafft, verarmt nicht im Alter. Er hat genug Geld, um sich auch später das Ticket fuer seinen Club und anderes leisten zu können: vergleichbar mit den drei Siegpunkten bei Spielabpfiff. Wer sein Geld übervorsichtig in Staatsanleihen und Banksparbriefen anlegt, bewegt nicht viel: vergleichbar mit einem Unentschieden und nur einem Punkt. Wer allein auf Sparkonto oder Festgeld vertraut, erleidet wegen der*

Preissteigerungsrate (Inflation) und der Abgeltungssteuer eine schleichende Kapitalvernichtung: vergleichbar mit einer Niederlage, null Punkten, Tabellenende und drohendem Abstieg» (1).

Фондовые индексы

«*So wie der Deutsche Fußball-Bund (DFB) die Spielklassen mit den Schwerpunkten 1., 2. und 3. Bundesliga aufteilt, gibt es in der deutschen Börsenlandschaft oben den DAX, vergleichbar mit der 1. Bundesliga, danach den MDAX und TecDAX analog zur 2. Bundesliga und darunter den SDAX, vergleichbar mit der 3. Bundesliga*» (2).

Виды инвестиционных стратегий

«*Vom Fußball ausgehend, ist der Sturm mit wachstumsstarken, konjunkturabhängigen Growth-Titeln, die Abwehr mit stabilen, substanzstarken Value-Titeln vergleichbar*» (3).

Цели биржевых игроков

«*So wie sich die Spitzenteams der Bundesliga für den internationalen Wettbewerb Champions League oder Europa League qualifizieren wollen, weil neben Imagegewinn Einnahmen in Millionenhöhe winken, verfolgen auch die DAX-Konzerne ähnliche Ziele*» (4).

Стратегии поведения на бирже

«*Privatanleger, die heimische Aktien übertrieben bevorzugen, schießen ein Eigentor*» (5).

Интересные примеры «сцепления» двух концептуальных областей приводятся в авторитетном специализированном издании «Wirtschaftswoche»:

Ex-Volkswagen-Chef Herbert Diess: «*Wie im Fußball sind die Besetzungen bestimmter Stellen die wichtigsten Entscheidungen überhaupt»* (6).

EX-Adidas-Chef Kaspar Rorsted: «*Spieler, die in der Kreisliga erfolgreich waren, spielen nicht immer auch in der Bundesliga mit. Man muss viel Zeit investieren, um gute Leute weiterzuentwickeln»* (7).

Непрерывное увеличение массива рекламных публикаций, призванных побудить потенциальных потребителей к действию и принятию решения в пользу того или иного продукта / услуги способствует появлению новых концепций и тактических ходов реализации рекламной стратегии. Показательны в плане образности, основанной на футбольной метафоре, следующие рекламные слоганы:

«*Clever lernen – **am Ball bleiben***!» (8).

«*Krombacher **geht** mit Arminia **in Verlängerung***» (9).

Применительно к рекламному дискурсу и его корреляциям со спортивным дискурсом «профилируется» еще один достаточно интересный лингвокультурологический сценарий, а именно: встраивание в рекламные тексты отдельных фраз или целых предложений, которые принадлежат субъектам, так или иначе связанным со спортивной коммуникацией.

Бесспорным лидером в этом неофициальном соревновании остается работавший долгое время в Германии итальянский тренер Дж. Трапаттони, который «прославился» скорее своими эмоциональными выступлениями, нежели высокими прфоессиональными результатами. Его знаменитый монолог «*Ich habe fertig*», произнесенный Трапаттони на одной из пресс-конференций, до сих пор считается непревзойденным как по накалу эмоций, так и в плане создания «сомнительных» метафорических образов на неродном (немецком) языке.

Так, в одной рекламе «перлы» Трапаттони должны были помочь известной компании по производству минеральной воды привлечь максимальное количество покупателей этого продукта:

«*Nix Flasche leer – Flasche immer voll, einfach Sprudeln und Prost, ich habe fertig*» (10).

Итак, приведенные примеры говорят об устойчивости метафорической модели «Экономика – это Спорт», причем многообразием отличаются как элементы области-источника, так и элементы области-цели. При этом элементы областей отправления и назначения практически не ограничены по степени сложности. Через спортивные метафоры объясняются сложные и абстрактные феномены «Экономический кризис», «Биржевая торговля», «Конкуренция» и др. В свою очередь метафоры, привлекаемые для

концептуализации данных понятий, могут реализовываться через один, но нередко и несколько сигнификативных дескрипторов.

Перспективным видится дальнейшее изучение вопроса, например, через призму межкультурной коммуникации, в сопоставлении с другими языками, например, русским, для выявления зон совпадения и расхождения в использовании спортивных метафор для репрезентации экономических терминов, ситуаций и пр. Ср.:

«*Мировая экономика может обрушиться, если Запад вынесет Китаю такую же «**красную карточку**», которая, по мнению главы банка ВТБ Андрея Костина, была вынесена России, заявил сенатор Алексей Пушков в своем Telegram-канале*» (11).

«***Мощный щелчок** по ценам вместе с Александром Овечкиным*» (12).

Список источников

1. Белютин Р. В. Прагмасемантические и лингвоментальные проекции немецкого спортивного дискурса: монография. Смоленск: Изд-во СмолГУ, 2019. 336с.
2. Зильберт А. Б. Спортивный дискурс: точки пересечения с другими дискурсами (проблемы интертекстуальности) // Язык, сознание, коммуникация. М., 2001. С. 103 –112.
3. Малышева Е. Г. Русский спортивный дискурс: лингвокогнитивное исследование: монография. Омск: Изд-во Ом. гос. ун-та, 2011. 324 с.
4. Beljutin R., Burkhardt A. (Hgg.) Fankultur und Fankommunikation in nationalen und transnationalen Diskursen / Дискурс футбольных фанатов в национальных и транснациональных проекциях. Bern, 2021. 268 S.
5. Burkhardt A. Wörterbuch der Fußballsprache. Von Abblocken bis Zweitligist. Handbuch. Hildesheim: Der arête Verlag, 2022. 464 S.
6. Meier-Vieracker, S. (Hrsg.). Reingegraetscht: Eine kleine Linguistik des Fussballs. Tuebingen: Narr Francke Attempto Verlag. 2024. 224 S.
7. Schlobinski, P. Geht raus und sprecht Fußball. Kleines Wörterbuch der Fußballsprache / P. Schlobinski. Mannheim – Zürich: Duden Verlag. 2011. 2. Auflage. 144 S.
8. Ziem, A. Fuβball als Interdiskurs: Lexikalische Felder, konzeptuelle Metaphern und Domänenmischung // A. Ziem (Hrsg.): Zeitschrift für Semiotik. Fuβball als Leitdiskurs? 2010. Band 32. Heft 3- 4. Tübingen: Stauffenburg Verlag. S. 305 – 329.

SPORTS METAPHORS IN GERMAN ECONOMIC DISCOURSE

R.V. Belyutin[1]
[1]Smolensk State University
[1]deutsch-smolgu@mail.ru

Abstract

Sports metaphors in the German economic discourse

The article considers the capabilities and communicative potential of a sports metaphor in the German economic discourse. It emphasizes the role of sport and sports metaphors in conceptualizing, objectivizing, interpreting and evaluating the reality, organizing many other discourse types including the economic discourse. It also brings to light the examples of sportization of the conceptual sphere “Economy” which embraces a wide range of notions in both the source domain and in the target domain. The paper illustrates the cases of using sports metaphors in stock, advertisement, management discourses, points out pragmatic and semantic potential of words and phrases representing the sports discourse applied in a non-sport, economic sphere. The topic is supposed to have good prospects in the comparative aspect, in contrast to other languages, Russian in the first place.

Keywords

Sport, economy, sports discourse, metaphor, ethic and linguistic culture, sportization.

УДК 659.1

ПЕРЕДАЧА СЛОГАНОВ ПРИ ЛОКАЛИЗАЦИИ САЙТОВ МЕЖДУНАРОДНЫХ КОМПАНИЙ

Варламова Ю.С.[1]
Научный руководитель – В.А. Митягина[2]
Волгоградский государственный университет (Волгоград, Россия)
[1]varlamova98@volsu.ru, [2]mityagina@mail.ru

Аннотация

Данная работа посвящена изучению особенностей передачи слоганов на локализованных сайтах международных компаний продвигающих товары повседневного спроса. Были проанализированы случаи применения адаптации и транскреации, а также определена тенденция частоты их использования при локализации сайтов международных компаний.

Ключевые слова

Локализация, слоган, переводческие трансформации, прагматический аспект, перевод.

A brief version in English is given at the end of the article

Материалы статьи

В настоящее время выход компании на международный уровень связан не только с расширением ее географических границ, но и с продвижением ее в интернет пространстве разных лингвокультур. Для успешной реализации международной стратегии продвижения и развития компании прибегают к локализации своих сайтов, однако это далеко от простого перевода текстового контента сайта, в частности большую сложность могут представлять слоганы компаний отвечающие за продвижение товаров и услуг. Передача слогана с учетом культурных, языковых, социальных особенностей целевой аудитории можете являться основной трудностью при локализации слоганов компаний ведь «языковой барьер – не единственное препятствие на пути к взаимопониманию. Национально-специфические особенности самых разных компонентов культур-коммуникантов (особенности, которые делают возможной реализацию этими компонентами этнодифференцирующей функции) могут затруднить процесс межкультурного общения» [1].

Сегодня к локализации прибегают компании, работающие в абсолютно разнообразных сферах, от фармацевтики до онлайн-продаж, ведь «успешная межкультурная коммуникация по средством сайта не может быть осуществлена без учета социокультурных элементов языка потребителей [2]. В работе Е.Е. Сухаревой и О.В. Шурлиной локализация определяется как «процесс адаптации продукта в соответствии с социокультурными особенностями конкретной страны» [2]. Под локализацию попадает как оболочка сайта, так и текстовое содержание сайта, и в текстовом содержании ярким элементом привлекающим внимание является слоган. Это может быть как слоган компании в целом, так и слоган конкретного продукта.

При локализации сайтов слоганы чаще всего подвергаются адаптации или же создается совершенно новый слоган. Эти факты объясняются необходимостью «подстроить» слоган товара под новую аудиторию, новый язык, новое иное восприятие, передав оригинальный прагматический эффект. Достижение необходимого прагматического эффекта при передаче слоганов может быть реализовано благодаря использованию переводчиком различных переводческих приемов, но в первую очередь необходимо выбрать верную стратегию перевода (перевод, адаптация, транскреация). В свою очередь переводческие трансформации, определяются прагматическими установками [3], однако прагматически адекватный перевод сайта является оптимальным вариантом, объединяющим прагматическую, семантическую, а также стилистическую адекватность [4].

Материалом данного исследования послужили слоганы представленные на сайтах международных компаний продвигающие товары повседневного спроса. В ходе анализа были выявлены основные принципы и особенности передачи слоганов при локализации сайтов

международных компаний. Так, например, международная компания PepsiCo, которая занимается производством различных продуктов питания и напитков, представленная в более чем 200 странах имеет следующие слоганы на английском, французском и русском языках:

- Create more smiles with every sip and every bite
- Créer plus de sourires avec chaque gorgée et chaque bouchée
- Дарить больше улыбок с каждым глотком и каждым кусочком

При детальном рассмотрении сайтов этой компании на английском, французском и русском, наблюдается визуально идентичное оформление англоязычного и франкоязычного сайтов, но разное контентное наполнение. В то время как главный слоган был переведен. Русскоязычный сайт полностью подвергся локализации и имеет собственную концепцию, как визуального оформления, так и контентного напонения. Но несмотря на это говоря о своей миссии компания использует тот же слоган что представлен на англоязычном и франкоязычном сайтах. Благодаря этой универсальности слогана он легко поддается переводу, в котором используются только необходимые лексико-грамматические трансформации, связанные асимметрией этих языков. Однако удается сохранить инфинитивность конструкции и однородность существительных на всех трех языках, не теряя при этом общность идеи «работы на благо потребителя». Подобные сайты позволяют сделать вывод об универсальности идеи инициального слогана в отношении потребителей независимо от их географии и лингвокультуры, и подобная универсальность в свою очередь помогает определить стратегию перевода слоганов на сайте.

Подобная универсальность встречается также у компаний Nestlé и Kraft Heinz: Good food, good life / Качество продуктов, Качество жизни (Nestlé); Creating Smiles Between Bites / Créer des sourires entre les bouchées (Kraft Heinz). Однако у компании Kraft Heinz слоган на английском языке был также сохранен и для франкоязычного сайта, несмотря на то, что весь сайт был полностью переведен на французский язык и локализован.

Как только товар начинает выходить за рамки универсальности своего потребления и приобретает специфику в своей аудитории (возраст, пол, род деятельности и т.д.) компании создает товары в соответствии с этой аудиторией, что при локализации влечет создание полностью нового сайта и средств его продвижения. В таком случае говорить о переводе уже нельзя, на замену приходит адаптация слогана (например, Maybelline: Maybe she’s born with it. Maybe it’s Maybelline / Все в восторге от тебя, а ты от Maybelline) и транскреация слогана. Таким примером является компания Adidas, которая по-разному ведет свои сайты на английском и французском языках (имея идентичное визуальное оформление), продвигая на стартовой странице разные категории и тренды, что заставляет представительство компании создавать индивидуальные слоганы для своей целевой аудитории.

Таким образом, на основании проведенного исследования можно констатировать, что сайты товаров повседневного спроса, а особенно продуктов питания имеют тенденцию к переводу слоганов, нежели адаптации и транскреации. Однако, при конкретизации аудитории или индивидуальном и независимом развитии компании в другой стране, слоганы на сайтах международных компаний подвергаются адаптации и транскреации.

Список источников

1. Антипов Г. А., Донских О.А, Марковина И. Ю., Сорокин Ю. А. Текст как явление культуры. Новосибирск, 1989 г. – 193 с.
2. Сухарева Е. Е., Шурлина О. В. Локализация сайта как форма межкультурной коммуникации // Вестник ВГУ. Серия: Лингвистика и межкультурная коммуникация. 2013.
3. Сабарайкина Л.М. Прагматический аспект как важнейший компонент адекватности перевода. Вестник СВФУ. 2012. – с. 112-117.
4. Парасоцкая А.А. Прагматические аспекты перевода текстового контента сайтов компаний // Вестник ВолГУ. Серия 9: Исследования молодых ученых. 2018. №16. – с. 42-45.

TRANSFER OF SLOGANS WHEN LOCALIZING INTERNATIONAL COMPANY WEBSITES

Varlamova Yu.S.[1]
Scientific Adviser – V.A. Mityagina[2]
Volgograd State University (Volgograd, Russia)
[1]varlamova98@volsu.r, [2]mityagina@mail.ru

Abstract

This work is devoted to the study of the features of the transfer of slogans on localized websites of international companies promoting everyday goods. The cases of adaptation and transcreation were analyzed, and the trend of their frequency of use in the localization of websites of international companies was determined.

Keywords

Localization, slogan, translation transformations, pragmatic aspect, translation.

УДК 378:811:004

ИНТЕГРАЦИЯ ЦИФРОВЫХ РЕСУРСОВ В КОМПЕТЕНТНОСТНЫЙ ПОДХОД ПРИ ОБУЧЕНИИ ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ СТУДЕНТОВ ИНЖЕНЕРНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ

В.Ю. Вереютин
Московский государственный институт международных отношений (МГИМО) МИД Российской Федерации (Москва, Россия), МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
vereyutv@mail.ru

Аннотация

Постановка проблемы. В статье рассматривается внедрение цифровых ресурсов в рамках компетентностного подхода при обучении студентов инженерных специальностей как важное направление модернизации образовательного процесса. Раскрываются преимущества использования цифровых инструментов, освещаются основные ключевые компетенции, а также навыки, необходимые для осуществления успешной иноязычной коммуникации в профессиональной сфере. Приводится широкий спектр инструментов и платформ, которые могут быть эффективно использованы с целью повышения качества обучения иностранному языку с учетом специфики инженерного направления и формирования конкретных компетенций.

Цель. Выявить оптимальные способы интеграции цифровых образовательных ресурсов в процесс формирования профессионально значимых компетенций у студентов инженерно-технических специальностей при изучении иностранного языка, обеспечивающие повышение качества подготовки специалистов международного уровня.

Результаты. Доказана эффективность практического применения инновационных педагогических решений и интеграции цифрового образования в целях успешной языковой подготовки специалистов технического профиля.

Практическая значимость. Полученные результаты позволяют разработать методические рекомендации и практические материалы, обеспечивающие повышение качества обучения, развитие навыков межкультурной коммуникации, а также подготовку специалистов, готовых осуществлять эффективное взаимодействие в сфере международного сотрудничества.

Ключевые слова

Компетентностный подход, цифровизация, цифровые ресурсы, профессиональная иноязычная коммуникация, интеграция.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Современные образовательные процессы претерпевают значительные изменения благодаря широкому внедрению информационных технологий и цифровых инструментов. Данные изменения особенно актуальны в сфере высшего профессионального образования, где акцент смещается от традиционного грамматико-переводного метода к активным методам обучения, основанным на развитии компетенций учащихся. В условиях расширения и активизации межкультурного общения инженерные специальности предполагают высокий уровень владения иностранным языком, поскольку глобализация и интернационализация научных исследований и промышленности обусловливают необходимость взаимодействия специалистов разных стран.

Цифровизация в рамках компетентностного подхода

Технические науки – одна из наиболее динамично развивающихся областей знания, охватывающая большие объемы постоянно расширяющейся и обновляющейся научно-технической информации. Именно поэтому в основу процесса обучения иностранным языкам положен компетентностный подход, ориентированный на развитие практических навыков и способностей обучающегося, необходимых для осуществления успешной профессиональной иноязычной коммуникации. Освещению компетентностного подхода в процессе обучения посвящены работы многих отечественных исследователей (Михайлова Г.В., Пчелинцева И.Г.)

В статье В.П. Игнатьева, Л.Ф. Варламовой, А.А. Дарамаевой освещаются имеющиеся проблемы в реализации компетеностного подхода в системе высшего образования и предлагаются способы их решения. Г.И. Михайлова в рамках освещения компетентностного подхода при обучении иностранному языку в своей работе отмечает приоритет принципа важности и практичности, предполагающий умение обучающегося осуществлять поиск важной для него профессионально значимой информации в письменных информационных источниках.

Рассматриваемый подход предполагает формирование ключевых компетенций, таких как коммуникативные, информационные, аналитические и профессиональные. В контексте изучения иностранного языка компетентностный подход направлен на развитие способности эффективно общаться на иностранном языке в различных ситуациях в рамках будущей профессии.

Цифровизация мирового сообщества требует совершенствования методов обучения иностранному языку в рамках применения компетентностного подхода посредством внедрения цифровых инструментов. Внедрение цифровых инструментов при обучении иностранному языку рассматривается в ряде исследовательских работ. Так, статья О.О. Захаровой посвящена разработке методической системы развития лингвистической компетенции будущего инженера на основе применения цифровых инструментов. И.С. Волегжанина в своей работе определяет уровни цифровой трансформации в преподавании иностранного языка студентам инженерных специальностей.

Цифровые ресурсы включают широкий спектр инструментов и платформ, которые могут быть использованы для поддержки процесса обучения иностранному языку. К ним относятся онлайн-курсы, интерактивные учебники, мобильные приложения, виртуальные среды общения и социальные сети. Эти ресурсы позволяют студентам практиковать языковые навыки в реальных условиях, развивать самостоятельность и критическое мышление. В этой связи весьма интересной представляется классификация цифровых ресурсов, предложенная в работе Л. А. Метельковой, Е. Г. Хрисановой, Е. В. Фроловой. Авторы выделяют три группы цифровых инструментов: педагогические, металингвистические и дидактические.

Профессиональная языковая компетенция

Формирование профессиональной языковой компетенции будущих инженеров начинается с освоения специализированной лексики и грамматических конструкций, характерных именно для технических дисциплин. Среди наиболее эффективных и оптимальных способов интеграции в учебный процесс цифровых ресурсов, позволяющих успешно развивать данный аспект, нами выделяются следующие: использование онлайн-платформ специализированных курсов. Так, например, такие платформы, как Coursera, edX или Stepik предлагают курсы по техническому английскому языку («English for Engineers», «Technical English»), ориентированные на развитие профессиональных коммуникативных навыков. Корпусные базы данных: онлайн-корпусы (например, COBUILD, British National Corpus) помогают студентам анализировать частотность употребления терминов и особенностей профессионального общения в реальных коммуникативных ситуациях. Существенную значимость в процессе обучения представляют интерактивные мультимедийные материалы: например, симуляции технологических процессов на иностранном языке способствуют погружению в реальные рабочие ситуации.

Мобильные приложения, такие как Duolingo, Babbel и Memrise, помогают студентам регулярно практиковаться в изучении иностранного языка. Они предлагают разнообразные упражнения, игры и тесты, которые способствуют развитию всех аспектов языковой компетенции — лексики, грамматики, произношения и понимания речи на слух.

Профессиональная иноязычная коммуникация и межкультурная компетентность

Зачастую инженеры осуществляют профессиональную деятельность в международных командах. В этой связи важно развить умения и навыки эффективного взаимодействия с зарубежными коллегами и партнерами. Формированию таких компетенций способствует интеграция таких инструментов, как коллаборативные онлайн-пространства, платформы Slack, Microsoft Teams или Google Workspace, обеспечивающие возможность организации виртуальных встреч и совместной проектной деятельности между студентами разных стран. Эффективными средствами являются симуляторы деловых переговоров: игры и тренажёры (например, Rosetta Stone's Business Solutions) имитируют сценарии международного сотрудничества, помогающие освоить техники ведения деловой беседы.

Аналитические и исследовательские навыки

Современные инженеры регулярно сталкиваются с необходимостью анализа иноязычных источников и технической документации. Эффективное развитие аналитической компетенции с учетом специфики инженерного направления обеспечивается посредством использования цифровых библиотек и научных журналов, а также наличием доступа к международным базам данных (Scopus, Web of Science, EBSCOhost), что позволяет студентам читать и критически осмысливать технические тексты на иностранном языке. Такие автоматизированные системы перевода и распознавания текста, как DeepL или Google Translate облегчают понимание сложных технических материалов и ускоряют освоение научной литературы.

Кроме того, важно не только обеспечить доступ студентов к качественным цифровым ресурсам, но и организовать обучение работе с ними. Это включает проведение мастер-классов по использованию конкретных приложений и платформ, разработку рекомендаций по выбору курсов и материалов, а также создание условий для самостоятельной работы вне аудиторий.

Реализация компетентностного подхода посредством внедрения цифровых ресурсов предполагает овладение студентами следующих навыков:

1. Коммуникативные навыки: устное общение, аудирование (прослушивание аутентичных технических текстов на онлайн-сервисах), чтение и письмо (электронные библиотеки и новостные сайты);
2. Информационно-коммуникационные навыки: поиск и систематизация профессионально-значимой технической информации на иностранном языке с использованием поисковых систем, создание презентаций, использование электронных учебников и приложений.
3. Кросс-культурные навыки: ознакомление с культурой страны изучаемого языка посредством цифровых ресурсов, например, онлайн-туры и экскурсии, общение в социальных сетях и форумах, выполнение совместных технических онлайн-проектов с учащимися из-за рубежа;
4. Самостоятельность и саморегуляция: постановка целей и управление временем (использование специальных трекеров и таймеров для организации работы), самоконтроль (приложения для отслеживания выполнения заданий), ориентация на качество.

Использование цифровых ресурсов имеет ряд преимуществ:

1. Индивидуализация обучения: возможность выбора курса и скорости освоения материала;
2. Развитие автономности: способствует формированию ответственности за собственное образование;
3. Повышение мотивации: обучение становится интересным и увлекательным благодаря разнообразию форматов и подходов.
4. Практическая направленность: применение полученных знаний в реальной жизни и профессиональной деятельности.

Однако существует и ряд трудностей, связанных с недостаточной подготовкой преподавателей к работе с новыми технологиями, а также необходимостью постоянного обновления программного обеспечения.

Заключение

Практика показывает, что интеграция рассмотренных цифровых ресурсов в компетентностный подход при обучении иностранному языку будущих инженеров является важным направлением модернизации образовательного процесса. Она позволяет повысить качество подготовки и мотивацию будущих инженеров, сделать обучение более эффективным, интересным, разносторонним и привлекательным. Для успешного внедрения цифровых технологий необходимо создать условия для профессионального роста педагогов, обеспечивающих эффективное применение новых методов и средств обучения. Вместе с тем, внедрение цифровых ресурсов в компетенностный подход не должно вытеснить личное взаимодействие преподавателя и студента, а представлять собой гармонично организованный синтез традиционных методов обучения и использования цифровых образовательных ресурсов, нацеленный на обеспечения максимальной эффективности в обучении иностранному языку. Дальнейшие исследования должны быть направлены на изучение влияния цифрового обучения на успеваемость и мотивацию студентов, а также на выявление наиболее эффективных моделей интеграции цифровых ресурсов в образовательный процесс.

Список источников

1. *Волегжанина, И. С.* Уровни цифровой трансформации преподавания иностранного языка будущим инженерам / И. С. Волегжанина // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2023. – № 2-1(77). – С. 81-85. – DOI 10.24412/2500-1000-2023-2-1-81-85. – EDN WEJBXJ.
2. *Захарова, О.* О. Внедрение цифровых инструментов в процесс развития иноязычной лингвистической компетенции студентов технического вуза (на примере обучения английскому языку) / О. О. Захарова // Педагогика. Вопросы теории и практики. – 2023. – Т. 8, № 12. – С. 1231-1240. – DOI 10.30853/ped20230175. – EDN CYPBIP.
3. Игнатьев, В. П. Компетентностный подход: проблемы и решения / В. П. Игнатьев, Л. Ф. Варламова, А. А. Дарамаева // Преподаватель XXI век. – 2022. – № 2-1. – С. 34-45. – DOI 10.31862/2073-9613-2022-2-34-45. – EDN NGRSDY.
4. *Метелькова Л. А., Хрисанова Е. Г., Фролова Е. В*. Использование цифровых инструментов в иноязычной подготовке обучающихся // Казанский педагогический журнал. 2021. № 3.
5. *Михайлова, Г. И.* Обучение иностранному языку в неязыковых вузах в рамках компетентностного подхода / Г. И. Михайлова // Филологические науки. Вопросы теории и практики. – 2016. – № 9-2(63). – С. 204-207. – EDN WIDDTJ.
6. *Михайлова, Г. И.* Компетентностный подход в обучении иностранному языку аспирантов технического вуза / Г. И. Михайлова // Филологические науки. Вопросы теории и практики. – 2017. – № 5-2(71). – С. 199-201. – EDN YKTKIN.
7. *Пчелинцева, И. Г.* Реализация Компетентностного подхода при обучении иностранным языкам в техническом вузе / И. Г. Пчелинцева // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2010. – № 1(15). – С. 31-35. – EDN PCAFVL.

INTEGRATION OF DIGITAL RESOURCES INTO A COMPETENCY-BASED APPROACH IN TEACHING FOREIGN LANGUAGES TO ENGINEERING STUDENTS

V.Y. Vereyutin
Moscow State Institute of International Relations (MGIMO University) (Moscow, Russia), MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
vereyutv@mail.ru

Abstract

This article discusses the implementation of digital resources within the framework of the competency-based approach in teaching engineering students as an important area of modernization of the educational process. The advantages of using digital tools are revealed, the main key competencies are highlighted, as well as the skills necessary for successful foreign language communication in the professional sphere. A wide range of tools and platforms are provided that can be effectively used to improve the quality of foreign language teaching, taking into account the specifics of the engineering field and the formation of specific competencies

Keywords

Competence-based approach, digitalization, digital resources, professional foreign language communication, integration

УДК 378.095

ИНТЕГРАЦИЯ ИНТЕРАКТИВНОГО ГЛОССАРИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ТЕРМИНОЛОГИИ В ОБУЧЕНИЕ ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ В ВЫСШЕЙ ШКОЛЕ В УСЛОВИЯХ БРС

Е.А. Гаврилова[1], А.Р. Прокопчук[2], Ю.О. Врублевский[3], А.Р. Новикова[4]
[1-4]МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] gavrilova_e@mirea.ru, [2]prokopchuk@mirea.ru, [3]vrublevskij@mirea.ru, [4]novikova@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. В статье обосновывается необходимость владения иностранным языком специалистам в технической сфере для успешной коммуникации и профессионального роста, без которого невозможно освоить основные научные концепции и углубиться в выбранную специализацию. Помимо этого, авторами приводятся аргументы о целесообразности наряду с традиционными методами преподавания иностранного языка в высшей школе применение современных методик, платформ, онлайн-сервисов, что позволяет при необходимости интегрировать учебный материал в дистанционный формат занятий, успешно его адаптировать под изменяющиеся учебные программы, а также обеспечить возможность самостоятельной работы студентов.

Цель. Целью статьи является подробное описание структуры и наполнения типовой словарной статьи учебного глоссария профессиональных технических терминов, разработанного студентами и преподавателями кафедры иностранных языков технологического университета. Авторы выделяют ключевые методы работы с глоссарием в процессе аудиторных занятий и самостоятельной работы студентов как средством активизации профессиональной лексики у студентов технологического вуза. Намечены перспективы улучшения технической составляющей словаря для повышения его эффективности.

Практическая значимость. В статье описаны основные способы адаптации возможностей словаря под разные цели и задачи одного студента и группы студентов. Глоссарий является постоянно обновляемым и пополняемым источником актуального текстового, видео и аудио контента по всем темам учебной программы курса ‘Технический английский язык’. Авторами анализируются возможности интерактивного глоссария как инструмента оценки текущей, промежуточной и итоговой успеваемости студентов в контексте балльно-рейтинговой системы, внедряемой в высшей школе.

Ключевые слова

Интерактивный глоссарий, иноязычная компетенция, лексическая единица, словарный запас, словарная статья, фонетическая транскрипция, дефиниция, неязыковой вуз, балльно-рейтинговая система.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Современному специалисту крайне важно обладать не только знаниями и навыками в своей профессиональной области, но и владеть иностранным языком на уровне, достаточном для взаимодействия с зарубежными партнёрами, публикации в международных изданиях и выступления на международных конференциях. Следовательно, одной из главных задач высшего учебного заведения, в котором студенты осваивают основные научные концепции и углубляются в выбранную специализацию, является создание прочной языковой основы. Это включает в себя развитие навыков устной коммуникации на иностранном языке в деловой среде, способность воспринимать устную речь коллег, а также умение критически анализировать специализированную литературу для повышения своей квалификации.

Уважая традиционные методы языкового обучения, такие как индивидуальная и групповая работа с иностранными текстами, вопросно-ответные упражнения при аудировании, подстановочные задания и упражнения со множественным выбором, мы считаем важным активно внедрять современные технологии в образовательный процесс в вузе, в частности: использовать образовательные онлайн-платформы и приложения, направленные на увеличение словарного запаса студентов и отработку грамматических структур. Кроме того, целесообразно разрабатывать приложения на базе обучающей

платформы вуза, так как данный подход позволяет адаптировать ресурсы под специфические задачи с учётом профиля и специализации обучающихся, под изменяющиеся учебные программы и при необходимости интегрировать учебный материал в дистанционный формат занятий, а также обеспечить возможность самостоятельной работы студентов [1].

Основное содержание

Кафедра иностранных языков Московского института радиотехники, электроники и автоматики (РТУ МИРЭА) активно применяет цифровую платформу СДО (систему дистанционного обучения) в образовательной деятельности. На этой платформе размещаются текстовые, аудио и видео материалы, предназначенные для выполнения учебных заданий, а также проводятся текущая, прмежуточная и итоговая аттестация студентов. Для учебных целей на Кафедре готовится интерактивный глоссарий, который будет служить справочным ресурсом. Предполагается, что наш глоссарий будет использоваться студентами второго года обучения направлений подготовки ИИИ (Институт искусственного интеллекта), ИИТ (Институт информационных технологий), ИКБ (Институт кибербезопасности и цифровых технологий), ИПТИП (Институт перспективных технологий и индустриального программирования). В рамках курса второго года обучения учебным планом этих направлений предусмотрено изучение следующих тем: History of computers, Types of computers, Computer hardware, Primary storage, Secondary storage, Software, Networks, The OSI model, The Internet, Search engines, Computer languages, Web design, Malware and cybercrime, Data security, The future of IT, Professions in IT. В связи с этим, в глоссарий включены ключевые термины, представленные в перечисленных темах, на английском языке.

Формат работы со словарём может меняться в зависимости от тематики. Изначально студенты будут знакомиться с уже готовыми статьями для изучения и закрепления технической терминологии. В дальнейшем им будет предлагаться самостоятельно пополнять словарь. Создание интерактивного глоссария выступает в качестве одной из нестандартных форм работы студентов с технической лексикой на иностранном языке, как в аудитории, так и при самостоятельной подготовке.

Студентам может быть предложен групповой проект по углублению понимания определённых терминов изучаемой темы. Также возможно задание индивидуального проекта нескольким студентам с последующей презентацией результатов перед остальными студентами в группе [2].

Объём и наполнение словарной статьи словаря может варьироваться в зависимости от типа термина и его функционального и лингвистического потенциала. Типовая словарная статья должна содержать следующие компоненты:

1) термин на английском языке;

2) базовое лексикографическое описание английского слова или главного слова в терминологическом словосочетании;

3) транскрипцию;

4) термин на русском языке;

5) базовое лексикографическое описание русского слова или главного слова в терминологическом словосочетании;

6) изображение предмета, названного этим термином (если он не является абстрактным понятием);

7) устойчивые словосочетания с английским термином словарной статьи и их переводы на русский язык;

8) примеры контекстных употреблений термина;

9) ссылки на внешние ресурсы с дополнительными примерами контекстного употребления термина, примерами употребления термина в звучащей речи;

10) тематические хеш-теги, выбираемые из списка;

11) функция отложить слово в личный список.

Так как словарь реализуется в формате электронного ресурса, то на платформе предполагаются дополнительные функции для его индивидуальной настройки пользователями (обучающимися):

1) поиск словарных статей как по английскому, так и по русскому алфавиту (два алфавитных индекса);

2) полнотекстовый поиск с разделением выдачи на результаты по заголовкам словарных статей (терминам) и употреблениям искомого в примерах, упражнениях и иных материалах словаря;

3) формирование кратких тематических словников из предложенного набора тем (соответствуют хеш-тегам) в виде таблиц из трёх столбцов (термин на английском языке, транскрипция на английском языке, термин на русском языке);

4) создание нескольких личных списков терминов;

5) функция заучивания слов из личных списков терминов или тематических словников с помощью переворачивающихся карточек с возможностью выбрать язык термина на лицевой стороне (английский или русский);

6) интерактивный глоссарий представляет собой не только информационный справочник, но и инструмент для обучения. Многие статьи включают в себя упражнения, направленные на закрепление понимания терминов. Например, в статье о термине hardware предложено задание по сопоставлению названий компонентов компьютера с их основными функциями. В разделе network topology пользователям предлагается соотнести схемы, иллюстрирующие конфигурации сетевых элементов, с их соответствующими названиями. В статье о malware содержится перечень характеристик различных типов вредоносного программного обеспечения и форм киберпреступности, где нужно определить, какие утверждения являются верными, а какие — ложными.

Выводы

Возможности интерактивного глоссария позволяют оценить успеваемость студентов и отследить динамику их работы в семестре. Помимо устных коллоквиумов и подготовки презентаций, в качестве дополнительной формы работы и возможности получить баллы для аттестации по курсу возможно выполнять упражнения и тесты, нацеленные на обобщение и дополнительную проработку изучаемой темы. Настройки упражнений, сопровождающие некоторые словарные статьи, позволяют выявить рейтинг по группе и курсу, что повысит состязательскую составляющую обучения и неизбежно привлечёт внимание студентов. В перспективе планируется разработать ряд тестовых заданий по каждой теме, рассчитанных на еженедельное выполнение с ограничением в доступе спустя неделю. Таким образом, у студентов сформируется привычка постоянной работы со словарём как неотъемлемая часть подготовки к занятиям по английскому языку.

Для составления словарных статей мы прибегаем к использованию авторитетных источников (текстовые материалы технологических лидеров отрасли, рецензируемые научные журналы, энциклопедические издания и т. д.)

На сегодняшний день глоссарий насчитывает 250 словарных статей.

Размещаться словарь будет в виде самостоятельного интернет-ресурса (сайта). Словарь должен внести свой вклад в развитие мультимодального подхода к языковой подготовке студентов, реализуемой кафедрой иностранных языков.

Список источников

1. *Азарова О.А., Швечкова Л.А. Актуальность электронной версии глоссария банковских и финансовых терминов для обучения и работы современного экономиста // Аксиома: актуальные аспекты гуманитарных наук. 2017. № 3 (7). С. 22-27.*
2. *Бобровницкая О.С. Совместная работа над глоссарием как способ овладения gрофессионально ориентированной лексикой студентами финансово-экономических специальностей // Мир науки, культуры, образования. 2021. № 2 (87). С. 186-189.*

3. *Гаврилова Е.А., Прокопчук А.Р., Эркенова Д.И., Ростомян Л.А. Способы оптимизации обучения профессиональной лексике в технологическом вузе на примере английского языка // Педагогический журнал. 2022. Т. 12. № 5А. С. 436-442. DOI: 10.34670/AR.2022.59.20.059.*
4. *Прокопчук А.Р. и др. Essential English for IT Students. Part I. М.: РТУ МИРЭА, 2023.*
5. *Орчакова Л.Г. Интеграционные инновационные процессы в высшем профессиональном образовании: новые технологии обучения. В сборнике: Образование, экономика, право в современном информационном обществе. Материалы VIII международной научной конференции. 2012. С. 133-136*
6. *Алексейчева Е.Ю. Гуманизация образования: антропоцентризм и видимое обучение. В сборнике: Гуманизация образования: принципиальные позиции и положения. Сборник статей. Ярославль, 2021. С. 6-16.*
7. *Алексейчева Е.Ю. Новые тренды в управлении образовательными системами // Цифровая гуманитаристика: человек в «прозрачном» обществе: Коллективная монография. М.: Книгодел, 2021. С. 68-97.*
8. *Алексейчева Е.Ю. Современные подходы к организации научного продюсинга // Вестник Московского городского педагогического университета. Серия «Экономика». 2020. № 4 (26). С. 100–108. DOI 10.25688/2312- 6647.2020.26.4.09*
9. *Алексейчева Е.Ю., Ананишнев В.М., Ермоленко Г.А., Жукоцкая А.В., Казенина А.А., Кожевников С.Б., Нехорошева Е.В., Осмоловская С.М., Сахарова М.В., Скородумова О.Б., Хасянов А.Ж., Хилханов Д.Л., Хилханова Э.В., Черненькая С.В. Цифровая гуманитаристика: человек в «прозрачном» обществе. Коллективная монография. Москва, 2021.*
10. *Алексейчева Е.Ю. Этика distant-образования. В сборнике: Актуальные проблемы образования. материалы методологического семинара. Сер. "Библиотека Мастерской оргдеятельностных технологий МГПУ" Ярославль, 2020. С. 78-84.*

INTEGRATION OF THE INTERACTIVE GLOSSARY OF PROFESSIONAL TERMINOLOGY INTO THE PROCESS OF TEACHING A FOREIGN LANGUAGE IN THE CONTEXT OF THE POINT-RATING SYSTEM

[1]E.A.Gavrilova, [2]A.R.Prokopchuk, [3]Y.O.Vrublevsky, [4]A.R.Novikova
MIREA - Russian Technological University (Moscow, Russia)
gavrilova_e@mirea.ru, prokopchuk@mirea.ru, vrublevskij@mirea.ru, novikova@mirea.ru

Abstract

Problem Statement. The article explains the necessity of foreign language skills for specialists in the technical sphere for successful communication and professional growth, without which it is impossible to master the basic scientific concepts and deepen into the chosen specialization. In addition, the authors argue that along with traditional methods of teaching a foreign language in higher education institutions it is advisable to use modern methods, platforms, online services, which allows, if necessary, to integrate the teaching material into a distance learning format, successfully adapt it to changing educational programs, as well as to provide an opportunity for independent work of students.

Purpose. The aim of the article is to describe in detail the structure and content of a typical article of the educational glossary of professional technical terms developed by students and tutors of the Department of Foreign Languages of the University of Technology. The authors highlight the key methods of working with the glossary in the process of classroom and independent work of students as a means of activation of professional vocabulary in students of technological university. They outline the prospects for improving the technical component of the glossary to increase its effectiveness.

Practical Significance. The article describes the main ways of adapting the features of the glossary to different goals and tasks of one student and a group of students. The glossary is a constantly updated and replenished source of actual text, video and audio content on all topics of the 'Technical English' course curriculum. The authors analyze the possibilities of the interactive glossary as a tool for assessing the current, intermediate and final performance of students in the context of the point-rating system implemented in higher education.

Keywords

Interactive glossary, foreign linguistic competence, lexical unit, thesaurus, dictionary entry, phonetic transcription, definition, non-linguistic university, point-rating system

УДК 378.147:81'243:62

ЛИНГВИСТИЧЕСКАЯ ЛОГИСТИКА В ИНЖЕНЕРНОМ ОБРАЗОВАНИИ: ИНТЕГРАЦИЯ ЯЗЫКОВЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЕТЕНЦИЙ

М.Р. Гатиятуллин[1], **Е.С. Хан**[2]
Научный руководитель – А. Н. Шовгенин[3]
МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] gatiyatullin.m.r@edu.mirea.ru, [2] khan.e.s@edu.mirea.ru, [3]shovgenin@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. В современных условиях глобализации и международной интеграции инженерное образование сталкивается с необходимостью комплексного развития как технических, так и языковых компетенций у студентов. Проблема заключается в недостаточной интеграции языковой подготовки с профильными инженерными дисциплинами, что снижает эффективность формирования профессиональной иноязычной коммуникативной компетентности и ограничивает возможности выпускников на международном рынке труда.

Цель. Исследовать и проанализировать современные подходы к лингвистической логистике в инженерном образовании, а именно интеграцию языковых и технических компетенций в российских и зарубежных вузах, выявить успешные практики и определить направления их совершенствования.

Результаты. В результате проведенного анализа выявлены основные методы и формы интеграции, включая внедрение специализированных курсов технического иностранного языка, использование междисциплинарных и предметно-языковых методик обучения, а также применение современных образовательных технологий. Работа демонстрирует, что комплексный подход к формированию языковых и технических навыков способствует развитию у студентов способности эффективно коммуницировать в международной профессиональной среде, что повышает их конкурентоспособность и профессиональную мобильность.

Практическая значимость. Практическая значимость исследования заключается в возможности использования полученных результатов при разработке учебных программ и методических материалов в технических вузах, а также в совершенствовании педагогических технологий, направленных на интеграцию языковых и инженерных компетенций. Область применения результатов охватывает высшее инженерное образование, курсы профессионального иностранного языка и программы международного сотрудничества в сфере технического образования.

Ключевые слова

Инженерное образование, лингвистическая логистика, технический английский, CLIL, проектное обучение, международная коммуникация

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

В современном инженерном образовании возникает острая необходимость интеграции языковых и технических компетенций, что обусловлено глобализацией и ростом международного сотрудничества в технической сфере.

В работе рассматривается лингвистическая логистика в аспекте системного подхода, направленного на формирование у студентов инженерных специальностей профессиональной иноязычной коммуникативной компетенции, необходимой для успешной работы в международной среде.

Цель данной работы — проанализировать практики интеграции языковых и технических навыков в российских и зарубежных вузах, выявить эффективные модели и определить направления их развития. Задача — показать конкретные программы и методы, реализуемые в ведущих образовательных учреждениях.

Практики интеграции языковых и технических компетенций в российских ВУЗах

В России интеграция языковых и технических компетенций в инженерном образовании реализуется по-разному в различных вузах, что отражает современные тенденции и требования к подготовке инженеров с международными навыками. Ниже приведены примеры из пяти

российских вузов и образовательных учреждений, демонстрирующих подходы к лингвистической логистике в инженерном образовании.

В Сибирском государственном университете путей сообщения разработан методический подход, основанный на принципе «Иностранный язык – средство обучения специальности». Этот подход предполагает междисциплинарное взаимодействие преподавателей гуманитарных и технических дисциплин для создания обучающего контента, способствующего развитию интегрального инженерного мышления и профессиональной коммуникации на иностранном языке [1].

В Трехгорном технологическом институте – филиале НИЯУ МИФИ внедрена методическая система развития лингвистической компетенции студентов на основе цифровых инструментов. Применение smart-обучения и цифровых образовательных платформ позволило повысить эффективность обучения английскому языку, адаптированному к профессиональной инженерной деятельности [2].

В условиях дистанционного обучения в Трехгорном технологическом институте разработана система упражнений, направленных на развитие иноязычных коммуникативных умений студентов технических специальностей. Использование теоретико-методологических подходов и цифровых платформ, таких как Moodle, способствовало улучшению навыков профессиональной коммуникации на иностранном языке [3].

Современные методические исследования предлагают использование компетентностного, контекстного подходов, методов сотрудничества (проектное и проблемное обучение), а также анализ кейсов инженерных компетенций XXI века для формирования иноязычной профессиональной коммуникативной компетенции студентов технических вузов. Такие подходы обеспечивают тесное взаимодействие преподавателей языковых и технических дисциплин при разработке учебных программ [4].

Мировые практики интеграции языковых и технических компетенций

CLIL(Content and Language Integrated Learning) — это методика, при которой обучение предмету и иностранному языку происходит одновременно. Она способствует развитию как языковых, так и когнитивных навыков студентов, включая критическое мышление и способность к решению проблем. Применение CLIL в инженерном образовании позволяет студентам осваивать технические дисциплины на иностранном языке, что повышает их конкурентоспособность на международном рынке труда [5].

EMI — это подход, при котором обучение проводится на английском языке, но без явного акцента на изучение самого языка. Он широко применяется в странах, где английский не является родным языком, для подготовки студентов к работе в международной среде. Однако, в отличие от CLIL, EMI не всегда обеспечивает достаточную языковую поддержку, что может затруднить усвоение материала студентами с низким уровнем владения английским языком [6].

Проектное обучение на иностранном языке позволяет студентам применять языковые и технические знания в реальных проектах. Этот подход способствует развитию коммуникативных навыков, критического мышления и способности к решению проблем. Например, в рамках CLIL-программ студенты могут разрабатывать технические проекты и представлять их на иностранном языке, что повышает их уверенность и мотивацию.

В Университете Британской Колумбии (UBC) реализуется программа Vantage College, предназначенная для иностранных студентов инженерных специальностей. Эта программа интегрирует обучение техническим дисциплинам с курсами академического английского языка. Преподаватели технических и языковых курсов тесно сотрудничают, обеспечивая студентам возможность развивать навыки письменной и устной коммуникации в профессиональном контексте. Такой подход способствует не только улучшению языковых навыков, но и более глубокому пониманию технического материала [7].

В Университете Помпеу Фабра (UPF) особое внимание уделяется развитию коммуникативных навыков студентов. В стратегическом плане университета подчеркивается

важность интеграции языковой подготовки в образовательный процесс, включая развитие навыков презентации, критического мышления и письменной деловой коммуникации. Образовательная модель UPF направлена на формирование у студентов способности эффективно коммуницировать в различных профессиональных и академических контекстах [8].

Главные отличия между российскими и зарубежными подходами

В российских и зарубежных вузах наблюдается общая тенденция к интеграции языковых и технических компетенций, однако подходы к реализации этих целей во многом различаются.

Обе системы образования стремятся к объединению иноязычной и инженерной подготовки через междисциплинарные подходы. Как в российских, так и в зарубежных университетах используется проектное обучение, в котором иностранный язык применяется как средство коммуникации в процессе решения инженерных задач. Также активно внедряются цифровые образовательные технологии: онлайн-платформы, электронные курсы, мультимедийные задания и виртуальные симуляции. Во всех системах образования развивается международная мобильность, реализуются программы двойных дипломов и англоязычные образовательные треки.

Основные отличия кроются в глубине и форме интеграции. В российских вузах обучение иностранному языку чаще строится как отдельный курс, адаптированный под профессиональные потребности — «технический английский», с упором на чтение документации, написание отчетов и устную профессиональную коммуникацию. Методики часто разрабатываются на уровне кафедр и факультетов, и не всегда поддерживаются на институциональном уровне. В зарубежных вузах, особенно в странах ЕС и Канаде, широко применяется метод CLIL (Content and Language Integrated Learning), при котором технические дисциплины преподаются на иностранном языке, чаще всего на английском. Язык в данном случае становится не только предметом изучения, но и средой освоения профессионального контента. Студенты изучают инженерию, программирование или механику на английском языке, что позволяет одновременно развивать как технические, так и коммуникативные навыки.

Кроме того, за рубежом больше внимания уделяется развитию soft skills: презентаций, дебатов, делового общения и письменной деловой коммуникации. В таких вузах, как Университет Британской Колумбии (Канада) или Университет Помпеу Фабра (Испания), языковая подготовка интегрирована в общий контекст инженерного образования и оценивается в совокупности с профессиональными результатами, а не отдельно.

Таким образом, зарубежные практики отличаются более высокой степенью институциональной поддержки и методической системности, в то время как российские университеты делают акцент на функциональной языковой подготовке, часто разрабатывая локальные решения в рамках отдельных дисциплин. Опыт зарубежных вузов может служить ориентиром для дальнейшего развития интегративных подходов в российском инженерном образовании.

Методы интеграции языковых и технических компетенций, которые можно внедрить в российскую систему инженерного образования

Внедрение метода CLIL (Content and Language Integrated Learning). CLIL предполагает изучение инженерных дисциплин на иностранном языке — чаще всего на английском. Такой подход позволяет студентам одновременно осваивать как профессиональные знания, так и развивать языковую компетентность. Внедрение возможно через создание англоязычных модулей в рамках технических дисциплин, переподготовку преподавателей и проведение совместных занятий преподавателями технических и языковых кафедр.

Интегрированные проектные работы на иностранном языке. Эффективной практикой является организация проектной деятельности, при которой студенты выполняют задания, разрабатывают решения и защищают результаты на иностранном языке. Это может

происходить в рамках курса технического иностранного языка или как часть инженерного модуля. Такой подход развивает навыки реального общения в профессиональной среде.

Межфакультетское сотрудничество. Создание совместных курсов и модулей, в которых специалисты по языку и по техническим дисциплинам работают над общими задачами, позволяет добиться целостной интеграции. Языковая подготовка приобретает прикладной характер и строится на базе технического содержания. Это возможно через междисциплинарные семинары, совместную разработку кейсов и практико-ориентированных заданий.

Использование онлайн-платформ и международных открытых курсов (MOOC). Современные онлайн-курсы с технической тематикой на английском языке — важный инструмент интеграции. Включение в учебный план англоязычных лекций, тестов и заданий из таких платформ, как Coursera, edX, FutureLearn, способствует развитию как языковой, так и технической компетентности. Такие курсы можно сделать частью оценивания или учебного проекта.

Введение “языковых майноров” для технических направлений. Майнор — это дополнительная специализация, которая может быть сосредоточена на профессиональном английском языке. Подобные траектории позволяют углубленно изучать деловую лексику, научную терминологию и навыки академического письма. Вузы могут разрабатывать собственные сертификационные программы или привлекать международные экзаменационные стандарты.

Заключение

Интеграция языковых и технических компетенций в инженерном образовании становится ключевым условием подготовки конкурентоспособных специалистов, способных успешно функционировать в международной профессиональной среде. Анализ практик, реализуемых в российских и зарубежных вузах, демонстрирует актуальность комплексного подхода к обучению, при котором иностранный язык рассматривается не как вспомогательный курс, а как средство освоения профессиональных знаний и развития коммуникативных навыков.

В России уже существуют примеры успешного внедрения методов междисциплинарного взаимодействия, цифровых образовательных платформ и адаптированных курсов технического иностранного языка. Однако для повышения эффективности требуется систематизация этих практик, институциональная поддержка и активное заимствование зарубежного опыта. В частности, методики CLIL, EMI и проектное обучение на иностранном языке, применяемые в ведущих университетах Канады, Испании и других стран, могут быть адаптированы в российских реалиях через межфакультетское сотрудничество, развитие англоязычных модулей и внедрение языковых майноров.

Таким образом, развитие лингвистической логистики в инженерном образовании представляет собой перспективное направление, направленное на формирование универсальных, гибких и мобильных специалистов, готовых к вызовам глобального рынка труда.

Список источников

1. *Литвинова, С. А.* Междисциплинарное обучение иностранному языку в техническом вузе как средство формирования профессиональной иноязычной коммуникативной компетенции / С. А. Литвинова // Российский журнал образования и психологии. — 2021. — № 12. — URL: https://rjep.ru/jour/index.php/rjep/article/view/486 (дата обращения: 26.05.2025).
2. *Витюк, О. В.* Развитие лингвистической компетенции студентов технических направлений с использованием цифровых инструментов / О. В. Витюк // Грамота. — 2023. — № 1 (75). — URL: https://www.gramota.net/article/ped20230175/fulltext (дата обращения: 27.05.2025).
3. *Витюк, О. В.* Система упражнений для развития иноязычной коммуникативной компетенции студентов технических специальностей в условиях дистанционного обучения / О. В. Витюк // Грамота. — 2020. — № 1 (31). — URL: https://www.gramota.net/article/ped20200131/fulltext (дата обращения: 27.05.2025).
4. Иноязычная профессиональная коммуникативная компетенция будущего инженера: современная трактовка — Научная публикация [Электронный ресурс] // SciPress.ru. — URL: https://scipress.ru/philology/articles/inoyazychnaya-professionalnaya-kommunikativnaya-kompetentsiya-budushhego-inzhenera-sovremennaya-traktovka.html (дата обращения: 28.05.2025).

5. Поленова, А. Ю. Интеграция иностранного языка и содержания профессионально-ориентированных дисциплин в вузе [Электронный ресурс] / А. Ю. Поленова // Интернет-журнал «Мир науки». — 2017. — Т. 5, № 5. — Режим доступа: https://mir-nauki.com/PDF/15PDMN517.pdf (дата обращения: 29.05.2025).
6. *Airey, J.* Evolving Identities: EMI in the Classroom and Beyond. [Электронный ресурс] // ERIC. – URL: https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1464026.pdf (дата обращения: 28.05.2025).
7. *Stols, T.* Design principles for integrating language and communication skills into engineering education [Электронный ресурс] / T. Stols // Academia.edu. – URL: https://www.academia.edu/113230478/Design_principles_for_integrating_language_and_communication_skills_into_engineering_education (дата обращения: 29.05.2025).
8. Teaching model – Strategic Plan 2021–2025 [Электронный ресурс] // Universitat Pompeu Fabra. – URL: https://www.upf.edu/en/web/plaestrategic/teaching (дата обращения: 29.05.2025).

METHODS OF ADAPTIVE REJECTION OF SIGNAL AUDIO INTERFERENCE

G.M. Gatiyatullin [1], **E.S. Khan** [2]
Scientific Adviser – A. N. Shovgenin[3]
MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] gatiyatullin.m.r@edu.mirea.ru, [2] khan.e.s@edu.mirea.ru, [3] shovgenin@mirea.ru

Abstract

The integration of linguistic and technical competencies in engineering education is becoming increasingly important in the context of globalization. While Russian universities often approach this integration through separate courses in technical English, there is a growing need to adopt more holistic methods used in international institutions. These include the CLIL approach (teaching technical subjects in English), interdisciplinary collaboration between language and engineering departments, project-based learning in a foreign language, and the use of online international courses. Additional methods such as language minors, simulation of professional environments, and the development of fully English-taught programs can significantly enhance students ability to communicate effectively in global engineering contexts and improve their international employability.

Keywords

Least squares filtering, adaptation step, adaptive filtering, interference, radio acoustics.

УДК 378.147:004.94:62

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ КАК ЭЛЕМЕНТ СОВРЕМЕННОГО ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Р.М. Яковлев[1], **Д.Н. Гобеджишвили**[2]
Научный руководитель – А. Н. Шовгенин[3]
МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] yakovlev.r.m@edu.mirea.ru, [2]gobedzhishvili.d.n@edu.mirea.ru, [3] shovgenin@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Цифровые двойники (ЦД) трансформируют инженерное образование, обеспечивая симуляцию реальных систем в виртуальной среде, однако их внедрение сталкивается с методологическими (сложность формализации педагогических процессов), техническими (высокие требования к ИТ-инфраструктуре) и организационными (дефицит промышленно-образовательной интеграции) барьерами.

Цель. Целью статьи является определение роли цифровых двойников в модернизации подготовки инженеров и выявление ключевых проблем и перспектив на основе сравнительного анализа международных моделей внедрения.

Результаты. Выделены две парадигмы внедрения: когнитивно-ориентированная (США/ЕС) и системно-оптимизационная (Россия). Установлены барьеры: технологические, методологические, организационные. Предложены решения: гибридные ЦД на open-source, GAN-модели, корпоративно-вузовские партнёрства.

Практическая значимость. Результаты исследования позволят совершенствовать курсы с ориентацией на Industry 4.0/5.0, создавать ресурсоэффективные VR-лаборатории, формировать адаптивные траектории обучения и оптимизировать управление инженерными кампусами.

Ключевые слова

Цифровые двойники, инженерное образование, цифровое моделирование, виртуальные лаборатории, адаптивные траектории, Industry 4.0, таксономия Блума, цифровой след.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Цифровые двойники – виртуальные модели реальных объектов и процессов – становятся важным инструментом в инженерной подготовке. Их использование позволяет создавать виртуальные лаборатории, моделировать технологические процессы и усиливать практическую направленность обучения. Это особенно актуально в условиях цифровой трансформации экономики и растущих требований к инженерным компетенциям.

Однако внедрение цифровых двойников в образовательную среду сталкивается с рядом проблем, а именно недостатком методических материалов, нехваткой цифровой инфраструктуры и низким уровнем подготовки преподавателей. Решение этих задач требует системного подхода и интеграции новых технологий в учебные процессы вузов.

Целью статьи будет анализ возможностей и трудностей применения цифровых двойников в инженерном образовании, а также обозначение направления их эффективного внедрения.

Концептуальные основы цифровых двойников

Концепция цифровых двойников (ЦД), первоначально разработанная для оптимизации промышленных процессов, сегодня радикально трансформирует ландшафт инженерного образования, предлагая инновационные решения для преодоления разрыва между теоретической подготовкой и практическими требованиями Industry 4.0/5.0. Глубокий анализ современных исследований позволяет выявить не только универсальные тенденции, но и национальные особенности внедрения данной технологии.

Исторически термин «цифровой двойник» был введён М. Гривзом и Дж. Викерсом в 2003 году при методологической поддержке NASA, где он определялся как «интегрированная мультифизическая, многомасштабная вероятностная симуляция готовой модели». Российский стандарт ГОСТ Р 57700.37-2021 дополняет это определение, акцентируя внимание на системности. ЦД трактуется как комплекс, объединяющий цифровую модель

объекта/процесса с двусторонними информационными связями между физическим и цифровым пространством. Эта принципиальная особенность позволяет не только имитировать поведение реальных объектов, но и осуществлять обратное воздействие виртуальной среды на физические процессы, создавая замкнутый цикл обучения, где ошибки становятся частью образовательного процесса без риска катастрофических последствий [1].

Национальные модели внедрения в США и России

Сравнительный анализ международных образовательных моделей выявляет две доминирующие парадигмы, отражающие культурные и экономические различия образовательных систем. Американская школа (Университет Аризоны) фокусируется на когнитивной прогрессии студентов, интегрируя ЦД с таксономией Блума. Низкоточные двойники (например, созданные методом фотограмметрии с погрешностью 4,97%) используются на уровне бакалавриата для формирования базовых навыков запоминания и понимания. Упрощённые 3D-модели промышленных установок в Unity или VR-средах позволяют изучать основы механики без риска повреждения оборудования [2].

Среднеточные ЦД (на базе SCADA BR и OpenPLC) предназначены для магистрантов, отрабатывающих применение знаний и анализ. Через защищённые VPN-лаборатории студенты оптимизируют производственные цепочки SMC SiF-400, диагностируют сбои в реальном времени и исследуют уязвимости кибербезопасности промышленных сетей, при этом каждый ошибочный шаг генерирует детализированный отчёт с рекомендациями ИИ-тьютора.

Высокоточные двойники с продвинутой ИИ-аналитикой и динамическим прогнозированием (на основе few-shot learning с LLM) служат аспирантам для создания инновационных решений, таких как проектирование энергоэффективных систем или разработка API для «умных» фабрик, где виртуальные прототипы проходят стресс-тестирование в смоделированных экстремальных условиях. Критическим элементом этой системы выступают генеративные ИИ-тьюторы, использующие RAG (Retrieval-Augmented Generation) для доступа к структурированным базам знаний и Prompt Engineering для адаптации учебных сценариев в зависимости от когнитивного стиля студента [2]. В отличие от статических симуляторов, такие ЦД обеспечивают двусторонний поток данных. Изменения параметров в виртуальной среде мгновенно отражаются на физическом оборудовании, формируя у студентов компетенции работы с киберфизическими системами – навык, востребованный в 92% вакансий ведущих машиностроительных компаний по данным Siemens AG [6].

Российские исследования, представленные в работах РГППУ и РАНХиГС, смещают акцент с индивидуального развития на системную оптимизацию образовательного процесса в условиях ресурсных ограничений. Разрабатываемая архитектура ЦД охватывает три ключевые сущности: дисциплину (ЦДДОП), преподавателя (ЦДП) и обучающегося (ЦДО). ЦДДОП, построенный по четырёхуровневой модели (данные – коммуникации – обработка – сервисы), интегрирует электронные образовательные ресурсы, IoT-датчики аудиторий и аналитические модули, сопряжённые с базами вакансий HeadHunter. Такой подход позволяет динамически корректировать контент курсов, например, при росте спроса на специалистов по квантовым сенсорам в 1,7 раза (данные 2023 года), система автоматически добавляет соответствующие модули в учебные планы мехатроники [4].

ЦДП решает проблему административной перегрузки преподавателей. Алгоритмы на основе NLP генерируют варианты практических заданий, проверяют уникальность решений через интеграцию с «Антиплагиатом», анализируют типовые ошибки с кластеризацией по когнитивным истокам проблем. По данным мониторинга НИУ ВШЭ, 78% преподавателей инженерных дисциплин отмечают снижение рутинной нагрузки на 30–40% при наполняемости групп 35+ человек. ЦДО, основанный на анализе цифрового следа (результаты тестов, публикации в eLIBRARY, активность в LMS, поисковые запросы в университетских базах), формирует адаптивные траектории. Например, система выявляет корреляцию между

успеваемостью по математическому моделированию и интересом к статьям о нейросетях (частота скачивания материалов IEEE Xplore), предлагая углублённые модули по машинному обучению с проекцией на карьерные перспективы в «Яндексе» или «Росатоме». Принципиальное отличие от западных моделей – фокус на институциональной эффективности. Если американские ЦД нацелены на максимализацию когнитивного развития, российские решения решают уравнение «качественное образование + ограниченные ресурсы» [5].

Основные барьеры внедрения

Ключевым вызовом, отмечаемым во всех исследованиях, остается сложность формализации социально-психологических аспектов образования. В промышленных ЦД параметры (температура, давление, вибрации) легко квантифицируются датчиками с погрешностью ≤0,1%, тогда как в педагогике возникают фундаментальные проблемы при цифровизации таких категорий, как мотивация, креативность или групповая динамика.

Российские авторы подчёркивают, что попытки описания оценочных критериев через математические алгоритмы часто приводят к редукционизму: например, балльная система не отражает качество инженерного мышления при проектировании моста в CAD-программе, где оригинальность решения важнее скорости выполнения [3].

Международные проекты решают эту проблему через гибридные методики, например, в финском Университете Аалто ЦД кранового оборудования синхронизирован с VR-гарнитурами HTC Vive Pro Eye, где трекеры отслеживают не только действия студентов, но и когнитивную нагрузку по параметрам фокусировки взгляда и частоте моргания. Однако подобные решения требуют инвестиций $200 тыс. на одну лабораторию, что в 5,7 раз превышает среднегодовой бюджет российской кафедры на техническое оснащение. Альтернативой становятся «лайт-версии» ЦД на базе Unreal Engine или Unity с использованием потребительских VR-шлемов Oculus Quest 3, снижающие затраты до $25 тыс., но сохраняющие 80% функциональности [7].

Перспективным направлением признаётся конвергенция образовательных и промышленных ЦД. Метаанализ 83 исследований показывает, что 67% вузов, внедривших промышленные ЦД (Siemens PLM, Rockwell Automation), сократили сроки адаптации выпускников на предприятиях с 6 до 2 месяцев за счёт идентичности виртуальных и реальных рабочих мест. Яркий пример – «Фабрика будущего» в Университете Аризоны. Студенты работают с ЦД действующих производственных линий Bosch, где ошибка в виртуальном режиме (например, некорректная настройка ЧПУ) генерирует аналитический отчёт с симуляцией последствий (простой линии, брак продукции), а не приводит к финансовым потерям. В России подобные проекты (РГППУ, МГТУ им. Баумана) сталкиваются с проблемой «цифрового суверенитета», только 12% промышленных предприятий готовы предоставлять вузам актуальные параметры оборудования из-за опасений утечки know-how [8].

Решением становится создание гибридных ЦД на основе open-source платформ (Apache Kafka, Node-RED), где реальные производственные данные заменяются синтетическими, но сохраняют физическую достоверность через GAN-сети, обученные на анонимизированных датасетах. Успешные кейсы включают коллаборацию НИТУ «МИСиС» и «РУСАЛа», где студенты оптимизируют виртуальные копии электролизёров, повышая КПД процессов на 8,3% без доступа к коммерческим секретам [9].

Инфраструктурные вызовы остаются критическим барьером, требующим решения трех ключевых задач: во-первых, обеспечения значительных вычислительных мощностей для обработки потоков данных с 1000+ IoT-датчиков в реальном времени, что подразумевает развертывание систем с минимальной конфигурацией в 128 ядер CPU и 2 TB RAM для моделирования завода полного цикла; во-вторых, создания низколатентной сетевой инфраструктуры стандартов 5G/6G с задержкой передачи данных не более 1 мс, необходимой для обеспечения тактильной обратной связи в ходе AR/VR-сессий; наконец, реализации

комплексных мер кибербезопасности для защиты цифровых двойников критической инфраструктуры (энергосети, транспортные системы), где эксплуатация уязвимостей может привести к катастрофическим физическим последствиям [10].

По оценкам Khalid Shaikh 73% учебных заведений Евросоюза решают эти задачи через партнёрство с корпорациями (Siemens, SAP), выделяющими до €2,5 млн в год на вузовские лаборатории, тогда как в РФ только 9% университетов имеют аналогичные программы грантовой поддержки. Показателен пример Дрезденского технического университета, где ЦД микроэлектронного производства финансируется GlobalFoundries, а студенты, показавшие лучшие результаты в виртуальной среде, автоматически получают предложения о работе.

Несмотря на различия национальных моделей, глобальный тренд к 2030 году предполагает конвергенцию подходов через три ключевые инновации: цифровые близнецы кампусов (в частности, система «Умный университет» РГППУ, где ЦД оптимизируют энергопотребление на 60% посредством PIR-сенсоров и анализа поведенческих паттернов); предиктивные ИИ-модели, обеспечивающие 89%-ную точность прогноза успеваемости за счёт анализа 120 параметров цифрового следа — от временных меток решения задач до физиологических реакций в VR; а также транснациональные метавселенные (например, совместные VR-лаборатории MIT и ТУ Дрездена), где студенты из 12 стран коллективно выполняют сложные инженерные задачи типа ремонта турбины виртуальной АЭС, одновременно развивая профессиональные и кросс-культурные компетенции [11].

Как отмечают А. Прохоров и М. Лысачев, финальным критерием успеха станет не технологическая сложность, а педагогическая эффективность: «ЦД должны стать цифровыми ассистентами, расширяющими возможности преподавателя, а не заменой человеческого взаимодействия» [12]. В условиях, когда 40% инженерных компетенций устаревают за 5 лет (данные Всемирного экономического форума), именно гибкость цифровых двойников позволяет образованию адаптироваться к скорости технологических изменений, сохраняя антропоцентричную суть инженерной профессии.

Заключение

Проведённое исследование подтвердило, что цифровые двойники устраняют разрыв между теорией и практикой в инженерном образовании через высокоточное моделирование промышленных систем, обеспечивая персонализацию обучения, снижение затрат и формирование компетенций Industry 4.0/5.0. Несмотря на сохраняющиеся технологические, методологические и организационные барьеры, гибридные решения на базе open-source и корпоративно-вузовские партнёрства предлагают эффективные пути внедрения. К 2030 году интеграция ЦД с VR/AR, ИИ и метавселенными создаст глобальные образовательные экосистемы, где симуляция реальных производственных задач станет стандартом подготовки инженеров.

Список источников

1. *Grieves M., Vickers J. Digital* Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems // Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems. 2017. DOI: 10.1007/978-3-319-38756-7_4
2. *Lin Y., Yassin A., Slusarczyk B. et al.* Transforming Engineering Education Using Generative AI and Digital Twin Technologies // arXiv preprint. 2024. arXiv:2411.14433v1. URL: https://arxiv.org/abs/2411.14433
3. *Гурьева Т.Н., Шарабаева Л.Ю.,* Атаян А.М. О возможности использования цифровых двойников в высшем образовании // Вестник РАНХиГС. 2023. № 2. С. 92–98. URL: https://science education.ru/article/view?id=32986
4. &ysclid=mb8m434gly915048319
5. *Куликов С.А., Ломовцева Н.В.* Использование «цифрового двойника» в подготовке студентов вузов // Философия образования. 2022. Т. 28. № 2. С. 127–137. URL: https://elar.rsvpu.ru/handle/123 456789/41786?ysclid=mb8m8zrs5f579319240
6. *Штадер Е.В.* Актуализация конвергентного подхода в образовательном процессе инженерного вуза // Философия образования. 2021. Т. 27. № 2. С. 91–99. URL: https://www.sibran.ru/journals/issue.php?ID=180731
7. &ARTICLE_ID=180733&ysclid=mb8ma5n8sx638027899

8. *Autiosalo J., Mahjoob M.* Platform for Industrial Internet and Digital Twin Focused Education // IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT). 2018. DOI: 10.1109/WF-IoT.2018.8355192
9. *Flaga S., Pacholczak K.* Demonstrator of a Digital Twin for Education as a Web Application // Advances in Science and Technology Research Journal. 2022. Vol. 16. No. 2. P. 220–228. DOI: 10.12913/22998624/147507
10. *Агатов Б.* Цифровые двойники в ритейле – кто это такие и почему с ними срочно нужно знакомиться? // NR Magazine. 2023. URL: https://new-retail.ru
11. *Иванова М.* Цифровые двойники полей, виртуальные метеостанции // Fonar.tv. 2019. URL: https://fonar.tv/news/2019/09/26/cifrovye-dvoyniki-poley
12. *Salvi A., Pigni F.,* Piccoli G. Cyber-resilience of Critical Cyber Infrastructures // Computers & Security. 2022. Vol. 113. URL: https://iris.luiss.it/handle/11385/211319
13. *Alsaleh S., Alabdulkarim L., Almulhim A. et al.* ReImagine Lab: Bridging Educational Gaps // IEEE Access. 2022. Vol. 10. P. 61058–61067. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3199371
14. *Прохоров А., Лысачев М.* Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт. М.: АльянсПринт, 2020. 192 с. URL: http://digital-economy.ru/obzory/tsifrovoj-dvojnik-analiz-trendy-mirovoj-opyt

CHALLENGES OF DIGITALIZATION IN TRAINING OF FUTURE ENGINEERS AND POSSIBLE SOLUTIONS

R.M. Yakovlev[1], **D.N. Gobedzhishvili**[2]
Scientific Adviser – A. N. Shovgenin[3]
MIREA - Russian Technological University (Moscow, Russia)
[1] yakovlev.r.m@edu.mirea.ru, [2] gobedzhishvili.d.n@edu.mirea.ru, [3] shovgenin@mirea.ru

Abstract

Problem Statement. Digital twins (DTs) are transforming engineering education by enabling simulation of real-world systems in virtual environments. However, their implementation faces methodological barriers (challenges in formalizing pedagogical processes), technical constraints (high demands on IT infrastructure), and organizational limitations(insufficient industry-education integration).

Purpose. This article aims to define the role of digital twins in modernizing engineering training and identify key challenges and prospects through comparative analysis of international implementation models.

Results. Two implementation paradigms were identified: a cognitive-oriented approach (US/EU) and a system-optimization model (Russia). Critical barriers include technological, methodological, and organizational obstacles. Solutions proposed: hybrid DTs on open-source platforms, GAN models, and university-corporate partnerships.

Practical Significance. The findings facilitate designing Industry 4.0/5.0-aligned courses, developing resource-efficient VR laboratories, creating adaptive learning pathways, and optimizing engineering campus management.

Keywords

Digital twins, engineering education, digital modeling, virtual laboratories, adaptive learning pathways, Industry 4.0, Bloom’s taxonomy, digital footprint.

УДК 81'374:005.92:004.63:006.072

ЛИНГВИСТИЧЕСКИЕ СТАНДАРТЫ В ЭЛЕКТРОННОМ ДОКУМЕНТООБОРОТЕ (СЭД): УНИФИКАЦИЯ ТЕРМИНОЛОГИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕЖОТРАСЛЕВОЙ КОММУНИКАЦИИ

Е.Р. Егорова[1]
Научный руководитель – А. Н. Шовгенин[2]
МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] egorova.e.r@edu.mirea.ru, [2] shovgenin@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. В условиях стремительного развития цифровых технологий особую актуальность приобретает проблема терминологической унификации в системах электронного документооборота. Несмотря на широкое внедрение СЭД в корпоративную практику, отсутствие единых лингвистических стандартов приводит к существенным затруднениям в межотраслевой коммуникации, ошибкам в учетных системах и юридическим рискам.

Цель. Определить комплекс мер по стандартизации терминологии в современных СЭД на основе сравнительного анализа терминологических систем, используемых в банковском секторе, и предложить механизмы интеграции унифицированных глоссариев в популярные платформы документооборота.

Результаты. Выявлены ключевые терминологические расхождения в договорной документации ведущих российских банков, разработаны алгоритмы интеграции единых терминологических справочников в системы 1С:Документооборот, ELMA и Directum RX, предложены методы автоматизированного контроля терминологической согласованности.

Практическая значимость. Реализация предложенных решений позволит повысить эффективность межкорпоративных коммуникаций, сократить временные затраты на согласование документов и минимизировать юридические риски, связанные с терминологической неоднозначностью. Результаты исследования могут быть применены для стандартизации документооборота в регулируемых отраслях, включая банковский сектор и государственные закупки.

Ключевые слова

Электронный документооборот, унификация терминов, лингвистические стандарты, СЭД, межотраслевая коммуникация, автоматизация контроля терминологии.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

В условиях цифровой трансформации и роста объемов корпоративной документации проблема терминологической неоднозначности в документационных системах становится необычайно важной, ведь разночтения в терминологических определениях одних и тех же понятий посредством взаимодействия подразделений организации, проведения через СЭД договоренностей с контрагентами или соприкосновение с отраслевыми стандартами создают проблемы с эффективностью документооборота, приводя к задержкам согласования, ошибкам в учете и даже юридическим рискам. Особенно остро эта проблема проявляется в междисциплинарных сферах, где пересекаются профессиональные языки различных специалистов.

Как отмечают Садыкова А. В. и Миронова Н. Г. в работе «Цифровизация и документационное обеспечение управления в России», «среди других выгод для управленческих работников от внедрения СЭД и ИС такие: сокращается время на поиск информации, быстрее происходит передача, копирование документов, как правило, повышается исполнительская дисциплина (если в программе заложены функции ее контроля и учета), при наличии удобного мобильного интерфейса и устойчивой связи повышается мобильность, что дает дополнительные возможности и придает гибкость деловым процессам» [1].

Проблема терминологической разрозненности в СЭД

Современные системы электронного документооборота (СЭД), несмотря на их технологические возможности, часто не решают проблему терминологических разночтений, поскольку изначально не учитывают необходимость лингвистической стандартизации. Как показывает практика, даже в рамках одной организации могут одновременно существовать десятки вариантов обозначения ключевых понятий, что не только затрудняет автоматизированную обработку данных, но и противоречит требованиям государственных стандартов (ГОСТ Р 7.0.97-2016 [2], ГОСТ 34.602-89 [3] и др.), что особенно критично для регулируемых отраслей.

В практике отечественного электронного документооборота принято акцентировать внимание на двух типах СЭД: «системы внутреннего электронного документооборота, используемые предпочтительно большими фирмами и государственными структурами для оптимизации делопроизводства внутри организации, и системы внешнего электронного документооборота, необходимые для взаимодействия с контрагентами» [1]. Такая особенность была отмечена в системах электронного документооборота ПАО «Сбербанк»: для ведения внутреннего электронного документооборота компания использует «СФЕРА Курьер», разработанный дочерней компанией «СберКорус», а в качестве сервиса для контрагентов выступает E-invoicing, который позволяет обмениваться юридически значимыми документами в режиме онлайн и отправлять отчёты в ФНС, ПФР, ФСС и Росстат.

Анализ терминологических различий

Сравнительный анализ терминологии, применяемой в договорной документации, позволяет выявить как схожие черты, так и существенные различия. На примере двух договоров — Договора расширенного банковского сопровождения Проекта ПАО Сбербанк и Договора оказания услуги банковского сопровождения (Газпромбанк и АО «ГАЗСТРОЙПРОМ») — можно выделить следующие особенности.

Понятие «Отдельный банковский счет (ОБС)» присутствует в документах различных организаций, однако его определение варьируется. В договоре расширенного банковского сопровождения контракта от компании «Сбербанк» присутствует определение: «ОБС — отдельный (обособленный) банковский счет в валюте Российской Федерации/иностранной валюте, режим использования которого обеспечивает выполнение Банком обязательств по расширенному банковскому сопровождению Сопровождаемого контракта, открываемый Поставщику/иным Участникам исполнения контракта в Банке для осуществления расчетов в рамках исполнения Сопровождаемого контракта/Договора с соисполнителем» [4]. Можно заметить, что акцент делается на целевом характере использования средств. В то время как Газпромбанк в своих договорах использует определение «Отдельный банковский счет (ОБС) — банковский счет, открытый в Банке Клиенту для проведения операций, связанных с исполнением каждого Сопровождаемого договора/Договора, имеющий специальный режим проведения расходных операций после заключения Дополнительного соглашения», отмечая важность специального режима проведения операций, требующем дополнительного контроля [5].

Аналогичные расхождения наблюдаются в трактовке «Контроль целевого расходования средств». В договоре Сбербанка данный процесс описывается как «мониторинг соответствия платежей установленным параметрам», а Газпромбанк использует в своем терминологическом словаре определение «многоуровневая процедура, включающая согласование с кураторами проекта и профильными департаментами» [4, 5]. Более того, Газпромбанк вводит дополнительные параметры, такие как «Код целевого направления расходования средств», что усложняет систему, но повышает детализацию контроля [5].

Особого внимания требуют термины, связанные со специфической деятельностью организаций и внутренней организацией ведения деятельности. Газпрбанк вводит термин «Куратор БС — ПАО «Газпром» как сторона, ответственная за мониторинг исполнения

Сопровождаемого договора», связанный со сложной корпоративной структурой в группе компаний [5]. Данный институциональный механизм входит в трехуровневую систему согласования потоков денежных средств, что впоследствии увеличивает время согласования и добавляет особые требования для ведения документооборота. Таким образом, термин «Куратор БС» трансформирует СЭД из инструмента обработки документов в систему корпоративного управления, требующую глубокой интеграции с материнской компанией, многоуровневой архитектуры контроля, специализированных механизмов визирования.

Методы решения терминологических проблем с использованием современных СЭД

Интеграция глоссариев в системы электронного документооборота

Чтобы избежать терминологической путаницы, важно иметь единый справочник терминов в корпоративной СЭД. Привязав его к типам документов, «1С: Документооборот» позволяет создавать пользовательский справочник с утвержденными терминами, такими как ОБС и контроль целевых расходов. Как отмечается в документации 1С:Документооборот, конфигурация предоставляет механизмы контроля терминологической согласованности документов, где «встроенные проверки сопоставляют используемые термины с утвержденным справочником, а при несоответствии система предлагает авторизованные варианты замены» [6].

В ELMA этот процесс интегрирован в бизнес-процессы: система выполняет проверку терминов перед утверждением документа, что гарантирует соответствие корпоративному глоссарию. Согласно руководству ELMA, «особое внимание уделяется мониторингу выполнения скриптов и проверке терминологии в документах», что обеспечивает дополнительный контроль [7]. При наведении курсора на термин Directum предоставляет контекстную информацию в карточках документов, содержащих стандартизированные термины[8].

Автоматизированный контроль терминологии в договорах

Для снижения количества ошибок в использовании терминологии можно доработать 1С:Документооборот через встроенный механизм проверки документов, который будет выделять несоответствия и предлагать замену на стандартизированные варианты. В ELMA вы можете запускать проверки скриптов на этапе разработки документа, что позволяет сравнить текст со справочным глоссарием.

Кроме того, Directum RX поддерживает семантический анализ за счет интеграции с приложениями NLP, такими как Yandex SpeechKit или ABBY Compreno, что помогает быстро выявлять и заменять неправильные формулировки [9].

Единые шаблоны документов с предустановленными терминами

Во всех трех системах можно разработать типовые шаблоны документации, в которых ключевые термины, например, «ОБС», уже будут вписаны в соответствии с корпоративным стандартом. В 1С и Directum есть возможность настроить автозаполнение полей в соответствии со справочниками, что избавит пользователей от необходимости вводить термины собственноручно. Более того, Directum RX поддерживает интеграцию с учетной системой 1С, что позволяет автоматизировать обмен данными между системами, избежать повторного занесения данных, а также открывать объекты 1С в Directum RX [8].

В ELMA можно закрепить шаблоны за бизнес-процессами, чтобы при создании документа система предлагала пользователям нужные формулировки.

Координация между участниками рынка: механизмы унификации терминологии

Для обеспечения эффективной унификации терминологии в электронном документообороте необходима коллективная заинтересованность рынка и согласованная работа всех участников рынка: научного сообщества, отраслевых ассоциаций, корпораций, разработчиков СЭД и государственных регуляторов. Как отмечает Пашаева Г. Б., «унификация терминов требует стандартизации, гармонизации и четких дефиниций» [10]. Это

особенно актуально для СЭД, где разночтения в терминах (например, «ОБС») приводят к юридическим рискам.

В качестве мер по обеспечению достижения данной цели предлагается: образование отраслевых комитетов при Минцифры для стандартизации терминов документооборота в госсекторе, организация хакатонов по созданию open-source инструментов для проверки терминологии и основание совета при Банке России для унификации банковских терминов. Также, как отмечается в работе Иванова А. А. и других, необходимо внедрение современных решений для автоматизации документооборота, что поможет преодолеть затруднения, связанные с фрагментарностью терминологий, сократить юридические риски и ускорить документооборот [11].Кроме того, Смирнов О. П. подчеркивает важность внедрения технологий, которые обеспечивают контроль за использованием терминологии в документах [12]. Это позволит уменьшить количество ошибок и повысить качество документооборота. Также стоит отметить, что патенты, такие как патент RU 2692043 C2 [13], описывают способы автоматической проверки терминологии в электронных документах, что может стать важным инструментом для обеспечения согласованности терминологии.

Заключение

Унификация терминов в области электронного документооборота является важным шагом на пути к обеспечению прозрачности, минимизации рисков и повышению эффективности межкорпоративных коммуникаций. Реализация предложенных шагов требует координации между участниками рынка, включая финансовые учреждения, корпорации и регулирующие органы.

Список источников

1. *Садыкова А. В., Миронова Н. Г.* Цифровизация и документационное обеспечение управления в России // Youth Science Forum. — 2023. — № 5. — С. 45–52.
2. ГОСТ Р 7.0.97-2016 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Организационно-распорядительная документация. Требования к оформлению документов. — М.: Стандартинформ, 2016. — 37 с.
3. ГОСТ 34.602-89 Техническое задание на создание автоматизированной системы. — М.: Издательство стандартов, 1989. — 24 с.
4. Договор расширенного банковского сопровождения. ПАО Сбербанк. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.sberbank.ru/common/img/uploaded/files/legal_person/supportk/sgkn/extended_bank_support_agreement_963_supplier_01082022.pdf (дата обращения: 10.04.2025).
5. Газпромбанк. Договор оказания услуги банковского сопровождения. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.gazprombank.ru/corporate/page/banking-support/group-of-companies/ (дата обращения: 10.04.2025).
6. 1С:Документооборот. Редакция 3.0 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://its.1c.ru/db/doc30 (дата обращения: 10.04.2025).
7. ELMA: Администрирование. Диагностика [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.elma-bpm.ru/KB/help/Platform/content/Admin_Diagnostics_index.html (дата обращения: 10.04.2025).
8. Directum RX: Руководство администратора [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://directum.msal.ru/DrxWeb/WebHelp/ru-RU/index.html?doc_dokumenty.htm (дата обращения: 10.07.2024).
9. Яндекс SpeechKit: техническая документация [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://cloud.yandex.ru/docs/speechkit/ (дата обращения: 10.04.2025).
10. *Пашаева Г. Б.* Основные принципы и меры унификации терминов // Научный журнал. «Вестник Ленинградского государственного университета им. А. С. Пушкина» — 2015. — № 3. — С. 137–142.
11. *Иванов А. А., Петрова В. С., Сидоров Д. Е., Козлова М. Н.* Автоматизация документооборота: современные решения и перспективы. — М.: ИНФРА-М, 2022. — 215 с.
12. *Смирнов О. П.* Электронный документооборот в корпоративных системах: автореф. дис. … канд. техн. наук. — СПб., 2021. — 24 с.
13. *Поддубный М.И., Королев И.Д., Носенко С.В., Мезенцев А.С.* Способ автоматической классификации формализованных текстовых документов и авторизованных пользователей системы электронного документооборота: пат. RU 2692043 C2; заявл. 18.12.2017; опубл. 19.06.2019, Бюл. № 17..

LINGUISTIC STANDARDS IN ELECTRONIC DOCUMENT CIRCULATION (EDC): UNIFICATION OF TERMINOLOGY FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF INTERINDUSTRY COMMUNICATION

E.R. Egorova[1]
Scientific Adviser – A. N. Shovgenin[2]
MIREA - Russian Technological University (Moscow, Russia)
[1] egorova.e.r@edu.mirea.ru, [2] shovgenin@mirea.ru

Abstract

Problem Statement. In the context of rapid digital technology development, the issue of terminological unification in electronic document circulation systems becomes particularly relevant. Despite the widespread implementation of EDC in corporate practice, the lack of unified linguistic standards leads to significant difficulties in interindustry communication, errors in accounting systems, and legal risks.

Objective. To determine a comprehensive set of measures for standardizing terminology in modern EDC based on a comparative analysis of the terminological systems used in the banking sector, and to propose mechanisms for integrating unified glossaries into popular document circulation platforms.

Results. Key terminological discrepancies in the contractual documentation of leading Russian banks have been identified, algorithms for integrating unified terminological directories into the systems 1C:Document Management, ELMA, and Directum RX have been developed, and methods for automated control of terminological consistency have been proposed.

Practical Significance. The implementation of the proposed solutions will enhance the efficiency of intercorporate communications, reduce the time spent on document approval, and minimize legal risks associated with terminological ambiguity. The results of the study can be applied to standardize document circulation in regulated industries, including the banking sector and public procurement.

Keywords

Electronic document management, terminology standardization, linguistic normalization, EDMS, inter-industry communication, adaptive terminology control

УДК 004.89:81'33:629.78

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ ЯЗЫКОВЫМИ РЕСУРСАМИ КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ: ОТ БАЗ ДАННЫХ ДО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ РЕШЕНИЙ

А.В. Еров[1], **А.А. Каримов**[2]
Научный руководитель – А. Н. Шовгенин[3]
МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] erov.a.v@edu.mirea.ru, [2] karimov.a.a1@edu.mirea.ru, [3] shovgenin@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Современная космическая отрасль характеризуется высокой технической и информационной сложностью, что требует применения масштабируемых цифровых систем для обработки языковых данных, сопровождающих научную документацию, инженерные спецификации, телеметрические команды и международные коммуникации. Основная проблема заключается в эффективном управлении, актуализации и анализе языковых ресурсов в условиях мультилингвальной и многоканальной коммуникационной среды.

Цель. Целью исследования является системный анализ цифровых технологий, применяемых для управления языковыми ресурсами в космической отрасли, и выявление их потенциала в обеспечении интеллектуальной поддержки принятия решений.

Результаты. Рассмотрены основные классы технологий: реляционные и графовые базы данных, системы машинного обучения, автоматический перевод, обработка естественного языка (NLP) и системы управления знаниями. Проанализированы особенности их применения, преимущества, ограничения и области использования на различных этапах жизненного цикла космических проектов.

Практическая значимость. Представленные результаты могут быть использованы при проектировании цифровых лингвистических платформ для решения задач технической документации, международной кооперации и интеллектуального анализа информации в космической отрасли.

Ключевые слова

Языковые ресурсы, цифровые технологии, NLP, базы данных, космическая отрасль, искусственный интеллект, машинный перевод, управление знаниями.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Развитие космической отрасли в XXI веке сопровождается экспоненциальным ростом объёмов данных, включая значительный массив языковой информации — от технических спецификаций и руководств до телеметрических сообщений и международных соглашений. Эти ресурсы требуют стандартизации, поддержки и анализа в реальном времени, что невозможно без применения современных цифровых технологий.

Ключевая задача исследования заключается в системном анализе технологий, таких как реляционные и графовые базы данных, машинный перевод, обработка естественного языка (NLP) и системы управления знаниями, а также оценка их потенциала для интеллектуальной поддержки решений. В статье рассматриваются практические примеры внедрения этих технологий, сравнительный анализ их преимуществ и ограничений, а также вопросы безопасности. Результаты исследования могут быть полезны при проектировании лингвистических платформ, способных повысить эффективность управления языковыми ресурсами в космической отрасли.

Базы данных для языковых ресурсов

Первым и фундаментальным элементом цифровой инфраструктуры являются базы данных. В рамках космической отрасли реляционные базы данных активно применяются для хранения языковых корпусов, терминологических словарей и классификаторов. Их основным преимуществом является устойчивость к ошибкам, строгая структура и высокоэффективный механизм транзакционной обработки [1]. Однако реляционные модели демонстрируют

ограниченную гибкость при работе с семантически насыщенными и слабоструктурированными языковыми данными.

Графовые базы данных (например, Neo4j) предоставляют альтернативный подход к организации языковых знаний, особенно в контексте онтологических связей и семантических сетей [2]. Такие решения применяются при формализации связей между терминами, концептами и объектами в документации, а также при построении знаний на основе естественного языка. Недостатком графовых БД остаётся их более высокая сложность масштабирования и необходимость наличия специалистов в области семантического моделирования.

Машинный перевод и многоязычная интеграция

Учитывая международный характер космических проектов, автоматизация перевода текстов на различные языки становится критически важной. Современные системы нейросетевого машинного перевода (NMT), такие как Google Translate API или open-source модели на базе Transformer, позволяют оперативно обрабатывать большие массивы документации [3]. Их преимущество — адаптивность, способность к контекстному переводу и устойчивость к синтаксическим и стилистическим вариациям.

Однако такие технологии обладают и рядом ограничений. Они чувствительны к качеству обучающего корпуса, плохо работают с техническими терминами без специализированной адаптации, а также подвержены генерации синтаксически правильных, но семантически неверных конструкций [4]. В космической отрасли это может привести к критическим ошибкам, особенно при переводе командных инструкций или инженерных требований.

Обработка естественного языка (NLP) и извлечение знаний

Методы NLP становятся основным инструментом интеллектуального анализа языковых данных. Применение технологий токенизации, морфологического анализа, синтаксического и семантического парсинга позволяет автоматизировать разметку текстов, классификацию документов и извлечение фактов [5].

В контексте космической индустрии NLP-инструменты используются для автоматической категоризации технической документации, анализа несоответствий между вербальными и табличными данными, а также формирования резюме больших текстов. Особую роль играют модели на основе BERT и GPT, позволяющие проводить семантический поиск по лингвистическим базам и выполнять генерацию объяснений на естественном языке [2].

Преимущества NLP заключаются в масштабируемости и способности к самообучению, однако эти методы требуют обширных обучающих корпусов и сложной инфраструктуры для внедрения. Также существует риск некорректной интерпретации данных в условиях ограниченного контекста.

Интеллектуальная поддержка принятия решений

Одним из стратегически важных направлений является внедрение цифровых ассистентов и экспертных систем, способных интерпретировать языковые ресурсы и поддерживать принятие решений. Такие системы опираются на комбинированное использование технологий NLP, систем управления знаниями и многоагентных платформ [6].

Применение этих решений в космической отрасли включает разработку интеллектуальных систем технической поддержки операторов миссий, автоматическую проверку согласованности инструкций на разных языках и сопровождение международных переговоров с участием ИИ-интерпретаторов. Эти технологии позволяют минимизировать влияние человеческого фактора и ускоряют процессы согласования. Ограничением остаётся высокая стоимость разработки и необходимость постоянного обновления знаний.

Сравнительный анализ технологий

Для эффективного управления языковыми ресурсами в космической отрасли применяются различные цифровые технологии, каждая из которых обладает уникальными характеристиками, преимуществами и ограничениями. Выбор конкретного решения зависит от задач, масштабов проекта и требований к безопасности. В таблице 1 представлен систематизированный обзор ключевых технологий, их функциональных возможностей и областей применения. Это позволяет оценить их пригодность для решения специфических задач, таких как обработка технической документации, обеспечение многоязыковой коммуникации или поддержка принятия решений.

Таблица 1. Сравнительный анализ технологий

Технология	Преимущества	Недостатки	Область применения
Реляционные базы данных	Надежность, транзакционность	Слабая гибкость, низкая семантическая адаптивность	Хранение терминологических словарей, стандартных форматов
Графовые базы данных	Семантические связи, визуализация знаний	Сложность масштабирования, высокий порог входа	Онтологии, взаимосвязи понятий, логические схемы
Машинный перевод (NMT)	Быстрота, контекстуальность	Ошибки в терминах, требует адаптации	Перевод технических документов, международная кооперация
NLP-модели	Извлечение фактов, генерация, классификация	Требует больших корпусов, риск ошибок	Семантический анализ, резюмирование, автоматизация инструкций
Интеллектуальная поддержка принятия решений	Централизованный доступ, поддержка принятия решений	Высокая стоимость, сложность обновления	Поддержка миссий, экспертные системы

Практическая реализация и примеры

В ряде международных космических миссий уже применяется интеграция цифровых языковых систем. Например, Европейское космическое агентство (ESA) использует базы терминологий на нескольких языках с доступом через онтологические словари, что позволяет инженерам из разных стран использовать унифицированную терминологию. NASA внедряет NLP для анализа телеметрических данных и автоматической генерации технических отчётов [6].

Ещё один пример — проект Lunar Gateway, где применяется мультиязычная среда командного взаимодействия, включающая интеллектуальных переводчиков и систему контроля смысловой согласованности текстов на разных языках.

Вопросы рисков и безопасности

Использование цифровых языковых технологий в космической отрасли требует особого внимания к вопросам информационной безопасности. Внедрение внешних API, открытых моделей и облачных платформ создаёт угрозу несанкционированного доступа, утечки информации или подмены контента [7].

Особенно это критично при работе с командными инструкциями, где даже небольшое искажение формулировки может привести к нештатной ситуации. Поэтому перспективным

направлением становится развитие закрытых, сертифицированных языковых систем, основанных на верифицированных моделях ИИ.

Также важно формировать внутренние нормативы по контролю качества перевода и интерпретации текстов, а также создавать контекстные фильтры и системы верификации машинного вывода.

Заключение

Цифровые технологии играют критически важную роль в управлении языковыми ресурсами космической отрасли, обеспечивая структурирование, анализ и интерпретацию данных в условиях многоязычной среды. Реляционные и графовые базы данных формируют основу для хранения терминологии и семантических связей, машинный перевод способствует международной кооперации, а NLP и системы управления знаниями открывают новые возможности для автоматизации и поддержки принятия решений.

Однако внедрение этих технологий сопряжено с рисками, такими как угрозы безопасности и необходимость адаптации под специфические требования отрасли. Перспективными направлениями будущих исследований являются разработка защищённых и контекстно-чувствительных систем, а также создание стандартов для контроля качества лингвистических данных. Представленные в статье результаты и примеры внедрения демонстрируют высокую практическую значимость технологий и их потенциал для трансформации управления информацией в космической отрасли.

Список источников

1. *Takeda N., Nakamoto H., Yamaguchi S.* Surveys for database of space experiments // Journal of Information Processing and Management. – 2012. – Vol. 33, № 2. – P. 159-166.
2. *Lin B.* Knowledge Management System with NLP-Assisted Annotations: A Brief Survey and Outlook // arXiv. – 2022.
3. The Impact of Artificial Intelligence on Language Translation: A Review / Ya. A. Mohamed, A. Khanan, M. Bashir [et al.] // IEEE Access. – 2024. – Vol. 12. – P. 25553-25579. – DOI 10.1109/access.2024.3366802. – EDN RSIKJU.
4. *Moorkens J., Guerberof Arenas A.* Artificial intelligence, automation and the language industry // Handbook of the Language Industry. – Berlin: De Gruyter, 2024. – P. 71-98.
5. *Khurana D., Koli A., Khatter K., Singh S.* Natural language processing: state of the art, current trends and challenges // Multimedia Tools and Applications. – 2023. – Vol. 82. – P. 3713–3744.
6. *Gómez-Pérez J.M., García-Silva A., Leone R., Albani M.* Artificial Intelligence and Natural Language Processing and Understanding in Space: Four ESA Case Studies // arXiv. – 2022.
7. *Зайцева М Д., Сумина Е В.* ИНСТРУМЕНТАРИЙ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ В УПРАВЛЕНИИ МЕЖДУНАРОДНЫМ БИЗНЕСОМ // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2020. №. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/instrumentariy-tsifrovoy-ekonomiki-v-upravlenii-mezhdunarodnym-biznesom (дата обращения: 29.05.2025).

DIGITAL TECHNOLOGIES IN LANGUAGE RESOURCE MANAGEMENT FOR THE SPACE INDUSTRY: FROM DATABASES TO INTELLIGENT DECISION SUPPORT

A.V. Erov[1], **A.A. Karimov**[2]
Scientific Adviser – A. N. Shovgenin[3]
MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] erov.a.v@edu.mirea.ru, [2] karimov.a.a1@edu.mirea.ru, [3] shovgenin@mirea.ru

Abstract

The paper explores the growing need for scalable digital systems to manage language resources in the highly complex technical and informational environment of the modern space industry. Linguistic data accompany scientific documentation, engineering specifications, telemetry commands, and international communications, making their effective management critical. The study focuses on the challenges of maintaining, updating, and analyzing multilingual resources in a multichannel communication setting. It aims to provide a systematic analysis of digital technologies applied in the space sector for language resource management and to assess their potential in supporting intelligent decision-making. Key technologies examined include relational and graph databases, machine learning systems, machine translation, natural language processing (NLP), and knowledge management platforms. The paper analyzes their applications, benefits, limitations, and relevance at different stages of the space project lifecycle. The results may inform the development of digital linguistic platforms to support technical documentation processes, international collaboration, and intelligent data analysis within the space domain.

Keywords

Language resources, digital technologies, NLP, databases, space industry, artificial intelligence, machine translation, knowledge management.

УДК 378.147:004.9:62

LINGUISTIC SUPPORT FOR DIGITAL EDUCATIONAL PLATFORMS IN ENGINEERING EDUCATION

M.V. Chayko[1], **A.O. Efimova** [2]
Scientific Adviser – A. N. Shovgenin[3]
MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] chaiko.m.v@edu.mirea.ru, [2] efimova.a.o@edu.mirea.ru, [3] shovgenin@mirea.ru

Abstract

Problem Statement. The digital transformation of engineering education has become a critical component of modernizing professional training in higher education. As universities increasingly adopt online and hybrid learning environments, ensuring accessibility and effectiveness for all learners becomes a strategic priority. One of the most significant yet underexamined challenges in this process is the linguistic barrier. Non-native speakers often struggle to engage fully with digital platforms due to the complexity of engineering language, lack of adapted materials, and limited interactive support, which can hinder comprehension and academic success.

Purpose. To identify and classify key linguistic challenges encountered by students in digital engineering education and to propose original strategies and mechanisms for providing effective linguistic support within educational platforms.

Results. The study analyzes specific linguistic barriers that arise in the use of digital educational platforms within engineering education. Several core challenges were identified that hinder students' full participation in the learning process, e.g. linguistic alienation in professional engineering communication, the inability of platforms to distinguish between linguistic and conceptual difficulties, the lack of dynamic language support in simulators and virtual labs, issues caused by cross-linguistic "false friends". For each of these challenges, targeted solutions were proposed, including the development of adaptive multilingual glossaries, the integration of AI-based language analysis tools, the implementation of linguistic socialization modules, and the design of multi-level linguistic content layers.

Practical Significance. The findings can inform the design and development of linguistically responsive educational technologies, support the training of instructors working with multilingual student populations, and guide institutional policies aimed at fostering inclusivity and effectiveness in digital engineering education.

Keywords

Engineering education, linguistic support, digital platforms, multilingual learning, digital transformation.

Аннотация на русском языке приведена в конце статьи.

Introduction

The digital transformation of education has profoundly reshaped the learning landscape over the past century, particularly within the field of engineering. The adoption of online and hybrid learning models offers numerous opportunities for flexibility and innovation, but it also presents significant challenges. One of the most critical and underexplored issues is the linguistic barrier faced by students, especially non-native speakers, when navigating digital learning environments. Engineering education relies heavily on complex, precise, and discipline-specific language, making it particularly demanding for learners who are still developing proficiency in the language of instruction. This article addresses the significance of this issue and aims to investigate the specific linguistic challenges encountered by engineering students in digital contexts. Furthermore, we explore strategies and technological tools that can offer effective linguistic support and enhance accessibility, comprehension, and engagement in digital engineering education.

Linguistic Challenges in the Digitalization of Engineering Education: Causes and Solutions

Engineering is a field closely related to language. Why? Because it requires not only an understanding of technical terminology but also the ability to interpret and apply instructions. So, professionals should read complex documentation and engage with problem-solving discourse [1]. These linguistic demands are compounded in digital environments, where students often operate independently and must extract meaning from materials without contextual classroom's support. For example, in massive open online courses (MOOCs) on platforms such as edX, Coursera, or FutureLearn, engineering tasks and lectures are typically delivered in English, often by native

speakers. Non-native students face difficulty not only in understanding advanced concepts but also in interpreting academic tone, idiomatic expressions, and implicit expectations in assignment instructions [2].

One other significant problem is the cognitive overload experienced by students. They are simultaneously trying to learn new content and interpret unfamiliar language. For instance, a non-native English-speaking student in a virtual mechanical engineering lab using PhET Simulations or Labster may struggle to understand compound conditionals or modal verbs in procedural descriptions (e.g., "you might need to calibrate the system before proceeding"), which affects both comprehension and motivation [3]. Moreover, many digital educational platforms are developed with a monolingual (often Anglophone) audience in mind. This often results in inadequate translation or poor localization of content. In platforms such as Moodle or Blackboard, automatic translations of quizzes, glossaries, or technical manuals often result in misleading phrasing. A term like "load resistance" might be translated literally, causing confusion about its functional role in a circuit [4]. But we think you all ever thought about this issues. So, we want to highlight problems that you maybe didn't face before or didn't attach importance to. In this section, we outline several unique linguistic challenges that are currently underserved by existing solutions and propose our own approaches to addressing them.

Linguistic Alienation in Professional Engineering Communication

Many IT students, even when they understand technical content, feel insecure using professional engineering language. This happens especially in online forums, peer-review systems (like in GitHub classrooms or LMS-based discussions), and collaborative tools like Microsoft Teams or Slack. Students may understand the concept behind Ohm's Law, for instance, but lack confidence in phrasing their explanation formally during a peer evaluation or virtual group project. This linguistic insecurity leads to reduced participation, underdeveloped communication skills, and missed opportunities for deeper learning through dialogue [5].

We suggest developing a "linguistic socialization module" — a system of short, contextual communication scenarios and dialog simulations embedded directly into digital learning platforms. For example, during a simulated group design project in Tinkercad or AutoCAD, students could practice common engineering phrases such as "According to our load calculations…" or "We might consider optimizing the current flow…". This module can use AI to provide real-time feedback on professional tone, vocabulary accuracy, and stylistic appropriateness. The system could also provide interactive rewriting tools that offer alternative phrasing based on real-world technical documentation [6].

Inability to Distinguish Between Linguistic and Content-Based Difficulties

Current educational platforms are not equipped to differentiate whether a student's struggle with a task stems from linguistic issues or conceptual misunderstandings. As a result, students receive generic support, such as automated hints or replays of instructional videos, which may not address the root cause of their problem [7]. This issue is prominent in virtual labs, coding platforms like MATLAB Online and even Unity-based engineering simulations. For example, a student might submit incorrect code in a digital assignment, not because they misunderstand the programming logic, but because they misunderstood the instruction "iterate through the array in reverse".

We offer the integration of diagnostic tools that track and identify the nature of student difficulties. These tools will have to analyze language usage patterns (e.g., repeated misinterpretation of passive structures or conditional sentences) and determine whether confusion arises from grammar, vocabulary, or content comprehension. Such tools could be implemented as AI-driven pop-ups that appear in interactive assessments or as analytics dashboards for instructors. For example, "Student X took unusually long to respond to terminology-heavy questions" or "misinterpreted modal verbs in 3 of 5 instructions". This allows for targeted support such as glossary suggestions or task reformulations rather than a one-size-fits-all approach [8].

Lack of Dynamic Linguistic Support in Engineering Simulators and Virtual Labs

Students working in virtual labs or technical simulations often encounter unfamiliar language in instructions or system descriptions, without the possibility of accessing immediate clarification. This is evident in platforms like SolidWorks simulations, ANSYS, and Simulink, where complex UI elements and procedural text are embedded in English, often using technical shorthand or abbreviations. Static instructional text and universal explanations are insufficient for non-native speakers, especially when multiple layers of instruction (e.g., nested procedures or conditional logic) are involved [9].

We recommend embedding real-time, interactive language support features into simulation environments. For example, hover-over pop-up windows in LabVIEW or COMSOL that display definitions, visual aids, and usage examples. We mean examples, when users pause on a term like "flux density" or "boundary condition". These features could include contextual tooltips, simplified, rephrased instructions, visual metaphors (e.g., animations of concepts), audio or bilingual options for explanation. Such integrated support also can help reduce linguistic friction and improve comprehension during active learning. It will be actual specially for international students in high-stakes environments [10].

False Friends and Cross-Linguistic Interference in Technical Terminology

Many learners face confusion due to "false friends" (words that appear similar in their native language and English but have different meanings). In engineering and IT, this can lead to serious misconceptions. For instance, Spanish-speaking students might confuse "actual" (real) with "actual" (current) in Spanish. Or Russian speakers may misinterpret "eventually" as "possibly" instead of "in the end". These misinterpretations are frequent in documentation-heavy platforms like GitHub, API documentation, or stack-based troubleshooting forums, where instructions and responses rely on nuanced language [11].

We propose building an adaptive multilingual glossary that flags potentially misleading terms and includes contrastive explanations in the student's native language. For instance: "fabric (in English technical usage: a structure or network; NOT a factory)". This glossary could be made context-sensitive, highlighting terms in IDE environments like Arduino, VS Code, or Replit, and showing examples from real engineering discourse or documentation [12].

Conclusion

As digital platforms become more central to engineering education, the importance of linguistic support cannot be overstated. Language should be seen not as a barrier but as a bridge to deeper understanding and broader participation. By implementing thoughtful, inclusive, and technologically advanced linguistic support systems, digital educational platforms can significantly enhance learning outcomes and ensure that all students, regardless of linguistic background, have the opportunity to succeed.

Educational institutions, platform developers, and policy makers must collaborate to embed linguistic awareness into the core of educational design. Only by doing so can we hope to create a truly inclusive digital learning environment that prepares engineers for the challenges of the modern world.

List of references

1. *Swales, J. M.* (1990). Genre Analysis: English in Academic and Research Settings. Cambridge University Press.
2. *Littlejohn, A., & Pegler, C.* (2007). Preparing for Blended E-learning. Routledge.
3. Paas, F., Renkl, A., & Sweller, J. (2003). Cognitive Load Theory and Instructional Design: Recent Developments. Educational Psychologist, 38(1), 1–4.
4. *Cronin, M.* (2010). Translation in the Digital Age. Routledge.
5. *Lave, J., & Wenger, E. (1991). Situated Learning: Legitimate Peripheral Participation. Cambridge University Press.*
6. *Warschauer, M., & Healey, D.* (1998). Computers and Language Learning: An Overview. Language Teaching, 31(2), 57-71.
7. *Cummins, J.* (2000). Language, Power and Pedagogy: Bilingual Children in the Crossfire. Multilingual Matters.
8. *Wang, Y., & Vásquez, C.* (2012). The Effect of Formative Feedback on ESL Students' Writing: An Automated Approach. Computers & Education, 59(4), 1309-1318.

9. *de la Fuente, M. J., & Fuentes, M.* (2014). Virtual Laboratories in Engineering Education: An Overview. Computers & Education, 72, 146-158.
10. *Chapelle, C. A.* (2003). English Language Learning and Technology. John Benjamins Publishing.
11. *Ringbom, H.* (2007). Cross-linguistic Similarity in Foreign Language Learning. Multilingual Matters.
12. *Jiménez-Crespo, M. A.* (2013). Translation and Web Localization. Routledge.
13. *Hew, K. F., & Cheung, W. S.* (2014). Students' and Instructors' Use of Massive Open Online Courses (MOOCs): Motivations and Challenges. Educational Research Review, 12, 45-58.

ЛИНГВИСТИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПЛАТФОРМ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

М.В. Чайко[1], **А.О. Ефимова**[2]
Научный руководитель – А. Н. Шовгенин[3]
МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] chaiko.m.v@edu.mirea.ru, [2] efimova.a.o@edu.mirea.ru, [3] shovgenin@mirea.ru

Аннотация

Актуальность. Цифровая трансформация инженерного образования стала ключевым элементом модернизации профессиональной подготовки в высшей школе. По мере того как университеты активно внедряют онлайн- и гибридные форматы обучения, обеспечение доступности и эффективности образовательного процесса для всех студентов становится стратегическим приоритетом. Одной из наиболее значимых, но недостаточно изученных проблем в этом контексте является языковой барьер. Студенты, для которых язык преподавания не является родным, часто сталкиваются с трудностями при работе с цифровыми платформами из-за сложности технической терминологии, отсутствия адаптированных материалов и ограниченной интерактивной поддержки, что может негативно влиять на понимание материала и академическую успеваемость.

Цель исследования. Выявление и классификация основных языковых трудностей, с которыми сталкиваются студенты в цифровом инженерном образовании, а также разработка оригинальных стратегий и механизмов эффективной языковой поддержки на образовательных платформах**.**

Результаты. В исследовании проанализированы конкретные языковые барьеры, возникающие при использовании цифровых образовательных платформ в инженерном обучении. Были выделены ключевые проблемы, препятствующие полноценному вовлечению студентов в учебный процесс, например, языковая отчужденность в профессиональной коммуникации, неспособность платформ различать языковые и концептуальные трудности, отсутствие динамической языковой поддержки в симуляторах и виртуальных лабораториях, а также ошибки, вызванные «ложными друзьями переводчика». Для каждой из этих проблем предложены адресные решения, включая разработку адаптивных многоязычных глоссариев, интеграцию инструментов анализа языка на основе искусственного интеллекта, внедрение модулей языковой социализации и создание многоуровневых лингвистических слоев контента.

Практическая значимость. Результаты исследования могут быть использованы при проектировании и разработке образовательных технологий с учетом языковых потребностей студентов, в подготовке преподавателей, работающих в многоязычной среде, а также при формировании образовательлной политики, направленной на повышение инклюзивности и эффективности цифрового инженерного образования.

Ключевые слова:

Инженерное образование, языковая поддержка, цифровые платформы, многоязычное обучение, цифровая трансформация.

УДК 38

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА (ИИ) В ЛИНГВИСТИЧЕСКОЙ ЛОГИСТИКЕ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ: ВОЗМОЖНОСТИ И РИСКИ

В.В. Зуева
МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
zueva_v@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. В современном мире отсутствие четкой теоретико-методологической базы для интеграции инструментов искусственного интеллекта (ИИ) в лингвистическую логистику инженерного образования создает риски ошибок в оценке языковых компетенций и снижения мотивации к самостоятельному обучению. Требуется определение границ применения ИИ-инструментов, чтобы избежать девальвации роли преподавателя и приоритезировать развитие когнитивных навыков высокого уровня.

Цель. Исследовать возможности и риски использования инструментов искусственного интеллекта (ИИ) в лингвистической логистике инженерного образования, а также предложить рекомендации по их эффективному и этичному применению, обеспечивающему повышение качества обучения без снижения мотивации к самостоятельному развитию и девальвации роли преподавателя.

Результаты. Проведен анализ текущих возможностей и рисков использования ИИ в лингвистической логистике инженерного образования.

Практическая значимость. Полученные результаты обеспечат разработку рекомендаций по этичному применению ИИ и его эффективного внедрения в образовательные процессы студентов инженерных ВУЗов.

Ключевые слова

Искусственный интеллект (ИИ), лингвистическая логистика, инженерное образование, инструменты ИИ, эффективность обучения

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Интеграция систем искусственного интеллекта (ИИ) в образовательную парадигму является насущной потребностью современного высшего образования. Однако эмпирическое внедрение ИИ в лингвистическую логистику инженерного образования, в отсутствие консолидированной теоретико-методологической основы, сопряжено с рядом потенциальных рисков. В частности, вероятны систематические погрешности в оценке лингвистических компетенций обучающихся и снижение внутренней мотивации к автономному обучению.

Необходимо осуществить верификацию границ применимости ИИ-инструментов с целью минимизации риска девальвации роли профессорско-преподавательского состава и акцентирования значимости развития высокоуровневых когнитивных функций (ВКФ) у студентов инженерных специальностей.

Задача - анализ потенциала и угроз, ассоциированных с применением технологий ИИ в данном контексте, а также на разработка практических рекомендаций, обеспечивающих эффективное и этически обоснованное использование инструментов ИИ. Предлагаемые рекомендации ориентированы на оптимизацию качества образовательного процесса, поддержание высокого уровня учебной мотивации и сохранение ключевой роли преподавателя в формировании профессиональных компетенций.

Результаты анализа позволят сформулировать стратегические рекомендации для внедрения систем ИИ в образовательную среду инженерных ВУЗов, обеспечивая практическую значимость исследования.

Возможности и риски использования инструментов искусственного интеллекта (ИИ) в лингвистической логистике инженерного образования.

В современном мире наблюдается ярко выраженная тенденция к использованию термина, который можно считать отправной точкой или базовым элементом в формировании названий и концепций, находящихся на пике популярности. В этом контексте, пристального внимания заслуживает такая междисциплинарная область, как лингвистическая логистика. Она представляет собой симбиоз лингвистических методологий и принципов логистики, направленный на достижение оптимальной организации и управления языковыми процессами в самых разнообразных сферах человеческой деятельности.

Лингвистическая логистика в инженерном образовании — это современная междисциплинарная область, которая объединяет принципы лингвистики и логистики для оптимизации языковых процессов в образовательной среде. В условиях глобализации и роста многоязычных образовательных программ, это направление становится всё более актуальным.

Основные аспекты лингвистической логистики в области инженерного образования включают:

1. Управление языковыми ресурсами: Формирование и поддержание систем, которые эффективно управляют языковыми данными в образовательных учреждениях. Это обеспечивает доступ к качественным языковым материалам и инструментам для всех участников учебного процесса.
2. Оптимизация коммуникационных потоков: Разработка методов, направленных на повышение качества и скорости обмена информацией между студентами, преподавателями и администрацией, что способствует более продуктивному обучению и взаимодействию.
3. Стратегии перевода и локализации: Создание подходов, позволяющих адаптировать учебные материалы для студентов из разных культурных и языковых контекстов, обеспечивая их доступность и понимание.
4. Терминологические базы данных: Разработка и поддержка баз данных, которые стандартизируют и точно определяют использование технической и специализированной терминологии в образовательных и профессиональных контекстах.
5. Анализ лингвистических аспектов: Изучение и совершенствование языковых аспектов образовательных процессов с целью устранения языковых барьеров и улучшения взаимопонимания.

Цель лингвистической логистики в инженерном образовании заключается в повышении эффективности коммуникации, минимизации языковых барьеров и оптимизации использования языковых ресурсов. Это способствует более эффективному обучению и лучшей подготовке инженеров к работе в глобальной и мультикультурной среде.

В условиях глобализации инженерные проекты все чаще реализуются международными командами, а продукты и услуги ориентированы на мировой рынок. Инженеры, владеющие принципами лингвистической логистики, получают конкурентное преимущество, поскольку они могут: успешно взаимодействовать с иностранными партнерами и заказчиками, разрабатывать продукты и услуги, адаптированные к различным культурным и языковым контекстам, эффективно управлять информацией и знаниями в многоязычной среде, повышать эффективность работы инженерных команд и компаний.

Акселерация прогресса в области искусственного интеллекта (ИИ) и, как следствие, генерация ИИ-инструментов, характеризующихся оперативной интеграцией в профессиональную деятельность специалистов различного профиля, обусловили интенсификацию публикационной активности в сфере педагогики и методики. Данная активизация исследований и разработок фокусируется на проблематике применения ИИ-инструментов в контексте образовательного процесса.

В контексте глобальной цифровой трансформации высшего образования, в последние годы наблюдается экспоненциальный рост интереса и внедрения инструментов, основанных

на принципах искусственного интеллекта (ИИ), в процесс обучения английскому языку среди студенческой аудитории технических высших учебных заведений. Данная тенденция обусловлена потенциалом ИИ-технологий в обеспечении высокоперсонализированного и адаптивного образовательного опыта, способного учитывать индивидуальные потребности, темп обучения и исходный уровень языковой компетенции каждого студента.

Разнообразные ИИ-инструменты, включающие интерактивные мобильные приложения, виртуальные ассистенты (чат-боты) и специализированные онлайн-платформы для изучения иностранных языков, предоставляют студентам возможности для комплексного развития всех ключевых языковых навыков, а именно: аудирования (восприятия речи на слух), говорения (устной коммуникации), чтения (понимания письменного текста) и письма (письменной коммуникации). Применение алгоритмов машинного обучения позволяет осуществлять детальный анализ допущенных ошибок в языковых упражнениях и предоставлять студентам персонализированные рекомендации по их устранению, что, в свою очередь, существенно ускоряет процесс освоения грамматических, лексических и фонетических аспектов английского языка.

Более того, интеграция ИИ в процесс обучения способствует развитию специфических навыков владения техническим английским языком, что является критически важным для студентов, ориентированных на профессиональную деятельность в международном научно-техническом пространстве. Адаптированные под специфику технических дисциплин ИИ-инструменты позволяют эффективно осваивать терминологию, необходимую для понимания и разработки технической документации, участия в международных конференциях и ведения профессиональной коммуникации с зарубежными коллегами. В конечном итоге, использование ИИ-технологий обеспечивает повышение эффективности и вовлеченности студентов в процесс изучения английского языка, органично интегрируя образовательную деятельность в их повседневную жизнь и способствуя формированию устойчивой мотивации к дальнейшему совершенствованию языковых навыков.

В образовательной парадигме изучения иностранных языков, в частности английского, отмечается возрастающая интеграция систем искусственного интеллекта (ИИ). Применение ИИ-алгоритмов направлено на:

1. Автоматизированную оценку и анализ лингвистических компетенций обучающихся. ИИ-системы, обладая возможностями обработки естественного языка (NLP), осуществляют автоматизированную экспертизу письменных и устных работ, идентифицируя лингвистические ошибки, анализируя фонологические характеристики речи (произношение, интонация) и генерируя персонализированные рекомендации для оптимизации языковых навыков. Это способствует повышению объективности и валидности оценивания, а также обеспечивает конструктивную обратную связь, оптимизирующую траекторию обучения.

2. Использование conversational agents (чат-ботов) для интерактивной практики устной речи. Чат-боты, реализуемые на базе ИИ, выступают в качестве интерактивных партнеров для симуляции коммуникативных ситуаций. Студенты получают возможность практиковать речевые навыки в контролируемой среде, совершенствуя грамматическую и лексическую компетенцию в режиме реального времени. Интерактивное взаимодействие с чат-ботами обеспечивает контекстуализацию языковых знаний и создает комфортные условия для развития коммуникативной беглости.

3. Внедрение виртуальных ассистентов для фонологической коррекции и совершенствования произношения. Применение специализированных программных и аппаратных средств с интегрированными алгоритмами ИИ обеспечивает возможность тренировки просодических характеристик речи (произношение, интонация) с получением немедленной обратной связи. Это позволяет повысить акустическую точность речи и способствует формированию более высокого уровня фонологической компетенции.

Виртуальные ассистенты предоставляют возможность индивидуализации учебного процесса и адресного устранения дефектов произношения.

4. Использование парадигмы машинного обучения (МО) в контексте обучения английскому языку демонстрирует потенциал для оптимизации процесса развития навыков письменной речи. Внедрение алгоритмов МО позволяет автоматизировать анализ письменных работ обучающихся, осуществляя идентификацию грамматических, синтаксических и стилистических ошибок. На основе выявленных паттернов неточностей система предоставляет валидированные альтернативные варианты и формирует структурированную обратную связь, направленную на коррекцию и совершенствование текста. Данный подход снижает когнитивную нагрузку на преподавателя, автоматизируя рутинные задачи коррекции, и одновременно предоставляет обучающимся возможность самостоятельной работы над улучшением качества письма на основе оперативной и объективной оценки.

5. Интеграция технологий искусственного интеллекта (ИИ) обеспечивает персонализацию образовательной траектории, принимая во внимание индивидуальные когнитивные особенности и потребности каждого обучающегося. Алгоритмы МО позволяют адаптировать содержание учебного материала к индивидуальному уровню компетенции и темпу усвоения, оптимизируя подбор заданий и учебных ресурсов. Данный подход способствует повышению эффективности усвоения материала и, как следствие, увеличению внутренней мотивации к изучению языка.

6. Кроме того, применение ИИ в лингводидактике расширяет доступность образовательных ресурсов для различных категорий пользователей. Онлайн-платформы, реализующие функциональность чат-ботов и виртуальных ассистентов, обеспечивают возможность получения образования вне зависимости от географического расположения, временных рамок и социально-экономического статуса обучающегося. Таким образом, технологии ИИ оказывают существенное влияние на глобализацию образовательного процесса и делают обучение языкам более инклюзивным.

Рассматривая экспоненциальный рост потенциала искусственного интеллекта (ИИ) в различных доменах, необходимо учитывать потенциальные риски, связанные с его интеграцией в образовательную систему. Широкое применение ИИ в образовании может индуцировать ряд негативных эффектов, требующих проспективного анализа и разработки стратегий митигации.

В числе основных рисков, ассоциирующихся с применением ИИ в образовательном процессе, выделяется возможность редукции когнитивных функций, исполнительских навыков и креативности у обучающихся. Чрезмерная зависимость от ИИ-ассистированных решений может привести к снижению когнитивной нагрузки, необходимой для самостоятельного решения проблем и консолидации знаний. Дополнительно, наблюдается потенциальное снижение уровня непосредственного взаимодействия между преподавателем и обучающимся, что является критически важным фактором для персонализированного обучения и индивидуальной поддержки.

Автоматизация ИИ таких задач, как выполнение домашних заданий, перевод текстов, генерация эссе и предоставление ответов на вопросы, способна привести к ослаблению фундаментальных навыков и компетенций, необходимых для эффективного обучения. В данном контексте, возрастает роль преподавателя как квалифицированного ментора, направляющего студентов к критическому и осознанному применению инструментов ИИ в образовательных целях.

В области лингвистики и освоения иностранных языков, ИИ-платформы могут способствовать повышению вовлеченности и мотивации к обучению. Однако, следует учитывать, что изолированное использование ИИ не гарантирует полноценного усвоения языковых навыков. Оптимальной стратегией является интеграция ИИ в качестве комплементарного инструмента к традиционным методикам обучения или как ресурса для

самостоятельной работы вне аудиторных занятий. Эффективность ИИ в формировании глубокого лингвистического знания и понимания остается предметом дискуссии. ИИ-системы, ограниченные в объеме знаний и ресурсов, могут оказаться неадекватными для изучения социокультурных аспектов языка.

Коммуникация в естественном языке представляет собой сложный, интерактивный процесс, превосходящий возможности современных ИИ-алгоритмов. Несмотря на способность ИИ к распознаванию и интерпретации простых языковых конструкций, он ограничен буквальным пониманием и шаблонными структурами, демонстрируя дефицит в восприятии эмоциональной окраски, интонации и имплицитного смысла. Чат-боты на базе ИИ способны поддерживать лишь элементарный диалог, ограниченный заданным набором ключевых слов. Они могут предоставлять дефиниции терминов, но демонстрируют недостаток понимания их коннотативного значения в более широком контексте.

Таким образом, ИИ лишен способности к креативному использованию языка, импровизации и остроумию. ИИ не обеспечивает безусловной лингвистической точности, поскольку прагматически когерентные тексты в значительной степени зависят от контекста. Контекст, в свою очередь, включает в себя комплекс социокультурных факторов, которые ИИ-системы не всегда способны адекватно интерпретировать. В силу этих ограничений, ИИ не обеспечивает полной адекватности и соответствия языковым нормам и социокультурным особенностям.

Рекомендации

Интеграция систем искусственного интеллекта (ИИ) в образовательную парадигму инженерных дисциплин, в частности, в контексте лингвистической логистики, представляет собой перспективное направление для оптимизации образовательного процесса. Однако, наряду с потенциальными преимуществами, внедрение ИИ сопряжено с рисками, включая снижение внутренней мотивации обучающихся к автономному обучению и потенциальное снижение значимости роли преподавателя как ключевого агента образовательного процесса. На основе анализа существующих образовательных практик и доступных технологических решений предлагается ряд рекомендаций, направленных на обеспечение эффективного и этически обоснованного применения ИИ-инструментов.

Для достижения качественно нового уровня образования в современном мире необходимо осуществить комплексную трансформацию образовательной парадигмы, ключевым элементом которой является интеграция искусственного интеллекта (ИИ). В этой связи представляется целесообразной разработка и последующая имплементация гибких и адаптивных учебных программ, в которых ИИ-инструменты будут играть роль катализатора формирования персонализированных образовательных траекторий для каждого студента. Такой подход позволит существенно оптимизировать процесс усвоения знаний, учитывая индивидуальные когнитивные особенности, стили обучения, темп восприятия информации и образовательные потребности обучающихся, создавая тем самым максимально комфортную и эффективную среду для развития их потенциала.

Вместе с тем успешная интеграция ИИ в образовательный процесс невозможна без всесторонней подготовки преподавательского состава. Необходимо обеспечить педагогам широкий доступ к специализированным программам повышения квалификации, интенсивным тренингам и семинарам, посвящены эффективному и грамотному применению ИИ в педагогической практике. Это позволит не только освоить новые инструменты и методы, но и поддержать их важнейшую роль как менторов, наставников и организаторов образовательного процесса, обеспечивая гармоничное сочетание передовых технологических достижений и традиционных, проверенных временем педагогических подходов. Преподаватели должны быть готовы к тому, чтобы умело направлять и координировать работу студентов с ИИ-инструментами, развивая их критическое мышление и навыки самостоятельного обучения.

При внедрении ИИ в образование первостепенное значение приобретает этический аспект. Необходимо установить четкие, прозрачные и всеобъемлющие этические принципы и регламенты, которые будут регулировать применение ИИ в образовательном контексте. Это включает в себя разработку и внедрение нормативного регулирования алгоритмов обработки данных, обеспечивающего надежную защиту персональных данных студентов и предотвращающего любые формы дискриминации или предвзятости при оценке академической успеваемости. Гарантирование справедливости, прозрачности и конфиденциальности является залогом доверия к ИИ-системам со стороны студентов и преподавателей.

С целью активизации учебного процесса и повышения вовлеченности студентов в обучение, настоятельно рекомендуется разработка и внедрение интерактивных образовательных платформ, основанных на передовых технологиях ИИ. Эти платформы должны стимулировать активное участие студентов в образовательном процессе, предоставляя им возможности для интерактивного взаимодействия с учебным материалом, проведения экспериментов, моделирования различных ситуаций и участия в групповых проектах. Такие платформы должны способствовать развитию критического мышления, когнитивных навыков высокого порядка, таких как анализ, синтез и оценка информации, а также формированию внутренней мотивации к автономному, непрерывному обучению и саморазвитию.

Наконец, для обеспечения постоянного совершенствования и оптимизации ИИ-систем в образовании, необходимо создать эффективные и многоканальные механизмы обратной связи. Эти механизмы должны обеспечивать активное и конструктивное участие студентов в оценке и совершенствовании ИИ-инструментов и платформ. Регулярный сбор и анализ отзывов студентов позволит выявлять слабые места и области для улучшения, а также адаптировать образовательные технологии к изменяющимся потребностям и предпочтениям обучающихся. Такой подход не только позволит оптимизировать образовательные технологии, но и значительно повысит уровень доверия к ним со стороны пользователей, обеспечивая их активное и осознанное использование.

В заключение, интеграция ИИ в лингвистическую логистику инженерного образования должна быть направлена на повышение эффективности образовательного процесса, сохраняя при этом внутреннюю мотивацию к саморазвитию и уважение к роли преподавателя. Предложенные рекомендации направлены на обеспечение этически выверенного и эффективного применения ИИ-инструментов, способствуя достижению образовательных целей в условиях динамично развивающейся цифровой среды.

Заключение

В заключение, исследование подчеркивает необходимость осторожной и продуманной интеграции инструментов ИИ в лингвистическую логистику инженерного образования. Подчеркивается важность разработки теоретико-методологической базы, определяющей границы применения ИИ, а также необходимость подготовки преподавателей к работе с новыми инструментами. Ключевыми аспектами являются создание персонализированных образовательных траекторий, развитие критического мышления студентов, обеспечение защиты данных и внедрение этических принципов использования ИИ. В конечном итоге, успешное внедрение ИИ в образование требует сбалансированного подхода, сочетающего технологические инновации с традиционными педагогическими методами, для повышения качества обучения без снижения мотивации и девальвации роли преподавателя.

Список источников

1. *Сысоев П.В.* Искусственный интеллект в образовании: осведомленность, готовность и практика применения преподавателями высшей школы технологий искусственного интеллекта в профессиональной деятельности // Высшее образование в России. 2023. Т. 32. № 10. С. 9-33.

2. *Булаева, М.Н.* Методические рекомендации применения цифровых платформ в профессиональных образовательных организациях обучения / М.Н. Булаева, О.Н. Филатова, П.В. Канатьев // Проблемы современного педагогического образования. – 2022. – №72(4). – С. 34-36
3. *Филатова, О.Н.* Применение нейросетей в профессиональном образовании / О.Н. Филатова, М.Н. Булаева, А.В. Гущин // Проблемы современного педагогического образования. – 2022. – №77-3. – С.243-245
4. *Гущин, А.В*. Особенности реализации информационной стратегии высшей образовательной организации / А.В. Гущин, О.И. Ваганова, О.Н. Филатова // Известия Балтийской государственной академии рыбопромыслового флота. – 2021. – № 3 (57). – С. 47-51.
5. *Кудряшова*, С.В. Роль искусственного интеллекта в языковом образовании / С.В. Кудряшова // Вестник ПНИПУ. Проблемы языкознания и педагогики. – 2024. – № 3. – С. 68–80.
6. *Нижельская Ю.А.* Использование искусственного интеллекта для изучения английского языка / Международный научный журнал «ВЕСТНИК НАУКИ» – 2024 г.– № 6 (75) Том 2– С.1258-1264
7. *Костюнина С.А*. Роль искусственного интеллекта в изучении иностранных языков /Международный научный журнал «ВЕСТНИК НАУКИ.» – 2022г. – № 2 (47) Т.1–С. 38-42
8. *Schmidt T., Strasser T*. Artificial intelligence in foreign language and teaching: A call for intelligent practice. Anglistik. International journal of English studies, 2022, no. 33 (1), pp. 165–184
9. *Черкасова Е.А*. Дидактические и методические функции чат-ботов в обучении студентов нелингвистических направлений подготовке иноязычной грамматике // Вестник Тамбовского университета. Серия: Гуманитарные науки. 2023. Т. 28. № 6. С. 1443-1451.
10. Сысоев П.В., Филатов Е.М. Методика развития иноязычных речевых умений студентов на основе практики с чат-ботом // Перспективы науки и образования. 2023. № 3 (63). С. 201-218.

THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AI) TOOLS IN LINGUISTIC LOGISTICS OF ENGINEERING EDUCATION: OPPORTUNITIES AND RISKS

V.V.Zueva
MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
Zueva_v@mirea.ru

Abstract

In today's world, the lack of a clear theoretical and methodological basis for the integration of artificial intelligence (AI) tools into the linguistic logistics of engineering education creates risks of errors in the assessment of language competencies and decreased motivation for independent learning. A definition of the boundaries of AI tools is required to avoid devaluing the role of the teacher and to prioritize the development of high-level cognitive skills. To investigate the opportunities and risks of using artificial intelligence (AI) tools in the linguistic logistics of engineering education, and to offer recommendations for their effective and ethical application, ensuring the improvement of learning quality without reducing motivation for independent development and devaluing the role of the teacher. The current opportunities and risks of using AI in linguistic logistics of engineering education were analyzed. The obtained results will provide the development of recommendations on the ethical application of AI and its effective implementation in the educational processes of engineering students.

Keywords

Artificial intelligence (AI), linguistic logistics, engineering education, AI tools, learning efficiency.

УДК 81

ЛИНГВОЛОГИСТИЧЕСКИЕ СТРАТЕГИИ ПРЕПОДАВАНИЯ РКИ В ТЕХНИЧЕСКОМ ОБРАЗОВАНИИ: ОПЫТ ПОДГОТОВКИ ЗАРУБЕЖНЫХ СТУДЕНТОВ ДЛЯ ОТРАСЛИ КОСМОСА

Т.И. Каличкина
МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
kalichkina@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. В условиях интернационализации космической отрасли особую актуальность приобретает разработка эффективных стратегий обучения русскому языку как иностранному (РКИ) для иностранных обучающихся инженерных специальностей. Общепринятые методы преподавания часто не учитывают специфику профессиональной коммуникации в высокотехнологичных сферах, что определяет необходимость в адаптированных лингводидактических подходах.

Цель. Систематизировать лингвологистические стратегии профессионально-ориентированного обучения РКИ, направленные на формирование коммуникативной компетенции в сфере космических технологий, и проанализировать опыт их применения на практике.

Результаты. На основе анализа методологических подходов (когнитивно-дискурсивного, компетентностного) выявлены эффективные механизмы интеграции языкового и профессионального компонентов. Особое внимание уделено интерактивным технологиям, апробированным в проекте «Литературные гостиные» Государственного института русского языка им. А.С. Пушкина (далее – Институт Пушкина), где во время творческих встреч с космонавтами происходит развитие языковых навыков и адаптация в профессиональной среде.

Практическая значимость. Разработанные методические принципы могут быть применены в учебных программах для технических вузов, учебных пособиях, а также при организации профессионально-ориентированных языковых курсов для иностранных специалистов космической отрасли.

Ключевые слова

Профессионально-ориентированное обучение, РКИ, лингвологистика, космическая отрасль, инженерное образование, коммуникативная компетенция, технический дискурс, интерактивные методы, терминологическая подготовка, межкультурная коммуникация.

A brief version in English is given at the end of the article.

Введение

Современный этап развития международного сотрудничества в космической сфере характеризуется интенсивными интеграционными процессами, обусловливающими необходимость формирования у иностранных специалистов не только глубоких профессиональных знаний, но и высокого уровня владения русским языком как средством профессиональной коммуникации. В данном контексте особую актуальность приобретает разработка специализированных лингвологистических стратегий обучения РКИ, учитывающих как лингвистические, так и экстралингвистические аспекты подготовки кадров для высокотехнологичных отраслей.

Следует отметить, что традиционные методы преподавания РКИ, фокусирующиеся преимущественно на общеязыковой подготовке, не в полной мере отвечают потребностям инженерного образования, требующего формирования узкоспециализированных коммуникативных навыков. В связи с этим возникает необходимость внедрения инновационных подходов, основанных на интеграции языкового и профессионального компонентов, что предполагает разработку специализированных учебных программ, включающих: моделирование профессионально-ориентированных коммуникативных ситуаций; использование аутентичных материалов технического характера; применение интерактивных методов обучения, способствующих погружению в профессиональную среду.

Особый интерес в данном аспекте представляет опыт реализации проекта «Литературные гостиные» Института Пушкина, где посредством креативных

образовательных технологий осуществляется эффективное сочетание языковой подготовки с профессиональной социализацией иностранных студентов.

Целью настоящего исследования является систематизация лингвологистических стратегий обучения РКИ в инженерном образовании и обобщение практического опыта их применения в процессе подготовки иностранных специалистов для космической отрасли.

Теоретические основы лингвологистического подхода в обучении РКИ

Лингвологистика как научное направление, находящееся на стыке лингвистики и логистики образовательного процесса, предполагает системное управление языковым обучением с учетом конкретных профессиональных потребностей обучающихся. Применительно к преподаванию РКИ в инженерном образовании данный подход реализуется через:

- дифференциацию учебного материала с учетом уровней владения языком и профессиональной специализации;
- оптимизацию процесса усвоения терминологии посредством применения когнитивных стратегий;
- моделирование профессионального дискурса через создание искусственной языковой среды.

Анализ современных исследований [1, 2] свидетельствует о возрастающей роли компетентностного подхода в обучении РКИ, предполагающего формирование не только языковых, но и профессионально-значимых навыков.

Специфика обучения РКИ для космической отрасли

Подготовка иностранных студентов для работы в космической отрасли сопряжена с рядом лингводидактических сложностей, обусловленных:

- высокой степенью терминологической насыщенности учебных материалов;
- необходимостью понимания сложных технических текстов;
- потребностью в освоении норм профессионального общения.

Эффективным решением данных проблем является применение контекстного обучения, при котором языковые явления усваиваются не изолированно, а в рамках профессионально значимых ситуаций.

Опыт проекта «Литературные гостиные Института Пушкина»

Проект «Литературные гостиные», реализуемый Институтом Пушкина под руководством Эльмиры Маратовны Афанасьевой, представляет собой уникальный образовательный эксперимент, где традиционные методы преподавания РКИ соединяются с современными профессионально-ориентированными подходами. Его суть заключается в создании особой коммуникативной среды, где иностранные студенты различных, в том числе и инженерных специальностей взаимодействуют с российскими космонавтами через призму русской литературы и профессионального общения.

В рамках проекта проводятся тематические встречи, где чтение и обсуждение литературных произведений переплетаются с живыми рассказами космонавтов об их профессиональном опыте. Такой синтез позволяет решать сразу несколько задач: с одной стороны, студенты погружаются в языковую среду через художественные тексты, с другой – осваивают специальную терминологию и нормы профессионального общения в непосредственном диалоге с практиками космической отрасли.

Особенностью Литературных гостиных является их интерактивный характер. Это не просто лекции или семинары, а живые дискуссии, где литературные произведения становятся отправной точкой для обсуждения актуальных профессиональных вопросов. Например, анализ фрагментов из «Путевых заметок» космонавтов может перерасти в обсуждение конкретных инженерных решений или особенностей работы на МКС.

В контексте нашей статьи этот проект особенно важен как успешный пример реализации лингвологистического подхода. Он наглядно демонстрирует, как можно эффективно интегрировать языковую подготовку с профессиональным образованием. Через литературу и непосредственное общение с носителями профессионального знания студенты не только осваивают язык, но и погружаются в профессиональный контекст, что особенно ценно для будущих специалистов космической отрасли.

Методическая ценность проекта заключается в том, что он предлагает органичный способ преодоления разрыва между языком разговорно-бытовым и языком специальности. В отличие от традиционных курсов, где профессиональная лексика дается изолированно, в Литературных гостиных она усваивается естественно, в контексте живого общения и осмысления профессионального опыта. Это соответствует основным положениям нашей статьи о необходимости комплексных стратегий обучения, сочетающих лингвистические и профессиональные компоненты.

Опыт проекта подтверждает эффективность контекстного обучения, когда язык осваивается не как абстрактная система, а как инструмент решения конкретных профессиональных задач. При этом литература выполняет важную посредническую функцию – будучи частью культурного кода, она делает профессиональное содержание более доступным и эмоционально окрашенным для иностранных учащихся.

Таким образом, проект «Литературные гостиные» представляет собой удачный пример практической реализации тех теоретических положений, которые обсуждаются в нашей статье. Они показывают, как через нетривиальное сочетание гуманитарного и технического знания можно создать эффективную среду для профессионально-ориентированного обучения языку, что особенно актуально для такой специфической области, как подготовка кадров для космической отрасли.

Реализуемый под руководством Афанасьевой Э.М. проект демонстрирует успешную интеграцию культурологического и профессионального компонентов в процесс обучения РКИ. Проводимые в формате творческих встреч с российскими космонавтами занятия позволяют:

- создать естественную мотивацию к изучению языка;
- обеспечить погружение в профессиональную среду;
- развить навыки межкультурной коммуникации.

Заключение

На основе представленных данных можно констатировать, что современная подготовка иностранных специалистов для космической отрасли требует реализации комплексных лингвологистических стратегий, основанных на органичном сочетании языкового и профессионального обучения.

Применение интерактивных методов, включая технологии, апробированные в рамках проекта «Литературные гостиные», способствует не только формированию профессионально-коммуникативной компетенции, но и успешной адаптации иностранных студентов к российской академической и профессиональной среде.

Перспективными направлениями дальнейших исследований представляются:

- разработка специализированных учебных комплексов по РКИ для различных инженерных специальностей;
- создание цифровых платформ для профессионально-ориентированного обучения;
- изучение эффективности различных моделей интеграции языковой и профессиональной подготовки.

Полученные результаты вносят существенный вклад в развитие методики преподавания РКИ для специальных целей и могут служить теоретической основой для проектирования образовательных программ в технических вузах. Практическая значимость исследования

заключается в возможности масштабирования представленного опыта на другие области инженерного образования, требующие высокого уровня языковой подготовки иностранных специалистов.

Список источников

1. *Балыхина, Т. М.* Методология преподавания РКИ: современные подходы / Т. М. Балыхина. - М.: РУДН, 2016. - 415 с.
2. *Щукин, А. Н.* Методика преподавания русского языка как иностранного / А. Н. Щукин. - М.: Высшая школа, 2003. - 334 с.
3. *Афанасьева, Э. А.* Интегративные технологии в профессионально-ориентированном обучении РКИ / Э. А. Афанасьева // Вестник МАПРЯЛ. - 2022. - № 1. - С. 34-42.
4. *Воробьев, В. В.* Лингвокультурологическая парадигма в преподавании РКИ / В. В. Воробьев. - М.: ИКАР, 2018. - 278 с.
5. *Гальскова, Н. Д*. Теория обучения иностранным языкам / Н. Д. Гальскова. - М.: Академия, 2018. - 336 с.
6. *Караулов, Ю. Н.* Русский язык и языковая личность / Ю. Н. Караулов. - М.: ЛКИ, 2010. - 264 с.
7. *Клобукова, Л. П.* Функциональная грамматика в преподавании РКИ / Л. П. Клобукова. - М.: МГУ, 2015. - 320 с.
8. *Леонтьев, А. А.* Основы психолингвистики / А. А. Леонтьев. - М.: Смысл, 2003. - 287 с.
9. *Митрофанова, О. Д.* Научный стиль речи: проблемы обучения / О. Д. Митрофанова. - М.: Русский язык, 1985. - 210 с.
10. *Пассов, Е. И.* Коммуникативный метод обучения иноязычному говорению / Е. И. Пассов. - М.: Просвещение, 1991. - 223 с.

LINGUISTIC STRATEGIES FOR TEACHING RUSSIAN AS A FOREIGN LANGUAGE IN ENGINEERING EDUCATION: EXPERIENCE IN TRAINING FOREIGN STUDENTS FOR THE SPACE INDUSTRY

T.I. Kalichkina
MIREA – Russian Technological University (Moscow, Russia)
kalichkina@mirea.ru

Abstract

Problem Statement. In the context of the internationalization of the space industry, the development of effective strategies for teaching Russian as a foreign language (RFL) to foreign engineering students becomes particularly relevant. Traditional teaching methods often fail to account for the specifics of professional communication in high-tech fields, necessitating specialized linguo-didactic approaches.

Objective. To systematize linguistic strategies for professionally oriented RFL instruction aimed at developing communicative competence in the field of space technologies and to analyze the practical implementation of these strategies.

Results. Based on an analysis of methodological approaches (cognitive-discursive, competency-based), effective mechanisms for integrating linguistic and professional components have been identified. Special attention is given to interactive technologies tested in the "Literary Salons" project by the Pushkin State Russian Language Institute (hereinafter referred to as the Pushkin Institute), where creative meetings with cosmonauts facilitate simultaneous language skill development and professional socialization.

Practical Significance. The developed methodological principles can be applied in creating educational programs for technical universities, designing specialized textbooks, and organizing professionally oriented language courses for foreign specialists in the space industry.

Keywords

Professionally oriented teaching, Russian as a foreign language (RFL), linguistic logistics, space industry, engineering education, communicative competence, technical discourse, interactive methods, terminological training, intercultural communication.

УДК: 81.13

ФОРМИРОВАНИЕ КОММУНИКАТИВНОЙ КОМПЕТЕНЦИИ ИНЖЕНЕРОВ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ СРЕДЫ

И.Ш. Каппушева[1], **А.А. Красин**[2], **К.У. Мамаева**[3], **А.К. Марченко**[4]
РТУ МИРЭА (Москва, Россия)
kappusheva@mirea.ru[1], krasin@mirea.ru[2], mamaeva_k@mirea.ru[3], marchenko_a@mirea.ru[4]

Аннотация

В статье рассматриваются ключевые цифровые навыки, необходимые современным инженерам для эффективной работы в условиях глобализации и цифровизации. Основное внимание уделено четырём актуальным методикам: Simplified Technical English (STE), Data Storytelling, Digital Flashcards, Chunking**.** Авторы анализирует практическую значимость каждого подхода, приводя примеры их применения в авиационной, IT и энергетической отраслях, а также ссылаясь на исследования в области когнитивной психологии. Подчёркивается, что владение этими навыками не только ускоряет процессы командной работы, но и способствует преодолению языковых барьеров в международных проектах. Целью работы является обоснование необходимости освоения современных цифровых навыков для повышения эффективности профессиональной коммуникации и работы инженеров в условиях цифровизации и глобального взаимодействия.

Ключевые слова

Технический английский, Simplified Technical English, Data Storytelling, Chunking, цифровизация, digital flashcards

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

В настоящее время образовательный процесс нуждается не только в классических подходах, но и в уникальных методиках обучения. Технологический прогресс позволяет преподавателям разрабатывать новые форматы занятий с использованием цифровых ресурсов, что особенно актуально в преподавании иностранных языков. Цифровизация стирает географические границы, создавая условия для глобального взаимодействия ведущих специалистов в области инженерии.

Сегодня инженеры работают в международных командах, используют облачные платформы и взаимодействуют с мультиязычной документацией. В таких условиях ключевым фактором успеха становится не только техническая экспертиза, но и умение эффективно коммуницировать в цифровой иноязычной среде**.**

Способность человека эффективно использовать язык в различных ситуациях общения, передавать информацию и правильно интерпретировать полученные сообщения называют коммуникативной компетенцией [1]. Эта компетенция охватывает как вербальные, так и невербальные способы общения и развивается не только в бытовых ситуациях, но и в процессе обучения. С развитием цифровых технологий привычные формы коммуникации претерпели значительные изменения: сегодня значительная часть взаимодействий осуществляется через цифровые каналы – электронную почту, видеозвонки, онлайн-переписку и другие инструменты**.**

Владение продвинутыми навыками цифрового общения сегодня не менее важно, чем глубокие профессиональные знания. Инженеры, способные четко и продуктивно взаимодействовать с иностранными коллегами, ускоряют координацию внутри команды, что приводит к более оперативному принятию решений и повышает общую эффективность проектов.

Ц е л ь р а б о т ы – обосновать необходимость освоения современных цифровых навыков для повышения эффективности профессиональной коммуникации и работы инженеров в условиях цифровизации и глобального взаимодействия.

Simplified Technical English (STE)

Одним из важных навыков для инженеров является контролируемый язык - Simplified Technical English (STE) [2]. Это набор строгих правил, который включает в себя использование упрощённого, стандартизированного словаря и коротких предложений, чтобы снизить двусмысленность и упростить автоматический перевод. Изначально STE появился в 1980-е годы по инициативе европейской и американской авиационно-космической отраслей, чтобы обеспечить понятность руководств по техническому обслуживанию. Причиной для создания являлось разно уровневая подготовка специалистов с точки зрения языковой подготовки. Важно отметить, что STE до сих пор не теряет актуальности и постоянно обновляется, одна из последних версий стандарта вышла в январе 2025 года [9].

Сам стандарт состоит из двух частей: правила написания и контролируемый словарь. Правила написания касаются синтаксиса, грамматики и стиля. Контролируемый словарь — это список одобренных слов с указанием разрешённых частей речи и значений (примерно 900–3000 слов). В основные правила входят короткие предложения (не более 20 слов в инструкциях и 25 слов в описательных текстах), правило «один глагол – одно действие», (каждое предложение должно содержать одну инструкцию), использование активного залога («Нажать кнопку» вместо «Кнопка должна быть нажата»), не более трех существительных подряд и использование только одобренных слов (любые другие термины нужно согласовывать через корпоративный глоссарий) [4].

Контролируемый язык является важным, актуальным и полезным навыком в современных условиях. Он используется, например, в автомобильной промышленности (при разработке сервисных и ремонтных руководств для европейских и азиатских брендов), в энергетике (в инструкциях по монтажу и техобслуживанию турбин и морских платформ), а также в IT (в разработке баз знаний для ИИ-систем, где однозначность текста критична для обучения).

Data Storytelling

Следующим важным навыком стоит выделить Data Storytelling - практику построения связанного повествования вокруг набора данных и визуализаций с целью эффективной интерпретации числовой информации и направленного формирования выводов у аудитории [5]. Этот метод повествования особенно важен для современных инженеров, так как визуальные «истории» помогают руководителям и смежным отделам понять технические выводы без глубокого погружения в детали, создать «мост» между технической аналитикой и бизнес-логикой, а также сэкономить время для команды, которой объясняется материал, за счет замены длинных отчётов несколькими графиками с короткими пояснениями [10].

Основу данного метода составляют три компонента: контекст и цель, сбор и подготовку данных, визуализация. Контекст и цель – это этап, на котором определяется цель нарратива и адаптируется содержание под уровень подготовки аудитории. В сбор и подготовку данных входят: выбор релевантных метрик (например, задержка запросов, загрузка CPU, количество инцидентов), очистка и агрегация (удалить лишние данные и сгруппировать их в удобные разрезы, например, по времени, модулям или регионам). Последний этап — это визуализация. На этом этапе создаются простые графики с аннотациями и подсказками (текстовые метки, стрелки и «выступления» для ключевых точек данных) [8].

Практическая значимость Data Storytelling подтверждается его активным внедрением в корпоративные стратегии технологических лидеров, таких как Microsoft и Nvidia. Например, в программах инженеров MicrosoftAzure включены модули по визуализации данных и коммуникации результатов [6].

Digital Flashcards

Digital Flashcards (Цифровые карточки) — это эффективный инструмент для запоминания информации, основанный на принципах активного припоминания и интервального повторения [3]**.**

Согласно кривой забывания, скорость утраты усвоенных знаний, если их не повторять и не закреплять, крайне динамична. Этот феномен впервые исследовал Герман Эббингауз, обнаружив, что наибольшая потеря информации происходит сразу после обучения. Без повторения значительная часть материала быстро стирается из памяти, что доказывает эффективность методов интервального повторения и активного воспроизведения для долгосрочного запоминания.

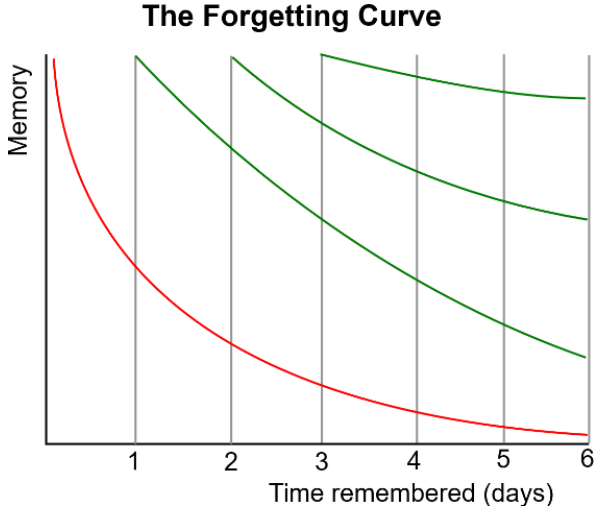


Рис. 1. График кривой забывания
Fig. 1. Graph of "The Forgetting Curve"

Приложения с цифровыми карточками, такие как Quizlet стали незаменимыми инструментами для запоминания и продуцирования активной лексики на практике. Эти приложения основаны на методе интервального повторения, который научно доказан как один из наиболее эффективных техник для переноса слов из кратковременной в долговременную память.

Принцип такого рода приложений прост: на одной стороне карточки находится слово на родном языке, а на обратной на изучаемом. За счет интервального повторения процесс забывания резко замедляется, укрепляются нейронные связи.

Преимуществами электронных карточек над их бумажными предшественниками являются, автоматизация, когда приложение само решает, когда показать слово, возможность добавлять аудио, изображения, примеры из контекста и отслеживание статистики и "слабых" слов.

Для наиболее эффективного использования Quizlet рекомендуется группировать слова по темам, добавлять не только отдельные слова, но и фразы и фразовые глаголы, использовать аудио для запоминания произношения. Регулярность в интервальном повторении играет гораздо большую роль, чем длительность занятий, поэтому рекомендуется заниматься 10-15 минут в день, чем 2 часа в неделю.

Chunking

Последним ключевым навыком стоит выделить управление когнитивной нагрузкой, метод чанкинга (Chunking). Это когнитивная техника, заключающийся в разбиении сложной информации на компактные смысловые блоки (чанки), которые легче обработать и запомнить. Теоретической основой метода послужило исследование Джорджа Миллера 1965 года. Психолог показал, что объём кратковременной памяти ограничен примерно 7 ± 2 единицами информации, будь то цифры, буквы или слова. Однако главный вывод Миллера заключался не в фиксации самого числа, а в возможности варьировать размер единиц – один длинный номер телефона можно воспринимать как 3 «чанка», а не 11 цифр [7].

Chunking делится на разные стратегии: фиксированные, логические и семантические группирования. Фиксированные – разделение данных на равномерные фрагменты (например, по 150–200 слов). Применяются в алгоритмах RAG (в работе с AI) и системах поиска.

Логические состоят из группировок по темам или смыслу (оглавление, разделы). Оптимальны для восприятия человеком. Семантические это объединение в группы по смыслу: числа – даты, шаги процесса – фазы проекта, функции кода – модули, все это снижает нагрузку человека, так как каждая группа отражает уже знакомою схему [11].

Данный метод имеет множество применений для инженеров, например чёткая разбивка документации и инструкций на небольшие шаги уменьшает риск пропуска важных деталей и ускоряет выполнение задач. Например, при вводном обучении новых инженеров мультимодальные обучающие модули, разбитые на «чанки» (видео → текст → код), повышают удержание знаний и сокращают время адаптации [12]. Таким образом, Chunking не только адаптирует информацию под ограничения человеческого мозга, но и становится инструментом повышения эффективности инженерных процессов — от проектирования до кросс-функционального взаимодействия.

Заключение

Современные инженеры работают в условиях глобальной цифровизации, где ключевыми факторами успеха становятся не только техническая экспертиза, но и эффективные навыки коммуникации, обработки информации и управления знаниями. В статье рассмотрены четыре актуальных метода, доказавших свою практическую значимость в инженерной среде: Simplified Technical English (SITE), Data Storytelling, Digital Flashcards, Chunking.

Эти методы взаимодополняют друг друга: STE обеспечивает ясность текстов, Data Storytelling — понятность данных, Chunking — структурированность контента, а Digital Flashcards — устойчивость языковых навыков. Их внедрение в инженерную практику способствует: сокращению времени на координацию в международных проектах, снижению числа ошибок из-за недопонимания, повышению эффективности обучения и адаптации специалистов.

Список источников

1. *Иванова А. В.* Коммуникативная компетенция в цифровой среде // Вестник педагогики. — 2021. — № 4. — С. 56–67.
2. ClickHelp // Simplified Technical English (STE): Rules and Examples. – 2025. – URL: https://clickhelp.com/clickhelp-technical-writing-blog/what-is-simplified-technical-english/ (дата обращения: 30.05.25).
3. *Kornell, N.* Optimising Learning Using Flashcards: Spacing Is More Effective Than Cramming // Applied Cognitive Psychology. – 2009. – Vol. 23, № 9. – P. 1297–1317.
4. Lingvanex // Что такое упрощенный технический английский (STE)? – 2024. – URL: https://lingvanex.com/ru/blog/what-is-simplified-technical-english/ (дата обращения: 30.05.25).
5. Medium // Data Storytelling 101: Essential Strategies for Data Scientists and AI Practitioners. – 2023. – URL: https://medium.com/data-science/data-storytelling-101-essential-strategies-for-data-scientists-and-ai-practitioners-b6843891ec8d (дата обращения: 30.05.25).
6. Microsoft // What is data storytelling? – 2025. – URL: https://www.microsoft.com/en-us/power-platform/products/power-bi/topics/data-storytelling (дата обращения: 29.05.25).
7. *Miller, G. A.* The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information // Psychological Review. – 1956. – Vol. 63, № 2. – P. 81–97.
8. Nvidia Developer // Data Storytelling Best Practices for Data Scientists and AI Practitioners. – 2022. – URL: https://developer.nvidia.com/blog/data-storytelling-best-practices-for-data-scientists-and-ai-practitioners (дата обращения: 01.06.25).
9. Oneword // Simplified Technical English: Plain language for international technical documentation. – 2023. – URL: https://www.oneword.de/en/simplified-technical-english (дата обращения: 01.06.25).
10. ORACLE NetSuite // 9 Data Storytelling Tips for More Effective Presentations: An Expert Guide. – 2023. – URL: https://www.netsuite.com/portal/resource/articles/data-warehouse/data-storytelling-tips.shtml (дата обращения: 30.05.25).
11. *Sahin, S.* // Mastering Document Chunking Strategies for Retrieval-Augmented Generation (RAG). – Medium, 2025. – URL: https://medium.com/@sahin.samia/mastering-document-chunking-strategies-for-retrieval-augmented-generation-rag-c9c16785efc7 (дата обращения: 31.05.25).
12. Tenchat // Чанкинг – метод фрагментации информации. – URL: https://tenchat.ru/media/452246-chanking--metod-fragmentatsii-informatsii (дата обращения: 30.05.25).

FORMATION OF ENGINEERS' COMMUNICATIVE COMPETENCE IN A DIGITAL ENVIRONMENT

I.S. Kappusheva[1], **A.A. Krasin**[2], **K.U. Mamaeva**[3], **A.K. Marchenko**[4]
RTU MIREA (Moscow, Russia)
kappusheva@mirea.ru[1], krasin@mirea.ru[2], mamaeva_k@mirea.ru[3], marchenko_a@mirea.ru[4]

Abstract

The article examines the key digital skills needed by modern engineers to work effectively in the context of globalization and digitalization. The main idea is concentrated on four relevant methods: Simplified Technical English (STE), Data Storytelling, Digital Flashcards, Chunking. The author analyzes the practical significance of each approach, giving examples of their application in the aviation, IT and energy industries, as well as referring to research in the field of cognitive psychology. It is emphasized that the possession of these skills not only accelerate teamwork processes, but also helps to overcome language barriers in international projects. The purpose of the work is to substantiate the need to master modern digital skills in order to improve the effectiveness of professional communication and the work of engineers in the context of digitalization and global interaction.

Keywords

Technical English, Simplified Technical English, Data Storytelling, Chunking, digitalization, digital flashcards

УДК 81'23:004.9

МУЛЬТИМОДАЛЬНОСТЬ ЛИНГВИСТИЧЕСКОЙ ЛОГИСТИКИ В НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОМ ДИСКУРСЕ НА ПРИМЕРЕ СОЧЕТАНИЯ ВИЗУАЛЬНЫХ И ТЕКСТОВЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ

Князева Е.А.[1], Назаров А.Д.[2], Наумова Н.А.[3]
Научный руководитель – А. Н. Шовгенин[4]
[1-4]МИРЭА – Российский технологический университет (Москва, Россия)
knyazeva.e.a2@edu.mirea.ru[1], nazarov.a.d@edu.mirea.ru[2], naumova.n.a@edu.mirea.ru[3], shovgenin@mirea.ru[4]

Аннотация

Постановка проблемы. Исследование посвящено роли мультимодальности в научно-техническом дискурсе, где сочетание вербальных и визуальных элементов (графики, схемы, формулы) оптимизирует передачу сложной информации. Анализируются механизмы лингвистической логистики, включая взаимодействие текста и изображений (комплементарность, дублирование, противоречие), а также когнитивные стратегии для снижения нагрузки при восприятии данных. Особое внимание уделяется иконическим и символическим знакам, их влиянию на точность и эффективность профессиональной коммуникации.

Цель. Исследовать лингвистическую логистику в научно-техническом дискурсе, выявить закономерности взаимодействия вербальных и визуальных компонентов (графиков, схем, формул).

Результаты. Определены ключевые стратегии мультимодальной коммуникации в текстах научных статей, включая комплементарность, дублирование и контрастное сопоставление текстовых и визуальных элементов. Проанализировано влияние иконических и символических знаков на точность передачи информации.

Практическая значимость. Полученные результаты могут быть использованы при создании научных и методических материалов, оформлении исследовательских статей, а также при проектировании образовательных ресурсов для инженерных и технических специальностей.

Ключевые слова

Мультимодальность, научно-технический дискурс, лингвистическая логистика, визуализация данных, иконические знаки, символические знаки, инфографика, профессиональная коммуникация, схемы, восприятие информации, оптимизация контента.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Информационно-коммуникационные и цифровые технологии за последние десятилетия стали неотъемлемой частью современного общества, оказывая значительное влияние на все сферы человеческой деятельности, включая науку, технику и профессиональную коммуникацию. Особую роль они играют в процессах передачи, обработки и усвоения сложной информации, функционируя в рамках современного научно-технического дискурса. В настоящее время мы можем даже наблюдать его существенное сближение с медиадискурсом, традиционно являющимся ключевым элементом взаимодействия информационно-коммуникационных технологий и общества, так как он отражает процессы передачи, обработки и усвоения сложной информации. Медиадискурс не только структурирует научно-техническую и сложную информацию, интерпретируя её для разного восприятия, но и формирует новый формат общения, влияя на восприятие знаний [1].

В отличие от традиционных текстовых форм в прошлом, современный научно-технический дискурс всё чаще полагается на мультимодальные стратегии, комбинируя вербальные (терминология, синтаксис) и невербальные (графики, схемы, инфографику) компоненты. Такое взаимодействие позволяет повысить наглядность информации, а также оптимизировать её восприятие, что особенно важно в условиях высокой сложности и специализации научно-технических материалов.

Мультимодальность в данном контексте выступает как ключевой механизм лингвистической логистики — системы организации и управления информационными

потоками с целью их наиболее эффективного структурирования и передачи. Визуальные элементы (диаграммы, иллюстрации) не просто дополняют текст, но и несут за собой часть умственной нагрузки, упрощая восприятие информации. В то же время текстовые компоненты обеспечивают точность и однозначность интерпретации, что делает их сочетание особенно востребованным в научной, инженерной и образовательной среде [2].

Мультимодальные формы коммуникации становятся важным инструментом для межличностного, межкультурного, профессионального взаимодействия участников общения. Понимание и анализ такого рода сообщений позволяет, во-первых, преодолевать культурные барьеры и улучшать коммуникацию на международном уровне; во-вторых, лучше воспринимать сложные данные в научной коммуникации, где они требуют не только текстового, но и графического представления.

Анализ эффективности сочетания текстовых и визуальных элементов в современных публикациях

Цель данного исследования – выявление и анализ мультимодальных характеристик научно-технического дискурса, связанных с лингвистической логистикой, а именно изучение взаимодействия визуальных и текстовых компонентов в коммуникации в конкретных научных статьях. Их анализ позволяет выделить ключевые идеи данного направления, оценить достоверность данных и избежать ошибок в собственных исследованиях. Это помогает глубже понять тему, выявить пробелы в знаниях и использовать проверенные методы в работе. Кроме того, критический анализ способствует развитию научного мышления и повышает качество публикуемых результатов. Рассмотрим теоритические основы исследования и взаимодействия визуальных и текстовых составляющих [3].

Иконические знаки (от греч. eikōn – «образ») – это изображения, сохраняющие визуальное сходство с обозначаемым объектом. В научном дискурсе эта вариативность проявляется особенно ярко: шкала иконичности и когнитивные механизмы восприятия. Согласно концепции Чарльза Пирса, иконический знак – это особый тип знака, который сохраняет характерные черты обозначаемого объекта, причём сам объект может быть как реальным, так и воображаемым [4].

В своей классификации Пирс выделял несколько видов иконических знаков, различающихся степенью и характером сходства с обозначаемыми объектами: образы; метафоры; диаграммы, схемы, чертежи. Образы - знаки, которые характеризуют ключевые качества обозначаемого, например, форму, цвет, звучание или другие сенсорные характеристики. Они создают непосредственное сходство с оригиналом через свои «простые качества» — визуальные, акустические или тактильные свойства. Метафоры — знаки, основанные на образном параллелизме между знаком и объектом. Диаграммы и схемы - не требуют прямого визуального сходства с объектом, сохраняют структурное подобие отношений между элементами, активно применяются в математике и статистике [5].

Парадокс иконического знака заключается в нашей способности временно забывать различие между изображением и реальностью. В отличие от иконических, символические знаки не имеют прямой связи с объектом, но приняты в профессиональной среде. В науке к ним относятся математические символы (σ — напряжение, ε — деформация), стандартизированные обозначения (стрелки для векторов, условные линии в чертежах), логические операторы (∀,∃ в математических доказательствах).

Эффективность передачи информации во многом зависит от того, на сколько дополняют друг друга вербальные и визуальные компоненты. Можно выделить три основных типа взаимодействия текста и изображения: комплементарность — наиболее распространенный и эффективный тип взаимодействия. Текст дает интерпретацию, а изображение предоставляет данные для анализа. Дублирование — одна и та же информация представлена в двух формах. Это приводит к улучшению запоминаемости информации, снижает вероятность ошибок интерпретации, но при этом объём документа увеличивается, что может вызвать когнитивную

перегрузку. Противоречие – ситуация, когда текст и изображение расходятся. Из-за этого появляются серьезные ошибки в научно-технических статьях, что приводит к потере доверия к публикации.

В мультимодальном контексте логистика решает две ключевые задачи: оптимизацию соотношения вербальных/визуальных компонентов, минимизацию когнитивных затрат на обработку информации [6]. Для достижения баланса можно использовать следующий принцип: визуальные элементы должны преобладать над текстовой информацией. Это имеет положительное воздействие на восприятие материала, особенно в технической документации дает максимальную эффективность. Благодаря иерархии визуального кодирования информация может ранжироваться по значимости через цвет, форму и текст (например, красный цвет для предупреждений, треугольные знаки опасности, поясняющие подписи) [7].

Чтобы облегчить восприятие сложной информации, применяются следующие методы: фильтрация информационного шума - визуальные элементы должны устранять дублирующий текст, группировка связанных данных, выделение 2-3 ключевых параметров, чтобы не перегружать восприятие. Использование когнитивных каркасов помогает структурировать материал через схематичный обзор, детализированные подсистемы, текстовые уточнения.

Рассмотрим прямое применение этих принципов в исследовании алгоритмов оценки разности моментов прихода сигналов (TDOA) в пассивных космических системах радиомониторинга с использованием малых космических аппаратов (МКА) [8]. Авторы предлагают методы повышения точности измерений, включая компенсацию доплеровского смещения частоты и оптимизацию взаимно-корреляционной обработки сигналов [9].

Мультимодальный подход в статье реализован через сочетание текста, визуальных элементов и символических обозначений. Визуальные компоненты играют ключевую роль: графики демонстрируют зависимость точности оценки от отношения сигнал/шум и длительности сигнала. Яркий пример - рис. 1, где показано уменьшение СКО оценки с ростом SNR, что было бы крайне затруднительно передать текстом. Не менее важны и структурные схемы (Рис. 2), которые визуализируют организацию космического сегмента системы, включая орбиты МКА и диаграммы направленности антенн.

Результаты расчетов среднеквадратического отклонения (СКО) оценки разности моментов прихода сигналов приведены на рис. 2 и 3 (радиоимпульсный сигнал) и рис. 4 и 5 (ЛЧМ-сигнал).

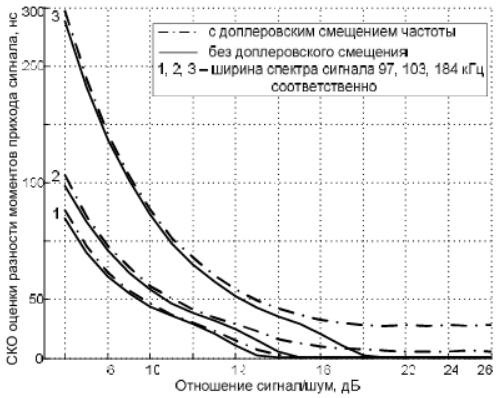


Рис. 2. СКО оценки разности моментов прихода радиоимпульсного сигнала (длительность 6,4 мкс)

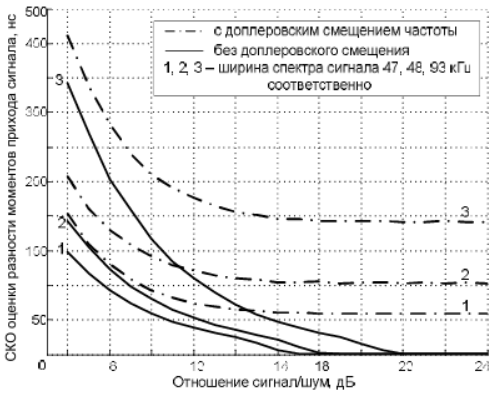


Рис. 3. СКО оценки разности моментов прихода радиоимпульсного сигнала (длительность 12,8 мкс)

Расчеты показывают (см. рис. 2–5), что влияние доплеровского смещения частоты приводит к ухудшению точности оценки при больших отношениях сигнал/шум, где должна достигаться высокая точность оценки. Происходит это из-за смещения спектров сигналов (рис. 6), которое приводит к сглаживанию взаимно-корреляционной функции в районе максимума и уменьшению отношения сигнал/шум. В результате точность оценки разности моментов прихода уменьшается, а корреляционная обработка перестает быть оптимальной. Пример взаимно-корреляционной функции двух сигналов при доплеров-

Рис. 1. Графики результатов расчетов в тексте статьи
Fig. 1. Graphs of calculation results in the text of the article

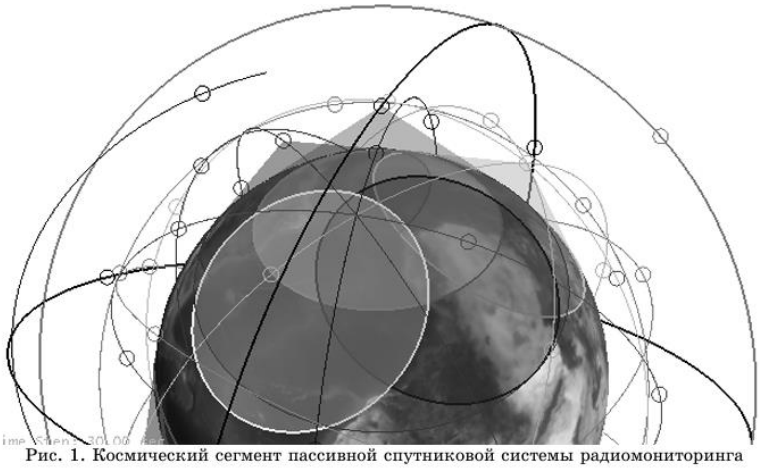


Рис. 1. Космический сегмент пассивной спутниковой системы радиомониторинга

Принимаемый МКА сигнал можно записать следующим образом [7]:

$$s(t) = s_{изл}(t) + n(t), \quad (1)$$

где $s_{изл}(t)$ – излученный ИРИ сигнал; $n(t)$ – аддитивный гауссовский шум.

Такая модель сигнала является несколько упрощенной, но в то же время может быть использована при расчетах космических систем, потому что при распространении под большими углами к горизонту практически отсутствуют отраженные сигналы, а возмущения, вызванные влиянием канала распространения, можно ввести в $n(t)$.

Определение разности моментов прихода $\Delta\tau_i$ сигналов на МКА-ретрансляторы в таком случае может быть вычислено путем их взаимно-корреляционной обработки [8]. При этом оценка $\Delta\tau_i^*$ поступления радиосигнала в две пространственно-разнесенные точки соответствует положению максимума модуля взаимно-корреляционной функции (ВКФ) сигналов, принятых в этих точках. Таким образом, для сигналов, зарегистрированных двумя пространственно-разнесенными МКА, можно записать:

$$\Delta\tau_i^* = \max\left(\left|R_i(\tau)\right|\right), \quad (2)$$

Рис. 2. Космический сегмент пассивной спутниковой системы радиомониторинга в тексте статьи
Fig. 2. The space segment of the passive satellite radio monitoring system in the article

Наличие 9 графиков на 6 страницах может затруднить восприятие. Некоторые графики требуют пояснений в тексте для корректной интерпретации. В печатной версии статьи (черно-белой) цветовая дифференциация отсутствует, что снижает наглядность. В цифровом формате могли бы использоваться: красный/синий для выделения критических зон на графиках или зеленый для обозначения оптимальных значений.

Формулы выделены курсивом и отделены от основного текста, что улучшает читаемость. Заголовки разделов – жирным шрифтом, но отсутствует иерархия (например, подзаголовки 2-го уровня). Графики расположены рядом с соответствующими выводами. Присутствует ошибка: на рисунке 2 отсутствует легенда для условных обозначений орбит и антенн. Также из минусов дисбаланс форматов: преобладание текста (70%) над визуальными элементами (30%) в разделах «Моделирование». Оптимальное соотношение – 40/60 (текст/графика). Статья эффективно использует мультимодальные элементы для передачи сложных технических данных, но требует доработки в части баланса текста/графики и стандартизации визуалов. Для инженерных статей подобного типа критически важно соблюдение принципов лингвистической логистики: минимизация когнитивной нагрузки и однозначность интерпретации всех элементов.

Рассматривая пример статьи «Робототехника: прорывные технологии, инновации, интеллектуальная собственность», можно сказать, что она написана неплохо [10]. Присутствуют картинки, описывающие принципы работы. Формат текста выбран правильно. Из минусов выделим, что картинки и таблицы подписаны не по ГОСТу. Их название находится внутри картинок, а должны быть под ними. Также текст слишком преобладает над визуальными элементами, что ухудшает восприятие. Логическая организация материала прослеживается в четком разделении на теоретическую и практическую части. Каждый раздел

завершается краткими выводами, что облегчает навигацию по тексту. Отсутствует сквозная нумерация таблиц (в тексте встречаются отсылки к «таблице сравнения» без указания номера). Присутствует дисбаланс текстовых и графических элементов: соотношение составляет примерно 70% текста к 30% визуальных данных.


Рис. 2. **Географическое распределение производителей робототехники: 2015 (%)**

Источник: расчеты авторов по данным робототехнических ассоциаций и групп, в том числе The Robot Report's Global Map [*Tobe*, 2015] и открытых списков компаний, опубликованных Ассоциацией робототехнической индустрии (Robotics Industry Association, RIA).

ты дистанционного присутствия или управляемые на расстоянии манипуляторы значительно расширят перечень подобных функций. По мере дальнейшего развития интернета произойдет естественный переход от сбора информации с удаленных датчиков к действиям

надежный или сильно ограниченный, вряд ли извлекут пользу из такого сценария. В настоящее время разрабатываются технологии, которые помогут решить данную проблему [*Garside*, 2014; *Dockterman*, 2014; *McNeal*, 2014].

Инновационная система робототехники

По мере развития робототехники эволюционировала и инновационная система в этой сфере. Рассмотрим ее основные характеристики.

Кластеризация и тесные связи между акторами

Робототехнические инновации создаются главным образом в нескольких странах и кластерах [*Green*, 2013], объединяющих государственные и частные научно-исследовательские организации. Взаимодействуя с ними, компании получают возможности для коммерциализации разработок.

Робототехнические кластеры сконцентрированы преимущественно в США, Европе (прежде всего в Германии, Франции, в меньшей степени в Великобритании) и в Японии. Динамичное развитие они получили также в Китае и Корее (рис. 2)[4]. На эти страны приходится основной массив патентных заявок в области робототехники (рис. 3). В пересчете на ВВП наиболее высокие доли инновационных робототехнических компаний выявлены в Канаде, Дании, Финляндии, Италии, Израиле, Нидерландах, Норвегии, России, Испании, Великобритании, Швеции и Швейцарии.

Рис. 3. Пример расположения и подписи картинок в статье
Fig. 3. An example of the location and caption of images in an article

Статья «Классификация искусственных нейронных сетей» представляет собой пример научно-технического дискурса, где сочетание визуальных и текстовых составляющих играет важную роль в передаче сложной информации [9]. Здесь в полной мере используются взаимосвязи текста, схем, таблиц и диаграмм для структурирования и визуализации данных.

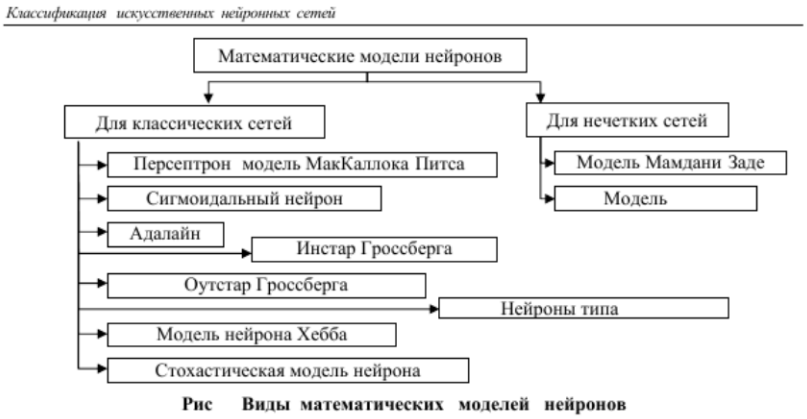


Рис Виды математических моделей нейронов

Нейроны типа от англ победитель получает всё чаще всего используются в зада чах классификации и распознавания данных и образов Они как и модели нейронов Гроссберга в процессе обучения также не нуждаются в учителе Однако существенным недостатком нейро нов этого типа является значительно возрастающая погрешность распознавания данных вслед ствие наличия мертвых нейронов которые не смогли выжить в конкурентной борьбе Модель нейрона Хебба схожа с моделью нейрона обычной формы вход блок обработки выход Мо жет обучаться как с учителем так и без него Особенностью данной модели является то что вес связи нейрона изменяется пропорционально произведению его входного и выходного сигналов

Рис. 4. Пример расположения схемы в тексте статьи
Fig. 3. An example of the layout of the scheme in the text of the article

Статья написана в строгом научном стиле с использованием терминологии. Текст организован последовательно: от общего описания нейронных сетей к деталям их

классификации, моделям нейронов и алгоритмам обучения. Схемы и таблицы не дублируют текст, а дополняют его, делая сложные материалы более доступными. Например, описание функций активации в тексте подкрепляется таблицей. Визуальные элементы помогают читателю быстро ориентироваться в материале, особенно в разделах с множеством классификаций.

Заключение

Проведенное исследование подтверждает значимость мультимодального подхода в научно-техническом дискурсе, где сочетание вербальных и визуальных компонентов играет ключевую роль в эффективной передаче сложной информации. Анализ взаимодействия текстовых и визуальных элементов позволил выявить основные стратегии лингвистической логистики, которые способствуют оптимизации восприятия и снижению когнитивной нагрузки.

Современный научно-технический дискурс активно использует мультимодальные стратегии, сочетая вербальные (терминология, структурированный текст) и невербальные (графики, схемы, диаграммы) элементы для эффективной передачи сложной информации. Анализ научных статей подтверждает, что оптимальное соотношение текста и визуализации (по принципу 40/60) способствует лучшему восприятию данных, снижает когнитивную нагрузку и минимизирует ошибки интерпретации. Ключевые проблемы, выявленные в публикациях: дисбаланс текста и графики (преобладание текста ухудшает восприятие), несоответствие стандартам оформления (неправильные подписи, отсутствие легенд), отсутствие иерархии визуальных элементов (цвет, форма, шрифтовая разметка).

Несмотря на выявленные недостатки в некоторых анализируемых работах, мультимодальный подход остается незаменимым инструментом для повышения качества профессиональной коммуникации. Таким образом, гармоничное сочетание вербальных и невербальных компонентов не только облегчает понимание сложных данных, но и способствует более эффективному обмену знаниями в научной и технической сферах.

Список источников

1. *Желтухина М.В.* Медиадискурс — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/mediadiskurs-1.
2. *Ярыгина Н.Ю.* Мультимодальность современного экономического дискурса(на примере международных экономических форумов). — URL: https://www.dissercat.com/content/multimodalnost-sovremennogo-ekonomicheskogo-diskursa-na-primere-mezhdunarodnykh-ekonomichesk.
3. *Шалашная Т.В.* Анализ текста как инструмент информационных технологий. — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-teksta-kak-instrument-informatsionnyh-tehnologiy.
4. Теория знаков Ч. Пирса и Ч. Морриса. — URL: https://spravochnick.ru/logika/teoriya_znakov_ch_pirsa_i_ch_morrisa.
5. *Кухта М.С.* Специфика репрезентации смысла в иконических символах: Постнеклассическая интерпретация теории Ч.С. Пирса. — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/spetsifika-reprezentatsii-smysla-v-ikonicheskih-simvolah-postneklassicheskaya-interpretatsiya-teorii-ch-s-pirsa.
6. *Залата О.А., Еременко Ю.А.* Оценка восприятия образовательного контента на различных уровнях мультимедиа. — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-vospriyatiya-obrazovatelnogo-kontenta-na-razlichnyh-urovnyah-multimedia.
7. *Гальчук Л.М.* Мультимодальный контент электронного учебного курса, особенности его структуры и лингводидактический потенциал. — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/multimodalnyy-kontent-elektronnogo-uchebnogo-kursa-osobennosti-ego-struktury-i-lingvodidakticheskiy-potentsial.
8. *Громов В.А., Ворошилин Е.П., Миронов М.В.* Оценка разности моментов прихода сигнала группировкой пространственно-разнесённых малых космических аппаратов. — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-raznosti-momentov-prihoda-signala-gruppirovkoy-prostranstvenno-raznesennyh-malyh-kosmicheskih-apparatov?ysclid=m9yprnenk9569428555.
9. *Кайснер Э., Раффо Д., Вуни-Винсент С.* Робототехника: прорывные технологии, инновации, интеллектуальная собственность. — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/robototehnika-proryvnye-tehnologii-innovatsii-intellektualnaya-sobstvennost/viewer.
10. *Раков П.И., Чичков Б.А.* Классификация искусственных нейронных сетей. — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/klassifikatsiya-iskusstvennyh-neyronnyh-setey/viewer.

MULTIMODALITY OF LINGUISTIC LOGISTICS IN SCIENTIFIC AND TECHNICAL DISCOURSE ON THE EXAMPLE OF A COMBINATION OF VISUAL AND TEXTUAL COMPONENTS

Knyazeva E.A.[1], Nazarov A.D.[2], Naumova N.A.[3]
Scientific Adviser – A. N. Shovgenin[4]
MIREA – Russian Technological University (Moscow, Russia)
[1]knyazeva.e.a2@edu.mirea.ru, [2] nazarov.a.d@edu.mirea.ru, [3] naumova.n.a@edu.mirea.ru, [4] shovgenin@mirea.ru

Abstract

The study is devoted to the role of multimodality in scientific and technical discourse, where a combination of verbal and visual elements (graphs, diagrams, formulas) optimizes the transmission of complex information. The mechanisms of linguistic logistics are analyzed, including the interaction of text and images (complementarity, duplication, contradiction), as well as cognitive strategies to reduce the burden of data perception. Special attention is paid to economic and symbolic signs, their impact on the accuracy and effectiveness of professional communication.

Keywords

Multimodality, scientific and technical discourse, linguistic logistics, data visualization, iconic signs, symbolic signs, infographics, professional communication, schemes, information perception, content optimization.

УДК 81'25:82.085

ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕДАЧИ КОМИЧЕСКОГО В АУДИОВИЗУАЛЬНОМ ПЕРЕВОДЕ

К.О. Ковалева[1]
Научный руководитель – В.А. Митягина[2]
Волгоградский государственный университет (Волгоград, Россия)
[1] Kovalevaksenia1317@yandex.ru, [2] mityagina@mail.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Несмотря на разнообразие студий, которые занимаются адаптацией сериалов и фильмов на русский язык, и достаточно конкурентный рынок АВП, проблема качественного перевода остается малоизученной. Часто можно услышать странно адаптированные фразы, которые частично или полностью искажают смысл. Более того, важные для понимания сюжета реплики просто опускаются, и смысл произведения меняется. Порой некоторые переводчики, не желая вникать в культурный, исторический и другие виды контекста, лишают возможности насладиться атмосферой сериала или фильма зрителю сполна. В этом и заключается важность языковых игр в аудиовизуальных текстах. Они (языковые игры) создают неповторимый подчерк автора, раскрывают образ и характер персонажей, могут влиять на сюжет.

Цель. Определить основные проблемы при передачи языковой игры в аудиовизуальном переводе на примере сериала «Благие знамения» и выявить различные переводческие стратегии, используемые при адаптации комического на русский язык

Результаты. Проведен анализ вариантов аудиовизуального перевода языковых игр от студий «Кубик в кубе» и «Lostfilm» на примере британского сериала «Благие знамения». Выявлены основные проблемы, с которыми может столкнуться переводчик

Практическая значимость. Полученные результаты исследования позволяют улучшить методику АВП языковых игр.

Ключевые слова

Языковая игра, аудиовизуальный перевод, комический эффект, план выражения, план содержания

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Только несколько лет назад АВП стал приобретать популярность в исследованиях лингвистике. По этой причине в аудиовизуальном переводе остаются малоизучены стратегии адаптации комических элементов.

Задача исследования заключается в выявлении сущности понятия термина «языковая игра» и в выделении определенных переводческих проблем, с которыми можно столкнуться в передачикомического на ПЯ. Более того, считаем важным найти оптимальные способы для достижения адекватности в переводе сериалов, сохранив план содержания и план выражения.

Ц е л ь р а б о т ы – определить основные проблемы перевода комического, с которыми сталкиваются переводчики при адаптации языковой игры в АВП. На основе анализа переводов фрагментов сериала от студий «Кубик в кубе» и «Lostfilm» предложить рекомендации для улучшения качества перевода юмористических элементов.

Передача комического в АВП

Для начала нужно разобраться с определением «языковой игры» в лингвистике. Впервые этот термин был введен Людвигом Витгенштейном в «Философских исследованиях» 1953 года. Он характеризовал это понятие следующим образом: «Во-первых, они являются начальной формой языка, которая инициирует изучение языка, включая обучающегося в определенные виды деятельности. Во-вторых, «игры» рассматриваются как упрощенные, идеализированные модели употребления слов, последовательное усложнение которых показывает динамическую природу языка» [1, с. 402]. То есть, по мнению Л. Витгенштейна, языковая игра – это некое целое, в котором и язык, и действие взаимосвязаны между с собой [2, с. 83]. В. Усолкина определяет этот феномен как особую форму мышления, при котором происходит осознанное нарушение «языковой схемы» с целью достижения юмористического

или другого эффекта [3, с. 9]. С. Ж. Нухов полагает, что «языковая игра — это такая форма речевого поведения человека, при которой языковая личность реализует способность к проявлению в речи остроумия, сопровождающегося возникновением комического эффекта» [4, с. 36–37]. В.С. Виноградов определяет языковую игру не как феномен мышления или форму речевого поведения, а как шутку, которая создается «благодаря умелому использованию в целях достижения комического эффекта различных созвучий, полных и частичных омонимов, паронимов и таких языковых феноменов, как полисемия и видоизменение устойчивых лексических оборотов» [5, С. 199]. Таким образом, сущность языковой игры заключается в создании юмористического эффекта через нарушения принятых норм языка.

Д. Делабастита подчеркивает, что языковые игры содержит в себе двойной «метаязычный смысл». Из-за этой особенности появляются трудности при переводе [6, С. 602]. Стоит отметить, что проблемы киноперевода, по мнению И. К. Федеровой, являются универсальными [7, С. 58]. Эта «универсальность» относится и к проблеме передачи языковой игры. Далее мы рассмотрим, проблемы с которыми можно встретиться при передачи комического в АВП на ПЯ.

Во-первых, перед переводчиком стоит сложный выбор: содержание или форма. «Между обыгрываемыми словами (фразеологизмами) ИЯ и соотносительными единицами ПЯ должны существовать не просто эквивалентные отношения, но полная эквивалентность с охватом двух (или больше) значений», поэтому только в редких случаях удается сохранить и план содержания, и плана выражения. «Теоретическим идеалом» С. Влахов считает буквальный перевод или калькирование [8, С. 383]. Однако использование их в действительности не всегда приведет к адекватности передачи языковой игра на ПЯ.

В качестве примера этой проблемы в АВП приведем отрывок из британского сериала «Благие знамения» (англ. «Good Omens») с переводом на русский язык. Телесериал является экранизацией одноименного романа Терри Пратчетта и Нила Геймана. В основе сюжета лежи история Демона Кроули и ангела Азирафеля, которые живут на Земле с самого ее зарождения. Узнав о скором конце света, герои объединяют свои силы и пытаются предотвратить Апокалипсис, потому что за 6 тысяч лет успели привыкнуть к земной жизни. Нами было проанализировано два варианта перевода сериала от студий «Lostfilm» и «Кубик в кубе». Некоторые из выявленных примеров языковой игры были переведены достаточно адекватно, а некоторые были опущены или полностью переделаны.

В таблице 1 показан эпизод, где подвыпивший главный герой пытается объяснить, что может случиться с Землёй во время Апокалипсиса. Для этого он использует метафору. Кроули не может выговорить название блюда ‘буйабес’ (англ. bouillabaisse), и поэтому пробует заменить это слово синонимом, что создает игру слов. В оригинале используется «Fish stew», как можно перевести «рыбное рагу» или «тушеная рыба». В переводе название блюда адаптировали как «уха». В случае перевода попытки произнести главным героем слово «буйабес» используется калькирование. В этом примере обе студии смогли сохранить и содержание, и форму высказывания. Однако в случае перевода «Fish stew» удалось сохранить только план содержание.

Таблица 1. Сопоставление текста оригинала и вариантов его перевода

Оригинал	LostFilm	Кубик в кубе
CROWLEY: Whole sea bubbling. The dolphins, the whales. Everything turning into bouillab-- bouill-bouillab-- Fish stew. [9]	Кроули: Море вскипит, дельфины, киты – все сварятся в буя-бую-буеб-буе в общем в уху	Кроули: Моря закипят, дельфины, киты – всё превратится в буй-буй-байа в уху короче

Во-вторых, иногда переводчику необходимо прибегнуть к перевыражению формы оригинала. Перевод игры слов отличается от перевода любого другого вида текста. При переводе каламбура важна передача не только смысла, но и формы. Иногда план выражение находится выше плана содержания, и приходится создавать новую игру слов. Тем не менее, такой способ перевода не всегда можно считать удачной. Девятова М. О. в своей работе

отмечает, что «между эквивалентами часто совсем неожиданно обнаруживаются незаметные при других обстоятельствах расхождения – в сочетаемости, частотности или употребительности, в стилистической окраске или эмоциональном заряде, в наборе синонимов или антонимов, в этимологии или словообразовательных возможностях» [10. С. 63]. Эти факторы могут помешать адаптировать языковую игру на ЯП, что приводит к началу поиска другого способа перевода.

В таблице 2 приведен пример из 6 серии, где второго главного героя, Азирафеля, задерживают два других ангела: Сандалфон и Уриил, произнося рифмованные реплики:

Renegade angels all tied up with strings.
These are a few of our favorite things [9].

В переводе этого момента возникает проблема: как сохранить и смысл, и форму? Студия «LostFilm» сделала выбор в пользу смысла. Они воспользовались калькированием, что разрушило игру слов. В отличии от них «Кубик в кубе» попытались перенести форму оригинала на русский язык, создав рифму, но при этом исказили смысл. «Мятежный ангел» превратился в «ангела-изменника», а вместо «любимых вещей» появилась фраза «не избежать нам кровопролития», сделав сцену более нагнетающую. Более того, в переводе добавился новый смысл: реплика указывает на дальнейшие события в сериале, что в оригинале отсутствует.

Этот пример показывает, что калькирование не является идеальным и универсальным способом перевода игры слов на ЯП. Иногда переводчику необходимо с нуля создать свою игру слов.

Таблица 2. Сопоставление текста оригинала и вариантов его перевода

Оригинал	LostFilm	Кубик в кубе
URIEL: Renegade angels all tied up with strings. SANDALPHON: These are a few of our favorite things.[9]	Уриил: Связанные мятежные ангелы Сандалфон: Одно из наши самых любимых зрелищ	Уриил: Ангел-изменник в путах из нитей Сандалфон: не избежать нам кровопролития

Заключение

В данной работе проведен анализ вариантов перевода языковых игр сериала «Благие знамения» от студий «Lostfilm» и «Кубик в кубе» По результатам проведенного исследования можно сделать вывод, что при аудиовизуальном переводе следует стремиться к сохранению плана содержания и плана выражения. Иногда происходят ситуации, при которых невозможно отобразить и форму, и смысл. В этом случае переводчику необходимо выбрать один из предыдущих аспектов. Не существует универсальной стратегии для адаптации языковой игры. В каждом отдельном случае нужно использовать не только накопленный опыт предыдущих специалистов в этой сфере, но и свои креативные способности для сохранения функции юмористического элемента в АВП.

Список источников

1. *Грязнова А. Ф.* Эволюция философских взглядов Л. Витгенштейна. М., 1985.
2. *Гак В. Г., Львин Ю. И.* Курс перевода: Французский язык. М.: Международные отношения, 1970. 400 с.
3. *Усолкина А. В.* Языковая игра как текстообразующий фактор: автореф. дис. на соис. учен. степени канд. филол. наук. Екатеринбург, 2002. 20 с.
4. *Нухов С. Ж.* Языковая игра в словообразовании: автореф. дис. на соис. учен. степени док. филол. наук. М., 1997. 39 с
5. *Виноградов В.С.* Введение в переводоведение: Общие и лексические вопросы / В.С. Виноградов. – М. : Издательство института общего среднего образования РАО, 2001. – 199 с.
6. *Delabastita D.* Wordplay as a linguistic problem: a linguistic perspective // Übersetzung. Ein internationales Handbuch zur Übersetzung. 1. Teilband; H. Kittel, (Ed.). Berlin, New York: Walter de Gruyter, 2004. P. 602.
7. *Федорова И.К.* Изучение рецепции переводного текста как метод исследования в переводоведении (на примере киноперевода // Вестник Пермского университета. Российская и зарубежная филология. 2015. Вып. 1(29). С. 58.
8. *Влахов, С.* Перевод и воспроизведение каламбуров / С. Влахов // Непереводимое в переводе: Монография / С. Влахов, С. Флорин. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высшая школа, 1986. – С. 356–388

9. *Gaiman N.* The Quite Nice and Fairly Accurate Good Omens Script Book. – N. Y.: William Morrow, 2019.
10. *Девятова М. О.* Игра слов как переводческая проблема // Norwegian Journal of Development of the International Science. 2018. №20-2.

PROBLEMS OF COMIC TRANSMISSION IN AUDIOVISUAL TRANSLATION

K.O. Kovaleva[1]
Scientific Adviser – V.A. Mityagina[2]
Volgograd State University (Volgograd, Russia)
[1]Kovalevaksenia1317@yandex.ru, [2]mityagina@mail.ru

Abstract

The article deals with the challenges of preserving humorous elements in audiovisual translation, focusing on linguistic play and comic effects in the TV series *Good Omens*. While professional studios employ various translation strategies, the transfer of wordplay between languages remains problematic, often resulting in distorted meaning or loss of comedic impact. Through comparative analysis of two Russian translations (by *LostFilm* and *Kubik v Kube* studios), we identify key difficulties in maintaining both plane of expression and plane of meaning when adapting puns and cultural references. The research demonstrates that direct calquing occasionally succeeds, but creative reformulation is frequently necessary to achieve equivalent humorous effects. We evaluate the effectiveness of different translation approaches and propose methodological recommendations for improving audiovisual localization of comedy. The findings contribute to translation theory by clarifying optimal strategies for balancing linguistic accuracy with entertainment value in media adaptations.

Keywords

Wordplay, audiovisual translation, comic effect, plane of expression, plane of content

УДК 81'25:81'33:629.78:006.015.8

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ В КОСМИЧЕСКОЙ ИНДУСТРИИ: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

И.В. Григорьев[1], **К.Д. Козлов**[2], **А.В. Набиева**[3]
Научный руководитель – А. Н. Шовгенин[4]
МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] grigoriev.i.v@edu.mirea.ru, [2] kozlov.k.d@edu.mirea.ru, [3] nabieva.a.v@edu.mirea.ru, [4]shovgenin@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. В условиях активного участия различных стран в международных космических проектах возрастает потребность в точной и оперативной передаче технической информации. Локализация технической документации в космической отрасли представляет собой сложный процесс, связанный с необходимостью адаптации специализированных текстов, содержащих узкопрофильную терминологию, к требованиям другой языковой и нормативной среды. Ошибки в переводе могут привести к серьёзным последствиям, включая сбои в функционировании оборудования.

Цель. Проанализировать основные проблемы, возникающие при локализации технической документации в космической индустрии, и рассмотреть применяемые современные решения.

Результаты. В работе выявлены ключевые трудности, такие как отсутствие единых терминологических баз, различия в национальных стандартах и нехватка специалистов, обладающих одновременно инженерной и лингвистической компетенцией. Представлены примеры успешного применения автоматизированных систем перевода и технологий машинного обучения для улучшения качества перевода.

Практическая значимость. Предложенные подходы и решения могут быть использованы организациями, участвующими в разработке и сопровождении технической документации для космических программ, что способствует повышению точности перевода и снижению рисков, связанных с недопониманием инженерной информации.

Ключевые слова

Локализация, техническая документация, космическая отрасль, перевод, стандартизация, терминология, автоматизация, цифровые технологии, межъязыковая адаптация, инженерная коммуникация.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Космическая отрасль представляет собой одну из наиболее высокотехнологичных и международно ориентированных сфер человеческой деятельности, где инновации и глобальное сотрудничество играют ключевую роль в развитии технологий и исследовании космоса. Создание, эксплуатация и обслуживание космических аппаратов требуют сложного взаимодействия между предприятиями из разных стран, что влечёт за собой необходимость перевода и адаптации обширного массива технической документации. Этот процесс локализации выходит за рамки простого перевода текста, охватывая адаптацию к техническим стандартам, нормативным требованиям, культурным особенностям и специфическим терминологическим различиям.

Учитывая специфику космической промышленности, где любой аппарат проходит множество этапов проектирования, сборки и тестирования с участием международных команд, любые неточности в документации могут привести к серьёзным техническим сбоям, финансовым потерям или даже катастрофам. Поэтому локализация должна быть предельно точной и строго регламентированной, чтобы обеспечить безопасность и эффективность космических миссий.

Цель данной работы — выявить ключевые проблемы локализации технической документации в космической отрасли и рассмотреть современные решения, способные повысить точность, эффективность и оперативность этого процесса. Особое внимание уделяется современным требованиям цифровизации, глобализации инженерного

взаимодействия и интеграции новейших технологий в условиях международных космических программ, таких как создание многоразовых ракет и межпланетных станций.

Проблемы локализации технической документации в космической отрасли

Одной из главных проблем локализации в космической отрасли является сложность технической терминологии. Космические системы включают компоненты из различных инженерных дисциплин — аэрокосмической, радиотехнической, программной и механической, каждая из которых использует специфический язык. Например, английский термин «thruster» может быть переведён на русский как «реактивный двигатель», «двигатель малой тяги» или «корректирующий двигатель» в зависимости от контекста, что требует от переводчика глубокого понимания предметной области. Эта неоднозначность часто приводит к путанице, особенно в многонациональных командах, работающих над проектами, такими как модули для Международной космической станции.

Дополнительные трудности возникают из-за стандартизированной документации, связанной с системами качества, безопасности и проектирования. Техническая документация, сопровождающая запуск спутников, должна соответствовать стандартам, таким как ГОСТ в России, ECSS в Европе или NASA Standards в США. Локализаторам приходится адаптировать содержимое с учётом различий в нормативных системах, решая, какие элементы оставить без перевода, а какие дополнить пояснениями, чтобы сохранить точность и юридическую значимость, особенно в условиях строгого контроля качества.

Ещё одна проблема — актуальность переведённых материалов. В отличие от традиционного перевода, где документ может оставаться неизменным годами, в космической отрасли спецификации быстро устаревают из-за внедрения новых технологий и обновления проектных данных. Для решения проблемы необходима постоянная связь между разработчиками оригинальной документации и руководством команды переводчиков, чтобы инициировать синхронизацию переводов, связанных с реальными процессами. Это особенно важно при разработке долгосрочных миссий, таких как исследование дальнего космоса.

Решения и современные подходы к локализации в космической промышленности

Для решения проблем локализации в космической отрасли активно применяются автоматизированные технологии, которые значительно повышают скорость и эффективность процесса. Системы машинного перевода, такие как DeepL и Google Neural Machine Translation, а также специализированные платформы на базе нейронных сетей, способны обрабатывать большие объёмы технических текстов за короткое время. Например, DeepL использует алгоритмы глубокого обучения, чтобы учитывать контекст и техническую специфику, что делает его пригодным для первичного перевода сложных документов. Однако в космической отрасли такие системы требуют обязательного постредактирования, поскольку даже малейшая ошибка может привести к серьёзным последствиям, включая сбой оборудования или угрозу безопасности миссии [1]. Постредактирование включает несколько этапов: сначала текст проверяется на точность терминологии, затем на соответствие контексту, и, наконец, на стилистическую адаптацию для целевой аудитории. Для этого часто привлекаются сертифицированные переводчики, специализирующиеся на аэрокосмической отрасли, а также инженеры, которые могут подтвердить техническую корректность перевода.

Внедрение терминологических баз данных и систем управления переводом (Translation Management Systems, TMS) является ещё одним важным шагом для повышения качества локализации. TMS, такие как SDL Trados или MemoQ, позволяют создавать централизованные глоссарии, которые содержат утверждённые переводы терминов, используемых в космических проектах. Например, термин «payload» может быть зафиксирован в базе как «полезная нагрузка» с указанием контекста применения, что исключает неоднозначность при переводе [2]. Эти системы также поддерживают отслеживание версий документов, что особенно важно в условиях частых обновлений технической документации. Кроме того, TMS позволяют распределять задачи между переводчиками, редакторами и техническими экспертами,

обеспечивая прозрачность и контроль на каждом этапе. В многоязычных проектах, таких как миссия «ЭкзоМарс» или Международная космическая станция, это помогает поддерживать единообразие терминов и соблюдение норм, что снижает риск ошибок и улучшает координацию между международными командами [3].

Активное вовлечение технических специалистов в процесс локализации также играет ключевую роль в обеспечении точности. Переводчики, работающие в тесном контакте с инженерами, конструкторами и разработчиками, могут уточнять значения терминов и получать разъяснения по сложным техническим аспектам. Например, при переводе инструкций по сборке спутниковых антенн инженер может пояснить, что термин «alignment» в данном контексте означает не просто «выравнивание», а «юстировку» с учётом специфики оборудования. В некоторых компаниях космического сектора применяется модель «совместной локализации», где создаются междисциплинарные команды из лингвистов, инженеров и редакторов. Эти команды проводят регулярные встречи, на которых обсуждаются проблемные участки документации, согласовываются переводы терминов и проверяется их соответствие стандартам, таким как ECSS или NASA Standards [3]. Такой подход особенно эффективен при локализации документации для тестирования и эксплуатации сложных узлов космических аппаратов, где точность перевода напрямую влияет на безопасность миссии.

Применение стандартов локализации, таких как ISO 17100, помогает формализовать процесс и установить чёткие критерии качества. ISO 17100 определяет требования к услугам перевода, включая квалификацию переводчиков, этапы проверки и контроль качества [4]. Например, стандарт предусматривает обязательную двухэтапную проверку: переводчик сначала переводит текст, а затем независимый редактор проверяет его на точность и соответствие оригиналу. В космической отрасли это дополняется технической валидацией, когда переведённый документ проверяется инженерами на предмет соответствия проектным требованиям. Кроме того, стандарт ECSS-E-ST-10C, разработанный организацией европейского сотрудничества по космической стандартизации (ECSS) в области космоса, предоставляет рекомендации по оформлению технической документации, включая правила перевода и адаптации [3]. Использование таких стандартов повышает доверие между международными партнёрами и обеспечивает совместимость документации в глобальных проектах. Необходимость выработки согласованных международных подходов к документации подчёркивается также в исследованиях, посвящённых космической дипломатии и кооперации между ключевыми участниками отрасли, в частности Россией и Китаем [4].

Цифровые платформы и облачные технологии также трансформируют процесс локализации, интегрируя его в жизненный цикл разработки. Облачные TMS, такие как Smartcat, позволяют командам работать в реальном времени, предоставляя доступ к актуальным данным и упрощая обмен информацией между участниками проекта. Например, если в процессе разработки спутника вносятся изменения в спецификации, переводчики могут немедленно обновить документацию, используя общую базу данных. Более того, некоторые платформы интегрируются с системами управления проектами, такими как Jira, что позволяет автоматизировать уведомления о новых задачах и дедлайнах. Внедрение таких технологий особенно актуально для частных компаний, таких как SpaceX, которые ориентированы на высокую скорость разработки и требуют гибкости в локализации.

Дополнительно стоит отметить использование искусственного интеллекта (ИИ) для анализа и улучшения переводов. Современные ИИ-инструменты, такие как Grammarly или LanguageTool, помогают выявлять стилистические и грамматические ошибки в переведённых текстах, а также предлагать более точные варианты перевода терминов. Например, ИИ может предложить заменить «control system» на «система управления» с учётом контекста космического аппарата, основываясь на анализе больших данных из технических текстов [1]. В некоторых случаях ИИ используется для автоматической генерации глоссариев, что ускоряет процесс стандартизации терминологии. Однако такие инструменты всё ещё требуют человеческого контроля, чтобы избежать ошибок в критически важных аспектах.

Вызовы будущего и перспективы развития

Будущее локализации в космической отрасли связано с вызовами, вызванными ускорением технологического прогресса и ростом международного сотрудничества. Участие частных компаний, таких как SpaceX и Blue Origin, требует адаптации документации к гибким и динамичным процессам, отличающимся от традиционных государственных программ. Это подразумевает разработку адаптивных систем локализации, способных быстро реагировать на изменения и учитывать разнообразие технических и культурных подходов, особенно при интеграции новых игроков в индустрию.

Искусственный интеллект и машинное обучение открывают перспективы для создания автоматизированных систем перевода с минимальным вмешательством человека. Однако эти технологии всё ещё нуждаются в улучшениях, чтобы достичь уровня точности, необходимого в космической отрасли. Рост интереса к межпланетным миссиям, таким как колонизация Марса, требует разработки унифицированных стандартов локализации, учитывающих языковые, технические и будущие вызовы, связанные с длительными космическими путешествиями.

Интеграция виртуальной реальности и симуляций в обучение переводчиков и инженеров может стать новым подходом, позволяющим лучше понимать контекст и снижать вероятность ошибок. Это также способствует развитию межкультурного взаимодействия, что важно для международных проектов. Развитие локализации будет зависеть от сочетания человеческих знаний, технологий и сотрудничества, делая процесс более устойчивым и эффективным в условиях новых космических свершений, включая освоение Луны и Марса.

Заключение

Локализация технической документации в космической отрасли — сложный процесс, требующий глубоких знаний, владения терминологией, учёта стандартов и применения технологий. Проблемы с точностью перевода, различиями в терминологии, ответственностью и устареванием данных преодолеваются за счёт автоматизации, междисциплинарного взаимодействия и стандартизации, включая ISO 17100.

В условиях цифровизации, интернационализации и роста частного сектора локализация становится стратегическим элементом успеха инженерных и научно-технических проектов. Будущее этой области связано с межпланетными миссиями и инновациями, что делает локализацию неотъемлемой частью прогресса в освоении космоса, обеспечивая безопасность, точность и эффективность миссий. Это укрепляет глобальное сотрудничество, становясь важным шагом в истории человечества.

Список источников

1. *Сохань А. А.* Некоторые трудности нейро-машинного перевода идиоматических выражений и терминологических единиц в немецкой и английской лингвокультурах (на базе нейро-машинного переводчика DEEPL) / А. А. Сохань, В. А. Ковальский, А. Н. Петросова, В. А. Щуринов // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы. – 2023. – № S1 (66). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-trudnosti-neyro-mashinnogo-perevoda-idiomaticheskih-vyrazheniy-i-terminologicheskih-edinits-v-nemetskoy-i-angliyskoy (дата обращения: 27.05.2025).
2. *Новоселов И. В.* Особенности адаптивного перевода текстов авиакосмической тематики с английского языка на русский / И. В. Новоселов, И. А. Улиткин // Филологические науки. Вопросы теории и практики. – 2023. – № 8. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-adaptivnogo-perevoda-tekstov-aviakosmicheskoy-tematiki-s-angliyskogo-yazyka-na-russkiy (дата обращения: 27.05.2025).
3. *Космынина Н. А.* Языки управления космическими аппаратами / Н. А. Космынина // Труды МАИ. – 2015. – № 81. – С. 1-13.
4. *Попова С. С.* Реализация космической дипломатии международными акторами (на примере России и Китая) / С. С. Попова, А. В. Горохова // Экономика космоса. – 2024. – № 1 (7). – С. 10-19.

LOCALIZATION OF TECHNICAL DOCUMENTATION IN THE SPACE INDUSTRY: PROBLEMS AND SOLUTIONS

I.V. Grigoriev [1], **K.D. Kozlov** [2], **A.V. Nabieva** [3]
Scientific Adviser – A. N. Shovgenin[4]
MIREA - Russian Technological University (Moscow, Russia)
[1] grigoriev.i.v@edu.mirea.ru, [2] kozlov.k.d@edu.mirea.ru, [3] nabieva.a.v@edu.mirea.ru, [4]shovgenin@mirea.ru

Abstract

The article addresses the pressing issue of localizing technical documentation in the space industry, where the need for precise and efficient communication is paramount due to the international nature of modern aerospace projects. The complexity of this process arises from the highly specialized terminology, differences in national and international standards, and the critical importance of accuracy in engineering contexts. Mistakes in translation can lead to serious technical failures and jeopardize mission success. The aim of the study is to analyze the main problems encountered in the localization of aerospace technical documentation and to identify potential solutions through the use of digital technologies and standardized translation practices. The study reveals key challenges such as the lack of unified terminology databases, the inconsistency of regulatory frameworks across countries, and the shortage of qualified specialists with both linguistic and engineering expertise. The results include an overview of successful applications of automated translation systems and machine learning tools that help to improve translation quality and reduce risks associated with misinterpretation of technical texts. These findings are of practical importance for organizations involved in the development and maintenance of space-related documentation, offering insights into best practices for ensuring clarity, consistency, and reliability in multilingual engineering communication.

Keywords

Localization, technical documentation, space industry, translation, standardization, terminology, automation, digital technologies, cross-language adaptation, engineering communication.

УДК 372.881.111.1

ОТ УЧЕБНИКА К ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ КОММУНИКАЦИИ: ЧАТ-БОТ В ЛИНГВИСТИЧЕСКОЙ ЛОГИСТИКЕ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Д.Ю. Костеева[1], **М.В. Устюжанина**[2]
[1–2] МИРЭА – Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1]kosteeva@mirea.ru, [2]ustyuzhanina@mirea.ru

Аннотация

В статье рассматривается внедрение чат-бота как средства повышения эффективности обучения английскому языку в инженерной образовательной среде. Глобальный характер инженерной деятельности требует от специалистов навыков чтения и анализа англоязычных научно-технических текстов, а также владения профессиональной лексикой. Это обусловливает необходимость в образовательных решениях, обеспечивающих индивидуализированную и контекстно-ориентированную языковую практику, интегрированную в профессиональную подготовку.

Целью исследования является разработка и апробация обучающего чат-бота, выполняющего функцию интеллектуального посредника и «лингвистического логиста» – инструмента, обеспечивающего целенаправленный и адаптированный доступ студентов к языковым ресурсам.

В статье представлена техническая реализация чат-бота на языке программирования Python с использованием Telegram API. Описаны основные функции бота, включая генерацию тестовых заданий, отслеживание прогресса обучающегося, автоматическую обратную связь, а также упражнения по определению жанровых признаков научных текстов и поисковому чтению.

Практическая значимость работы заключается в создании масштабируемого инструмента цифровой дидактики, который может быть органично включен в курсы английского языка для инженерных направлений. Разработанная модель чат-бота также подлежит адаптации для других дисциплин, ориентированных на профессиональную коммуникацию и чтение специализированных текстов.

Ключевые слова

Чат-бот, обучение английскому языку, инженерное образование, лингвистическая логистика.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

В современном мире знание английского языка становится одним из ключевых факторов профессионального успеха, особенно для инженеров, работающих в международной среде. Техническая документация, коммуникация с зарубежными коллегами и участие в глобальных проектах требуют высокого уровня владения языком. Однако традиционные методы обучения не всегда позволяют эффективно подготовить студентов к решению реальных профессиональных задач в силу своей высокой теоретизированности [1].

«В цифровой среде можно найти огромное количество информационных и обучающих ресурсов; студенты могут создавать свои ресурсы, в том числе совместно» [2, с. 5]. В этом контексте все большую популярность приобретает использование цифровых технологий, таких как чат-боты. Эти интеллектуальные системы создают условия для интерактивного, индивидуализированного и непрерывного обучения, что делает их ценным инструментом в подготовке будущих инженеров к профессиональной деятельности. Более того, «мобильные технологии выступают в качестве средства микрообучения и способствуют реализации неформального обучения» [3, с. 52].

Современные отечественные (Алехин Р.Ю., Воронина И.Е, Баранова Т.А., Воронцова Е.В., Гришина А.С., Будникова А.С., Бабенкова О.С.) [4, 5, 6] и зарубежные (Winkler R., Söllner M., Huang W., Hew K. F., Fryer L., Zhang J.) [7, 8, 9] исследования подтверждают эффективность внедрения чат-ботов в образовательный процесс. Интеграция чат-ботов в языковое обучение способствует развитию навыков коммуникации и умений работать с языковым материалом и специализированной терминологией. Чат-боты повышают мотивацию студентов за счет интерактивного взаимодействия и возможности получения мгновенной обратной связи. Более того, чат-боты способны эффективно воспроизводить

элементы профессиональной коммуникации, приближая учебный процесс к реальным условиям профессиональной деятельности.

Так как чтение научно-технических текстов представляет особую актуальность для инженеров, представляется необходимым создание чат-бота для помощи студентам при работе с научными статьями по профессиональной тематике [10]. Чат-бот может выступать в роли интеллектуального посредника – своего рода «лингвистического логиста», обеспечивая своевременный, адаптированный и целенаправленный доступ к необходимым лингвистическим ресурсам инженерного образования. Под лингвистической логистикой в данном случае понимается организация и навигация языковых ресурсов в соответствии с задачами профессиональной коммуникации и уровнями подготовки обучающихся.

Создание чат-бота

Чат-бот написан на языке программирования Python с использованием Telegram API. Выбор языка Python обусловлен его лаконичным синтаксисом и широкими возможностями стандартных библиотек, что позволяет легко интегрировать элементы интерактивного взаимодействия, включая обработку сообщений, управление сессиями пользователей и реализацию образовательных сценариев.

Представленные ниже части кода используются для создания теста с выбором варианта ответа, что является актуальным для обучающего чат-бота. Сначала происходит подключение необходимых библиотек и инициализация бота с использованием Telegram-токена. Далее вводятся данные для тестирования студентов – оформленные в виде структурированного списка вопросы, которые содержат:

- текст вопроса;
- варианты ответа;
- индекс правильного ответа;
- комментарий к правильному/неправильному ответу.

Пример структуры данных:

```
questions = [
 {
 "question": "1. Let's start with a definition. If you work with scientific or technical texts, then you most likely read articles on your scientific topic. Let's choose the correct statement defining a scientific article.."
 "\na) This is a publication in which the authors present the results of original research or analyze existing data in order to make a new contribution to science. Such articles undergo a peer review process, which ensures their quality and reliability."
 "\nb) This is a text written to present scientific conclusions or hypotheses, having a theoretical nature. A scientific article is usually composed in a free form."
 "\nc) This is any text published online or on paper, in which scientific topics are discussed or popular facts are covered. Such texts do not necessarily have to undergo a peer review process.",
 "options": [
 "a",
 "b",
 "c"
 ],
 "answer": 0,
 "comment":"1. Indeed, a scientific article is not just a text published somewhere, but a publication with a clear structure and uniqueness."
 },
 ]
```

Следующим шагом для обеспечения отслеживания прогресса пользователей и предоставления обратной связи создается соответствующее хранилище ответов. Словарь

user_data хранит текущий прогресс каждого пользователя: его номер вопроса и количество правильных ответов.

Для корректной работы чат-бота необходима обработка команды /start. При введении данной команды бот инициализирует запуск и отправляет пользователю первый запрос, вызывая команду send_question:

```
@bot.message_handler(commands=['start'])
def start(message):
 user_id = message.from_user.id
 user_data[user_id] = {"score": 0, "question_index": 0}
 send_question(user_id, message.chat.id)
```

Функция send_question отвечает за отображение вопроса, генерацию интерактивных кнопок с вариантами ответов и отображение комментариев по завершении тестирования:

```
def send_question(user_id, chat_id):
 question_index = user_data[user_id]["question_index"]

 if question_index < len(questions):
 question_data = questions[question_index]
 question_text = question_data["question"]

 # Разбиваем текст вопроса на части, если он слишком длинный
 for part in split_text(question_text):
 bot.send_message(chat_id, part)

 # Создаем кнопки с вариантами ответа
 markup = InlineKeyboardMarkup()
 for idx, option in enumerate(question_data["options"]):
 markup.add(InlineKeyboardButton(option, callback_data=str(idx)))

 # Отправляем кнопки для выбора ответа
 bot.send_message(chat_id, "Choose the answer:", reply_markup=markup)
 else:
 # Если вопросов больше нет, выводим результат
 score = user_data[user_id]["score"]
 bot.send_message(chat_id, f"The test is over! Your score: {score} of {len(questions)}")
 del user_data[user_id] # Очистка данных пользователя
```

Для обработки пользовательского выбора применяется функция handle_answer, которая регистрирует выбранный вариант, сверяет его с правильным ответом, формирует соответствующую обратную связь и инициирует показ следующего вопроса:

```
@bot.callback_query_handler(func=lambda call: True)
def handle_answer(call):
 try:
 user_id = call.from_user.id
 selected_option = int(call.data)
 question_index = user_data[user_id]["question_index"]
 correct_answer_idx = questions[question_index]["answer"]
 comment = questions[question_index]["comment"]
```

```
# Проверка ответа
if selected_option == correct_answer_idx:
user_data[user_id]["score"] += 1
bot.send_message(call.message.chat.id, f"That's correct! {comment}")
else:
bot.send_message(call.message.chat.id, f"Incorrect. {comment}")

# Переход к следующему вопросу
user_data[user_id]["question_index"] += 1
send_question(user_id, call.message.chat.id)
except Exception as e:
bot.send_message(call.message.chat.id, f"Произошла ошибка: {e}")
print(f"Ошибка: {e}")
```

Функция обрабатывает ответы: получает индекс ответа пользователя из нажатой кнопки, сравнивает его с правильным ответом, увеличивает счет пользователя при верном ответе, переходит к следующему пользователю или завершает тест. Такой подход позволяет не только фиксировать ответы и вычислять прогресс, но и реализовать педагогически значимую мгновенную обратную связь, что усиливает обучающий эффект.

Поскольку отдельные вопросы могут содержать большой объём текста, используется вспомогательная функция split_text, разбивающая длинные строки на части для соблюдения ограничений Telegram (4096 символов):

```
def split_text(text, max_length=4096):
 return [text[i:i + max_length] for i in range(0, len(text), max_length)]
```

Бот работает в режиме долговременного опроса (polling), позволяющем ему постоянно принимать и обрабатывать входящие сообщения. В случае возникновения исключения реализован автоматический перезапуск с задержкой в 5 секунд, что повышает надежность работы системы.

Работа с чат-ботом

Рассмотрим механизм работы и функционал созданного чат-бота. Чат-бот позволяет студентам выполнять задания с электронной поддержкой, результатом которых является выбор статьи для последующей работы с ней и анализа.

Одним из ключевых сценариев взаимодействия является прохождение теста с выбором правильного ответа с получением обратной связи. На Рисунке 1 представлен первый вопрос для студента. При выборе правильного ответа чат-бот оставляет положительную обратную связь и предлагает перейти к следующему вопросу. Если дан неверный ответ, чат-бот предлагает правильный вариант ответа с пояснением

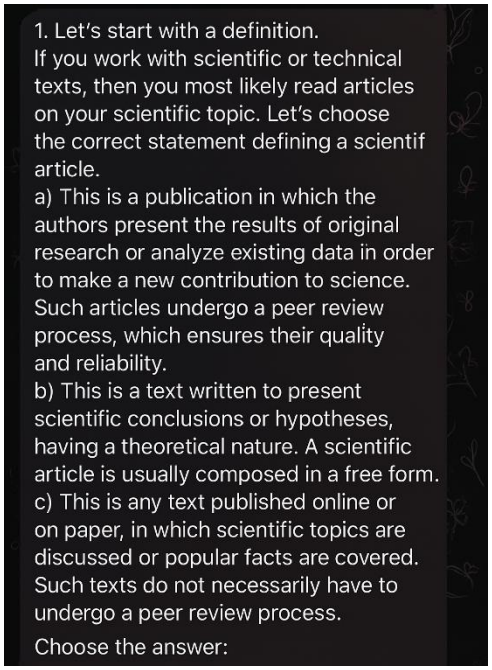


Рис. 1. Пример вопроса от чат-бота с несколькими вариантами ответа
Fig. 1. Example of a multiple-choice question from the chatbot

Одно из последующих заданий направлено на распознавание структуры научной статьи. Студенту предлагается выбрать правильную последовательность размещения ее элементов (например, abstract → introduction → methodology → results → conclusion). При ошибке бот предоставляет корректную структуру и краткий комментарий по каждой части, что способствует усвоению логики академического письма.

Следующее упражнение ориентировано на распознавание стиля текста. Пользователю необходимо выбрать из трёх предложенных фрагментов (художественный текст, публицистический текст научной тематики и научно-технический текст) тот, который соответствует жанру научно-технического текста. После выбора бот предоставляет подробный комментарий:

A little clarification. The first text is fiction, by Jane Austen. The second is a journalistic text. Yes, you are right to note that there are also terms, but what is the purpose of this text? To inform the reader about a recent event in the world of technology. The third text, on the other hand, fully meets the criteria of a scientific and technical text.

Такой подход не только развивает критическое восприятие научных текстов, но и помогает студентам отличать их от смежных жанров — публицистики и художественной прозы.

Дополнительной функцией чат-бота является возможность автоматической генерации заданий на основе текста научной статьи. Пользователю предлагается прочитать краткий фрагмент и выбрать правильный ответ из предложенного списка. Подобный формат способствует формированию навыков поискового и выборочного чтения, что особенно важно при работе с профессиональной литературой. Задание может быть эффективно встроено как для работы с конкретным текстом, так и для работы со статьями различной тематики.

В качестве финального этапа работы с чат-ботом студенту предлагается использовать разработанный бот в качестве вспомогательного инструмента для отбора научной статьи по заданным критериям. Бот направляет студента на осознанный выбор источника, подходящего для дальнейшего анализа, перевода или подготовки собственного научного текста.

Таким образом, чат-бот выполняет роль цифрового ассистента, обеспечивающего последовательное погружение обучающегося в особенности научного дискурса. Его функциональность направлена на постепенное формирование у студентов умений,

необходимых для чтения, анализа и создания научно-технических текстов на английском языке.

Заключение

Рассмотрев процесс создания чат-бота и принцип его действия с методической и технической точки зрения, мы пришли к выводу, что использование чат-ботов в процессе обучения будущих инженеров английскому языку играет важную роль в повышении эффективности образовательного процесса. Чат-боты обеспечивают круглосуточный доступ к интерактивной практике, позволяя студентам отрабатывать языковые навыки в удобное для них время. Особую актуальность в данной связи представляет интеграция искусственного интеллекта в действующий чат-бот, так как благодаря имитированным диалогам на профессиональные темы, студенты могут развивать терминологическую грамотность и коммуникативные способности, что особенно важно для их будущей инженерной деятельности. Кроме того, использование чат-ботов снижает языковой барьер и помогает преодолевать страх общения на иностранном языке. Такой подход делает процесс изучения языка более увлекательным, гибким и ориентированным на практическое применение.

Список источников

1. *Вяткина И. В., Ханнанова-Фахрутдинова Л. Р.* Интеграция образования, науки и производства: новый взгляд на подготовку кадров // Концепт. — 2024. — № 11.
2. *Боголепова С. В., Кирсанова М. А., Родоманченко А. С.* [и др.]. Преподавание иностранных языков и культур в цифровой среде : учебник для вузов / под ред. С. В. Боголеповой. — Санкт-Петербург : Лань, 2024. — 180 с..
3. *Авраменко А. П.* Онлайн-марафон как модель развития профессиональной компетенции преподавателя иностранных языков в парадигме микрообучения // Вестник РМАТ. — 2019. — № 3. — С. 50–57.
4. *Алехин Р.Ю., Воронина И.Е*. Выбор модели и метода для реализации чат-бота – помощника в изучении иностранных языков // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики: сб. тр. междунар. науч. конф. Воронеж: Изд-во «Научно-исследовательские публикации», 2020. С. 149–151.
5. *Баранова Т.А., Воронцова Е.В., Гришина А.С.* Опыт использования технологии чат-бот при обучении иноязычной лексике студентов младших курсов неязыковых специальностей (на примере СПБПУ) // Вопросы современной филологии и проблемы методики обучения языкам: сб. науч. ст. по итогам VII Междун. науч.-практич. конф. Брянск: БГИТУ, 2019. С. 266–271.
6. Будникова А. С., Бабенкова О. С. Использование чат-ботов при изучении иностранного языка // Ученые записки. Электронный научный журнал Курского государственного университета. — 2020. — № 3 (55).
7. *Winkler R., Söllner M.* Unleashing the potential of chatbots in education: A state-of-the-art analysis // Proceedings of the 2018 International Conference on Information Systems (ICIS). — San Francisco, 2018.
8. *Huang W., Hew K. F., Fryer L.* Chatbots for language learning — are they really useful? A systematic review of chatbot-supported language learning // Journal of Computer Assisted Learning. — 2021. — Vol. 38. — P. 237–257.
9. *Zhang J.* Integrating chatbot technology into English language learning to enhance student engagement and interactive communication skills // Journal of Computational Methods in Sciences and Engineering. — 2025. — Vol. 25, № 3.
10. *Румянцева О. А.* Применение чат-ботов в образовательном процессе / О. А. Румянцева. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2022. — № 47 (442). — С. 424-427.

FROM TEXTBOOK TO PROFESSIONAL COMMUNICATION: CHATBOT IN LINGUISTIC LOGISTICS OF ENGINEERING EDUCATION

D.Yu. Kosteeva[1], **M.V. Ustuyzhanina**[2]
[1–2] MIREA – Russian Technological University (Moscow, Russia)
[1]kosteeva@mirea.ru, [2] ustyuzhanina@mirea.ru

Abstract

This article explores the implementation of a chatbot as a tool for enhancing the effectiveness of English language instruction in engineering education. The global nature of engineering practice requires professionals to possess skills in reading and analyzing scientific and technical texts in English, as well as a command of domain-specific vocabulary. This creates a demand for educational solutions that provide individualized, context-oriented language practice integrated into professional training. The aim of this study is to develop and test an educational chatbot that functions as an intelligent mediator – a tool that ensures targeted and adaptive access to linguistic resources for students. The article presents the technical implementation of the chatbot, developed in Python using the Telegram API. It describes the bot's core functionalities, including the generation of test questions, progress tracking, automated feedback, and tasks focused on identifying features of academic texts and practicing scanning reading skills. The results of chatbot integration show increased student motivation, improved terminological competence, and reduced language anxiety. The practical significance of this work lies in the creation of a scalable tool for digital didactics that can be seamlessly integrated into English language courses for engineering students. The proposed chatbot model can also be adapted for other disciplines focused on professional communication and reading of specialized texts.

Keywords

Chatbot, English language learning, engineering education, linguistics.

УДК 378

НЕКОТОРЫЕ ПРИЁМЫ ИМПЛИЦИТНОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ ВЕДЕНИИ ЯЗЫКОВОЙ ПОДГОТОВКИ В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ СФЕРЕ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ СРЕДСТВ ОБУЧЕНИЯ

Д.В. Курсевич[1], **А.А. Манджиев**[2]
[1–2] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] kursevich@mirea.ru, [2] mandzhiev@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. В современном мире усвоение новой информации происходит согласно одной из двух методик: эксплицитного или имплицитного обучения. Несмотря на то, что и та, и другая методика могут применяться для решения задач обучения языку в определённых учебных ситуациях, авторы исследуют потенциал применения имплицитного обучения при ведении языковой подготовки студентов, обучающихся по направлениям информационных технологий, с целью ускоренного развития у них коммуникативных компетенций.

Цель. Авторы ставят перед собой цель рассмотреть и проанализировать случаи использования некоторых приёмов имплицитного обучения для облегчения изучения студентами необходимого учебного языкового материала.

Результаты. Дано обоснование и рассмотрены конкретные случаи применения имплицитного обучения при ведении языковой подготовки студентов, изучающих профессиональный английский язык в сфере информационных технологий.

Практическая значимость. Полученные результаты позволяют дать оценку потенциалу применения имплицитного обучения в рамках профессиональной языковой подготовки.

Ключевые слова

Имплицитное обучение, эксплицитное обучение, языковая подготовка, студенты, изучение материала.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Изучение новой информации в целом (в том числе новых слов) является непрерывном процессом. Нередко для этого не требуется каких-либо особых усилий, поэтому данный процесс воспринимается нами как нечто само собой разумеющееся. Тем не менее, механизм освоения запоминания новой информации до конца не поддаётся измерению с помощью инструментария когнитивных нейронаук.

Существуют две основные методики, подробно описанные в литературе и известные педагогам на практике: эксплицитное обучение (научение), предполагающее непосредственную идентификацию нового объекта, его определение и/или описание его характеристик; имплицитное обучение, означающее приобретение новой информации контекстуально, путём допущений и домыслов, исключающих верификацию представленной к ознакомлению информации.

Имплицитное и эксплицитное обучение

Данные о большей эффективности эксплицитного или имплицитного обучения, располагаемые научным сообществом, – достаточно противоречивы. То же можно сказать и о нейрональных механизмах, задействованных и в том, и в другом случаях. Имеются сведения [1], что эксплицитное обучение активизирует более медленные подкорковые процессы, а имплицитное – неокортикальные механизмы (неокортекс – это часть коры головного мозга млекопитающих толщиной от 2 до 4 мм, отвечающая за сенсорное восприятие, изучение, двигательные команды, пространственное мышление, а у людей ещё и за речь).

До сих пор в научном мире считается [1], что имплицитное запоминание происходит в моменте и не предполагает концентрации усилий на данном процессе. Таким образом, в рамках изучения лексики посредством имплицитного обучения достаточно однократного предъявления нового слова и – спустя несколько месяцев обучающийся всё равно его узнает.

В то же время, при реализации эксплицитного способа от обучающихся требуются концентрация внимания и сосредоточение на предмете изучения для достижения сопоставимого эффекта. Вместе с тем, не все экспериментальные данные это не подтверждают [1].

В рамках научно-исследовательской работы было осуществлено несколько попыток оценить прикладной потенциал имплицитного обучения в различных дисциплинах. Так, применение имплицитного обучения не показало своей эффективности при обучении, например, алгебре [2]. При этом следует сделать оговорку, что согласно ряду исследований способность к имплицитному обучению связана с расположенностью человека к языкам [3], [4], что коррелируется с темой нашей работы: в рамках ведения языковой подготовки возможно воспользоваться данной закономерностью с целью развития у обучающихся одновременно склонности к языкам и передачи им языковых знаний имплицитно (например, путём имитации среды языкового общения изучаемого языка в обстановке учебной аудитории). Некоторые исследователи рекомендуют приближать условия усвоения иностранного языка к родному, поскольку предполагается, что они стимулируют имплицитное обучение [5].

Имплицитное обучение при ведении языковой подготовки может способствовать скорейшему выводу полученных знаний в речь, т.е. скорейшего начала коммуникации. Обучаемому при этом необходимы подходящие условия для применения полученных им навыков во взаимодействии с языком в различных контекстах. Иными словами, он должен чувствовать необходимость воспроизводить полученные знания в новых ситуациях, отыскивать закономерности и проверять гипотезы. При этом обучающиеся совершают ошибки, что абсолютно нормально и ожидаемо для такой формы организации обучения: такие ошибки выступают в качестве когнитивного подтверждения «гипотетических» правил, а факт допущения ошибки акцентирует внимание обучающегося на всех аспектах «тестируемого» языкового шаблона, позволяя ему усовершенствовать свою гипотезу и апробировать её в новых условиях, а также «учиться» инстинктивно распознавать незнакомые шаблоны в новом потоке информации. Придерживаясь схожей позиции, изложенной в авторитетных исследованиях по проблематике данной работы [6], [7], мы полагаем, что полноценная иноязычная компетентность и непринуждённая коммуникация возможны только при условии приобретения знаний бессознательно.

Вместе с тем имплицитное и эксплицитное обучение могут эффективно применяться в тандеме особенно при изучении материала в условиях, когда необходимы прямые контакт или взаимодействие с некоторыми видами информации: непосредственное ознакомление обучающегося с правилом или шаблоном может способствовать его ускоренному освоению. При этом необходимо сделать оговорку, что обладание знанием о конкретном(ых) факте(ах) не всегда коррелируется со способностью и готовностью обучающегося применять это знание на практике в зависимости от ситуации [5]. Определение пропорции применения имплицитного и эксплицитного обучения в ходе учебного процесса определяется конкретными дидактическими задачами и зависит от цели изучения нового материала (информации). Предпочтение в сторону того или иного типа обучения отдаётся в зависимости от обучаемой целевой аудитории.

В данной работе авторы ставят перед собой цель рассмотреть и проанализировать случаи использования некоторых приёмов имплицитного обучения для облегчения изучения студентами необходимого учебного языкового материала с целью ускоренного развития у них коммуникативных компетенций.

Внедрение приёмов имплицитного обучения в процесс языковой подготовки

В логике ведения языковой подготовки для студентов технических направлений обучения мы хотели бы рассмотреть конкретные случаи применения приёмов имплицитного обучения.

Работая со студентами второго курса, обучающимися по направлениям подготовки Институтов информационных технологий и искусственного интеллекта, мы, в первую очередь, рассматриваем тему «History of computers». В рамках данной темы студенты изучают эволюцию вычислительных устройств (начиная с античных времён по настоящее время), при этом особенно выделяя различные поколения ЭВМ, принципиально отличающиеся друг от друга характерными для их периода технологическими решениями. Анализируя основные характеристики первого и второго поколений ЭВМ, студенты сталкиваются с понятиями «vacuum tubes» («электронные лампы») и «transistors» («транзисторы»), ознаменовавшие переход к новым технологическим этапам развития информационных и компьютерных технологий (ИКТ). Не имея достаточной базы профессиональных знаний, студенты обычно не акцентируют внимание на этих фундаментальных понятиях – данная информация заучивается ими наизусть для подготовки устной защиты темы «History of computers» или для сдачи коллоквиума, включающего данную тему. В то же время, с целью формирования у студентов более полного (фундаментального) представления о технологиях, стоящих за изобретениями электронной лампы и транзистора, авторы предлагают (фрагментарно) показывать студентам несложное для восприятия анимированное обучающее видео «How transistors work» [8]. Посредством логично смонтированного видеоряда студенты знакомятся со строением электронной лампы и транзистора и их функционалом, не углубляясь в не являющимися необходимыми для их направлений технические подробности. Таким образом, студенты «имплицитно» («без усилий») осваивают необходимые для более полного понимания темы понятия.

Другим примером применения приёмов имплицитного обучения в ходе курса профессионального английского языка в сфере ИКТ является техника выполнения заданий на словообразование и знание предлогов (фразеологизмов, часто встречающихся грамматических конструкций и т.д.) электронного пособия «Essential English for IT Students» первой и второй частей [9], [10]. Употребление определённого артикля «the» в тексте о суперкомпьютерах (Unit 2. Types of computers. Text C) [9] перед прилагательным (неизменённой основы) «big», описывающим существительное «distinction», впервые употреблённое в контексте упражнения, должно натолкнуть студентов на мысль о необходимости использования его превосходной степени – «the biggest distinction». В том же тексте неизменённая основа «fundamental» встречается перед прилагательным «different», что предполагает употребление формы наречия (задав вопрос «How different?») – «fundamentally different». Отработка предлога «by», свойственного страдательному залогу, в контексте учебного текста «Difference between primary and secondary storage» (Unit 4. Primary Storage) [9] упрощается за счёт употребления в определённых предложениях форм причастия прошедшего времени (performed, accessed) и следующих за ними и предлогом «by» «исполнителей действия» (агенсов). В результате правильного употребления предлогов получается «functions performed *by* a computer system» и «storage devices which can be directly accessed *by* the CPU». Для направления мыслительной активности студентов в нужное русло и способствования извлечения ими требуемых выводов об изучаемых языковых явлениях применялись инструменты рисования в самом пособии, показываемом студентам через проектор на экране.

Наконец, элементы имплицитного обучения находят своё применение при анализе учебного текста «The World Wide Web» (Unit 1. The Internet) [10]. Данный текст изобилует аллюзиями на феномен Всемирной паутины без явного определения, раскрывающего суть данного понятия. Например, «…information system accessible through the Internet…», «The resources of the Web can be accessed through…a web browser», «The World Wide Web is not synonymous with the Internet…», «…upon which the Web is built.». Иными словами, Всемирная паутина определяется как нечто, к чему можно получить доступ посредством Интернета; как нечто, содержащее ресурсы, доступные к просмотру с помощью веб-браузера; как нечто, не являющееся синонимичным понятию «Интернет»; и, наконец, как нечто, созданное на основе

сети «Интернет». В дополнение, усилить эффект восприятия текста и активизировать мыслительные процессы студентов представляется возможным посредством показа фрагмента анимированного обучающего видео «What is the World Wide Web?» [11]. В течение полуминуты в видео проводится чёткая граница между понятиями «Интернет» и «Всемирная паутина»: «The Internet is simply the way computers connect to each other in order to share information»; «when the Internet first emerged, computers…made direct calls to each other»; «Today, networks are all around us»; «The communication enabled through the Internet has many uses…but the most common use is accessing the World Wide Web». Из этого следует, что Всемирная паутина является одним из сервисов коммуникации, обеспечиваемых Интернет-соединением.

Заключение

Описанные в данной работе приёмы имплицитного обучения нашли применение в конкретных учебных ситуациях для решения задачи усвоения требуемого программой материала (в том числе совершенствование навыков словообразования и синтаксиса в рамках освоения общеязыковых компетенций) без явного акцента на формализованные объяснения. Задействование цифровых средств при реализации приёмов имплицитного обучения стало опорой авторам в представлении и обучении новому материалу студентов.

Список источников

1. Журнал «Санкт-Петербургский университет». 2019. № 5-6. С. 8-10 https://journal.spbu.ru/wp-content/uploads/2020/01/05-2019-12.pdf
2. E. Ziegler, P. A. Edelsbrunner, E. Stern. The Relative Merits of Explicit and Implicit Learning of Contrasted Algebra Principles. Educational Psychology Review. – 2018. – Vol. 30, № 2. – P. 531–558.
3. E. Kidd, J. Arciuli. Individual Differences in Statistical Learning Predict Children's Comprehension of Syntax. Child Development. – 2016. – Vol. 87, № 1. – P. 184–193.
4. I. Arnon. Statistical Learning, Implicit Learning, and First Language Acquisition: A Critical Evaluation of Two Developmental Predictions. Topics in Cognitive Science. – 2019. – Vol. 11, № 3. – P. 504–519.
5. S. D. Krashen. Second language acquisition and second language learning. Language teaching methodology series. Oxford, Pergamon Press. – 1981. – 151 p.
6. Lichtman K. Age and learning environment: Are children implicit second language learners? // Journal of Child Language. 2016. Vol. 43 (3). P. 707-730.
7. Lichtman K. Developmental comparisons of implicit and explicit language learning // Language Acquisition. 2013. Vol. 20 (2). P. 93-108.
8. Krishnan G. J. How transistors work. https://ed.ted.com/lessons/how-transistors-work-gokul-j-krishnan.
9. Прокопчук А.Р., Гаврилова Е.А., Кухтина Я.В. и др. Essential English for IT Students. Part 1 [Электронный ресурс]: Учебно-методическое пособие – М.: МИРЭА – Российский технологический университет, 2023.
11. Гаврилова Е.А., Прокопчук А.Р., Манджиев А.А. и др. Essential English for IT Students. Part 2 [Электронный ресурс]: Учебно-методическое пособие – М.: МИРЭА – Российский технологический университет, 2023.
12. Camp T. What is the World Wide Web? https://ed.ted.com/lessons/what-is-the-world-wide-web-twila-camp.

IMPLICIT LEARNING IN PROFESSIONAL ENGLISH INSTRUCTION USING COMPONENTS OF A DIGITAL LEARNING ENVIRONMENT

D.V. Kursevich [1], **A.A. Mandzhiev** [2]
[1–2] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] kursevich@mirea.ru, [2] mandzhiev@mirea.ru

Abstract

Nowadays knowledge acquisition happens in accordance with either implicit or explicit learning methods. Despite the fact that either method can be used to address foreign language instruction challenges in the academic environment, the authors research the potential of utilizing implicit learning in foreign language instruction for students pursuing a degree in Information Technology. This serves the purpose of accelerating the development of their communication skills. The authors set out to review and analyze certain uses of implicit learning boosted by a digital learning environment in order to facilitate students' learning progress in mastering a foreign language used in Information Technology. The authors accomplish the stated objective by integrating implicit learning components into Professional English instruction. Thanks to the main findings it is possible to assess using implicit learning in combination with a digital learning environment in Professional English instruction.

Keywords

Implicit learning, explicit learning, foreign language instruction, students, knowledge acquisition.

УДК 81'22, 004.9

ЦИФРОВОЕ БЫТИЕ ЗНАКА: ПРОЛЕГОМЕНЫ К СЕМИОТИЧЕСКОЙ ОНТОЛОГИИ

А.Р. Лакомов[1], **А.Р. Новикова**[2]
МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] lakomov@mirea.ru, [2] novikova@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Современная цифровая среда радикально трансформирует традиционные семиотические представления о знаке, его референте и способах функционирования. Цифровые технологии создают новые формы бытия знаков, что требует существенного расширения, адаптации и переосмысления их онтологического статуса.

Цель. Обосновать необходимость перехода от классической семиотики к онтологическому подходу, а также разработать концептуальные основания методологии анализа цифрового знака, интегрирующие принципы системности, динамичности и «прагматической бифуркации» с последующим выявлением на данной методологической базе ключевых модусов его бытия: виртуальный, актуальный и интерактивный.

Результаты. Раскрыты три ключевых модуса цифрового семиозиса: виртуальный (потенциальность актуализации), актуальный (полная реализация семиотической функции) и интерактивный (диалогичность и множественность интерпретаций). Показано, как эти модусы изменяют логику текстуальности, авторства и интерпретации в цифровую эпоху.

Практическая значимость. Полученные результаты имеют значение для специалистов как в области инженерии и ИТ, так и в сфере прикладной лингвистики, профессиональная деятельность которых связана с проектированием, интерпретацией и использованием знаковых систем в цифровом пространстве.

Ключевые слова

Цифровая среда, цифровой семиозис, семиотика, онтология, методология, цифровой знак, прагматическая бифуркация, интерактивность, текстуальность.

A brief version in English is given at the end of the article

«Язык — есть дом бытия. В жилище языка обитает человек. Мыслители и поэты — обитатели этого жилища.»
Мартин Хайдеггер

Вводные замечания: парадокс цифрового существования знака

Метафора «языка как дома бытия», предложенная М. Хайдеггером [1] и вынесенная в эпиграф настоящего исследования, обретает особую актуальность в цифровую эпоху, когда традиционные способы «обитания» в языке подвергаются радикальной трансформации. Если классический язык создавал относительно стабильное «жилище» для человеческого мышления, то цифровые технологии возводят динамическое, интерактивное и мультиплицированное пространство, требующее переосмысления самих оснований семиотической теории. Виртуальные среды, алгоритмические системы и интерактивные интерфейсы формируют новые измерения в «доме бытия», где знаки обретают принципиально иные онтологические статусы и функциональные модальности.

Современная семиотическая теория сталкивается с феноменом, острота которого нарастает по мере углубления цифровой эпохи: чем интенсивнее происходит технологическое опосредование знаковых процессов, тем настоятельнее становится потребность в обращении к фундаментальным вопросам о природе самого бытия знака в новых условиях его существования. В нашем понимании, семиотическая онтология цифрового бытия как раз призвана исследовать фундаментальные способы существования, новые принципы функционирования и организации, а также сущностные трансформации знака и знаковых систем в цифровом континууме, выходя за рамки чисто дескриптивных или функциональных подходов. Мы стремимся предложить систему понятий, которая позволила бы более адекватно описывать и анализировать саму сущность того, что означает для знака *быть*, *существовать* и *функционировать* в качестве носителя смысла в его новом, расширенном «доме бытия». Эта трансформация имеет принципиальное значение: цифровая среда не просто предоставляет

новые инструменты для оперирования знаками; она коренным образом изменяет именно это фундаментальное понимание. Парадокс такого цифрового существования знака заключается в том, что современная технологии, изначально призванные обеспечить беспрецедентную ясность, максимальную воспроизводимость и доступность информации, на деле погружают нас в океан эфемерности, семиотической неоднозначности и онтологической неопределенности. При этом знак может эффективно функционировать семиотически, не обладая материальным референтом в классическом понимании, и одновременно оказывать ощутимое, а порой и детерминирующее, воздействие на процессы коммуникации и смыслообразования.

Разрешение обозначенного парадокса и концептуализация новой знаковой реальности требуют, как обращения к фундаментальным философско-методологическим основаниям, так и критического развития существующего семиотического инструментария. В этом контексте, отечественная семиотическая школа [2,3], заложившая прочную теоретическую базу для исследования знаковых систем, предоставляет ценный эвристический потенциал. Тем не менее, трансформация социокультурного универсума, обусловленная всепроникающей цифровизацией, настоятельно побуждает к адаптации и концептуальному обогащению классического семиотического аппарата с учетом специфики репрезентации, функционирования и онтологического статуса нового типа знака.

Существенно, что, в то время как классическая семиотика преимущественно исходила из анализа относительно стабильных корреляций между *означающим* и *означаемым* [4,5], современная цифровая среда генерирует принципиально новые знаковые конфигурации, отличающиеся имманентной динамичностью, интерактивностью и множественностью потенциальных актуализаций. Так, гипертекстовая ссылка даже при указании на объективно отсутствующий или временно недоступный референт, продолжает существовать как элемент знаковой системы, сохраняя свою указательную направленность; программный код функционирует одновременно как осмысленный текст для человеческого восприятия и как исполняемая последовательность команд для машинной обработки; интерактивный документ динамически трансформируется в ответ на действия пользователя, тем самым ставя под вопрос традиционные понятия авторства и текстуальной завершенности. Подобные феномены указывают на недостаточность простого расширения существующего семиотического инструментария и требуют разработки принципиально нового подхода, который в настоящем исследовании реализуется через призму онтологического анализа. Ключевая задача такого анализа состоит в экспликации фундаментальных модусов бытия знака в условиях цифровой реальности.

В отличие от традиционной семиотики, фокусирующейся преимущественно на реляционных аспектах знака (знак–объект–интерпретант, согласно Ч.С. Пирсу [6]), предлагаемый онтологический подход направлен на исследование модусов бытия самого знака, условий его присутствия и отсутствия, форм его актуализации и виртуализации. Данный подход наследует и развивает отдельные положения медиаархеологии Ф. Киттлера [7,8], в частности, тезис о детерминирующей роли материальных условий в возможности знаковых процессов, однако смещает исследовательский фокус с историко-археологического взгляда на синхронный онтологический анализ современных цифровых феноменов. Одновременно, предлагаемая концепция призвана дополнить теорию новых медиа Л. Мановича [9] последовательным семиотическим измерением, демонстрируя, каким образом технологические принципы, лежащие в основе новых медиа, трансформируют и реконфигурируют фундаментальные категории семиотики.

Осмысление обозначенных раннее онтологических трансформаций цифрового знака характеризуется особой актуальностью и приобретает выраженную прикладную значимость в контексте современного научно-технического дискурса и стратегических задач непрерывного инженерного образования. Для специалистов инженерных профилей, чья профессиональная деятельность имманентно связана с генерацией, трансмиссией, интерпретацией и утилизацией

сложной знаковой информации (от проектной документации, математических моделей и программного кода до интерфейсов управления киберфизическими системами и данных цифровых двойников), глубокое понимание специфики функционирования знаковых систем в цифровой среде превращается из сугубо академического интереса в одну из ключевых профессиональных компетенций.

Эффективность так называемой «лингвистической логистики» [10] научно-технических знаний и технологических разработок – то есть оптимизация циклов создания, диссеминации и ассимиляции данных знаний – напрямую зависит от способности субъектов инженерной деятельности адекватно воспринимать и оперировать знаками, чьи выявленные модусы бытия (виртуальный, актуальный и интерактивный) радикально изменяют традиционные представления о стабильности и семантической однозначности знаковых форм. Игнорирование или недооценка этой многомерной природы цифрового знака в условиях тотальной цифровизации индустрии и общества сопряжено с рисками ошибок проектирования, сбоев в профессиональной коммуникации (как внутри инженерных коллективов, так и при взаимодействии с внешними контрагентами и системами), а также снижения эффективности образовательных программ, ориентированных на формирование инженера будущего. Таким образом, настоящее исследование направлено на формирование фундаментальной основы для разработки более совершенных методов работы с научно-технической информацией и для целенаправленного развития коммуникативных и цифровых компетенций инженеров в современную эпоху цифровизации.

Концептуальные основания методологии анализа новых форм цифровых знаковых систем

Построение эффективной методологии анализа цифровых знаковых систем на основе семиотической онтологии требует интегративного подхода, способного соединить теоретическую строгость с практической применимостью. Такая методология опирается на совокупность трех взаимосвязанных принципов: *системности, динамичности* и *«прагматической бифуркации»* (англ. pragmatic bifurcation).

1. Принцип системности. Данный принцип предполагает, что цифровые знаковые системы должны анализироваться как целостные структуры, где каждый элемент рассматривается в контексте общей архитектуры и функциональных связей с другими элементами.

2. Принцип динамичности. Он требует учета временного измерения функционирования знаковых систем. Анализ должен фиксировать не только статические характеристики элементов, но и процессы их трансформации во времени.

3. Принцип «прагматической бифуркации». Этот принцип постулирует, что анализ цифрового знака не может быть полным без учета перспективы пользователя. Необходимо исследовать, как реальные паттерны взаимодействия с системой приводят к «развилке» (бифуркации) в интерпретации и использовании знаков, а не ограничиваться лишь заложенными техническими характеристиками. Эти эмерджентные «развилки» в интерпретации и использовании, возникающие из перспективы пользователя, наиболее наглядно указывают на более глубокую, имманентно присущую многим цифровым знакам двойную прагматическую направленность: с одной стороны, на человека как субъекта смыслополагания, а с другой – на машину как исполнителя формальных инструкций.

Эта двойная прагматическая направленность цифрового знака и составляет ядро того, что мы далее будем развивать как концепцию «прагматической бифуркации». Таким образом, мы можем говорить о прагматической бифуркации в широком смысле, как о феномене, наблюдаемом на уровне пользовательского взаимодействия, и в более узком, но фундаментальном для нашего анализа, смысле – как об имманентной двойной адресованности цифрового знака человеку и машине. Следует особенно подчеркнуть, что полное раскрытие концепции прагматической бифуркации обладает значительным эвристическим потенциалом

и заслуживает отдельного теоретического обоснования, выходящего за пределы целей данной работы.

Модусы цифрового бытия: от классической семиотики к семиотической онтологии

Виртуальность как онтологическая категория

Применение заявленных методологических принципов к анализу цифрового знака позволяет выявить три фундаментальных модуса его бытия, которые и формируют основу его онтологии. Первым и ключевым для понимания специфики цифрового семиозиса, особенно в контексте принципа «прагматической бифуркации», является переосмысление категории виртуального. В этом свете обращение к семиотической традиции Ч.С. Пирса обнаруживает значительный эвристический потенциал и представляется особенно продуктивным. Если в традиционной семиотике знак, согласно Ч.С.Пирсу [6], существует в триадическом отношении с объектом и интерпретантой, то в цифровой среде эта триада усложняется введением дополнительного измерения — виртуального модуса бытия знака.

Однако, понятие виртуальности в данном контексте требует философского уточнения. Виртуальное здесь не противопоставляется реальному как *иллюзорное — действительному,* но представляет собой особый модус бытия, определяющийся потенциальностью актуализации. Виртуальный знак существует как структурная возможность, как латетная система связей и отношений, которые могут быть реализованы при определенных условиях. Таким образом, виртуальный модус бытия цифрового знака характеризуется его существованием в качестве специфической «цифровой потенциальности», имманентно присущей системе (например, данные в базе, неактивированный сегмент программного кода, невыбранная опция интерфейса), но еще не представленной пользователю для непосредственного восприятия или интеракции. Наглядным примером может служить кнопка «Отправить» в электронной форме с незаполненными обязательными полями: она визуально присутствует, но функционально неактивна. Эта феноменологически воспринимаемая неактивность репрезентирует виртуальный модус: знак существует семиотически (как указатель на возможное действие), но его операциональная функция временно заблокирована. При заполнении пользователем требуемых полей происходит активация кнопки – переход от виртуального к актуальному модусу.

Следует уточнить, что рамках настоящего исследования виртуальное трактуется не в общефилософском смысле любой абстрактной возможности (т.е. потенциального как такового), а как специфический онтологический статус знака в цифровой среде, характеризующий его потенциальную «готовность к актуализации» (англ. «readiness-to-be-actualised») посредством определенных операций или выполнения заданных условий. Этим термином обозначается такое состояние пред-существования знака, при котором он, еще не будучи непосредственно явленным, уже обладает всей полнотой необходимых предпосылок и внутренней установкой на переход в актуальный модус при возникновении соответствующих триггеров (действий пользователя) в рамках конкретной знаковой системы и ее имманентных технических ограничений. Так, к примеру, программный код приложения на мобильном устройстве, пока оно не запущено, существует в виртуальном модусе со своей структурой, логикой и данными — он готов к тому, чтобы быть запущенным (актуализированным). Или же обученная нейросетевая модель (например, LLM), содержащая в себе огромный массив знаний и алгоритмов в сжатом и неактивном виде, находится в состоянии *готовности-к-актуализации* конкретного текста, изображения или любого другого контента в ответ на запрос (англ. prompt) пользователя.

Данный феномен особенно наглядно иллюстрируется так называемым явлением «мертвой» гипертекстовой ссылки (англ. broken link), которая может указывать на несуществующую или временно недоступную веб-страницу (Ошибка 404: Not Found), однако сама её интенциональная направленность, её *указательность* (англ. indexicality) конституирует неоспоримую семиотическую реальность. Ссылка продолжает функционировать как знак, обладающий смысловым потенциалом: она сигнализирует об

авторском намерении, генерирует определенные ожидания у пользователя и участвует в формировании навигационной структуры гипертекстового документа. Виртуальность в данном случае проявляется как способность знака выполнять свои функции в условиях отсутствия или недостижимости его денотата – феномен, который Дж. Ландоу [11] рассматривал как одну из фундаментальных характеристик гипертекстуальности.

Описанная виртуальность цифрового знака имплицирует возникновение принципиально новой темпоральности семиозиса. В отличие от классического текста, преимущественно развертываемого во времени *линейно*, цифровой семиозис разворачивается и оперирует в своего рода *«времени возможности»* (англ. kairotic time of potentiality), где прошлое не исчезает безвозвратно, но сохраняется как совокупность доступных версий или состояний; будущее не предопределено единственной траекторией, а представляет собой ветвящуюся структуру множества сценариев; настоящее же выступает как динамическая точка актуализации этих потенциальностей. Эту сложную темпоральную структуру, в которой сосуществуют и взаимодействуют потенциальные, актуальные и интерактивно порождаемые состояния знаковой системы, можно условно обозначить как «*время трёх модусов*» (см. Рис. 1).

Эмпирическими проявлениями такой темпоральности служат системы, функционирующие на основе ветвящейся логики: многоуровневые интерфейсы, игровые приложения с нелинейным сюжетом и вариативными финалами, а также базы данных, позволяющие не только хранить актуальную информацию, но и осуществлять условные запросы, моделирующие различные сценарии. Подобная темпоральная организация цифрового семиозиса обусловливает специфический характер его протекания. Знак в цифровой среде не просто указывает на объект или выражает смысл — он конституирует динамическое пространство возможных интерпретаций, каждая из которых является потенциально актуализируемой. Это пространство не статично; оно непрерывно реконфигурируется в зависимости от контекста взаимодействия со знаком, характера пользовательского запроса и специфики интерпретирующей системы (будь то человек или алгоритм).

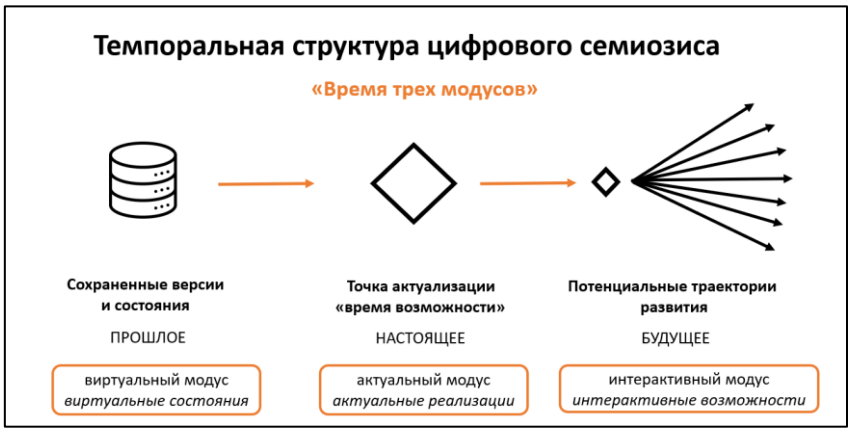


Рис. 1. Темпоральная структура цифрового семиозиса
Fig. 1. Temporal structure of digital semiosis

Диалектика присутствия и отсутствия

Цифровая среда обостряет фундаментальную для семиотики проблему отношения между знаком и его референтом, выявляя новые формы диалектики присутствия и отсутствия. Суть этого парадокса заключается в том, что знак в цифровой среде может одновременно присутствовать и отсутствовать, быть семиотически активным и функционально латентным, существуя как доступный и одновременно недоступный. Так, удаленный файл может оставлять системные «следы», сохраняющие информацию о его прежнем существовании. Аналогично, гиперссылка, как было показано ранее, сохраняет свою знаковую функцию и семиотическое присутствие даже при фактическом отсутствии или недоступности ее целевого

ресурса, иллюстрируя данную диалектику. Программа может не выполняться, но её код продолжает сохранять свою текстуальность и потенциальную функциональность. Особым случаем является цифровой аватар, одновременно являющийся репрезентацией пользователя и существующий как самостоятельный программный объект с собственными атрибутами и историей взаимодействия в виртуальной среде.

Описанный феномен требует переосмысления классической семиотической категории референции. Если в рамках хорошо известного «семантического треугольника» (знак – смысл/Sinn – значение/Bedeutung) Г. Фреге [12,13] значение (т.е. референт) традиционно трактовалось как актуально существующий объект или положение дел, денотируемое знаком, то в цифровой среде знак способен функционировать референциально, указывая на виртуальный объект, чье бытие исчерпывается потенциальностью его актуализации. Это создает новый, специфический тип семиотического отношения, который можно определить как «референцию к виртуальному».

В отличие от виртуального, актуальный модус бытия цифрового знака характеризуется состоянием его полной семиотической реализацией. Критериями его выделения выступают наличие непосредственно доступного референта (или исполняемого процесса), активная и однозначная интерпретативная связь между знаком и его денотатом (или объектом), а также относительная стабильность семиотических отношений в момент актуализации. Типичными примерами актуального модуса могут служить отображаемый в режиме реального времени контент веб-страниц, исполняемый в данный момент программный код, актуальная сцена и активные интерактивные объекты в VR/AR-симуляции, либо актуализированный на экране пользователя инженерный чертеж или 3D-модель изделия в системе управления жизненным циклом продукта (PLM-система).

Интерактивность как уникальный текстообразующий принцип

Интерактивность в цифровой среде представляет собой не просто техническую аффорданс, но фундаментальный принцип текстопорождения и текстофункционирования. Специфика интерактивного текста заключается в имманентном включении в его семиотическую структуру, наряду с актуализированными знаковыми элементами, также и множества потенциальных состояний, которые могут быть активированы пользователем. Интерактивные меню, динамические компоненты интерфейса и другие подобные элементы функционируют как знаки возможных действий, создавая сложную семиотическую топологию, в которой актуальное и виртуальное неразрывно сосуществуют и взаимодействуют в рамках единого текстуального пространства.

В таком интерактивном контексте знак утрачивает атрибут единственного автора или создателя, становясь продуктом сложного коллективного семиозиса, в котором соучаствуют как разработчики системы (первичные авторы), так и пользователи (вторичные авторы, или акторы актуализации). Интерактивный текст не сводится к пассивному декодированию предзаданного сообщения; он конституируется как уникальный результат динамического семиотического взаимодействия между первичным автором (или авторским коллективом), текстово-знаковой системой и пользователем как активным со-конституирующим субъектом смыслопорождения. Эта имманентная онтологическая характеристика интерактивности генерирует новые формы текстуальной темпоральности. Интерактивный текст существует не столько в линейном хронологическом времени последовательного восприятия, сколько во времени актуального взаимодействия, где каждое действие пользователя способно открывать новые текстуальные и функциональные возможности. Такая темпоральность не является ни строго линейной, ни циклически замкнутой — она, скорее, *ризоматична,* — используя терминологию Ж. Делёза и Ф. Гваттари [14, 15]. Ризоматичность проявляется в отсутствии единого центра или жесткой иерархической структуры и в способности текста разворачиваться по множеству параллельных, пересекающихся и ветвящихся траекторий, динамически порождаемых активностью пользователя. Каждый его выбор актуализирует определенные ветви развития событий, нарратива или функциональности, создавая

уникальный, не предопределенный маршрут навигации и смыслообразования в гетерогенном знаково-текстовом пространстве.

Не случайно в последние годы наблюдается формирование сложных интертекстуальных структур в интернет-пространстве, что является характерной чертой современной цифровой культуры. В отличие от классической концепции интертекстуальности, предложенной Ю. Кристевой [16] и преимущественно описывающей взаимосвязи между относительно стабильными, фиксированными текстами, цифровая интертекстуальность характеризуется динамическим взаимодействием между перманентно изменяющимися и расширяющимися текстовыми конфигурациями. Комментарии, репосты, реакции (например, «лайки») и другие паратекстуальные элементы трансформируют исходный авторский контент (например, пост в социальной сети) в активное ядро динамически разрастающейся ризоматической семантической сети. В такой сети каждый элемент одновременно функционирует и как текст, и как контекст для других элементов, а итоговый смысл конституируется не только первоначальным авторским «замыслом», но и совокупным характером пользовательских интеракций. Более того, алгоритмические системы рекомендаций и персонализации контента выступают активными агентами формирования этих интертекстуальных связей, предлагая пользователю новые тексты на основе анализа его предыдущих взаимодействий и тем самым прокладывая имплицитные, но действенные интертекстуальные траектории.

Цифровая среда коренным образом трансформирует устоявшиеся представления о природе текста, выявляя его принципиально динамический характер. Феномены, такие как веб-страница новостного портала с непрерывно обновляемым содержимым, интерактивный документ, модифицируемый в реальном времени в зависимости от действий пользователя, или работающий программный код, требуют разработки новых концептуальных подходов к текстуальности. В отличие от традиционного печатного текста, характеризующегося относительной стабильностью и фиксированной материальной формой, цифровой текст пребывает в состоянии перманентной потенциальной изменчивости. Это проявляется в возможности вариативной навигации по гипертексту или динамическом манипулировании параметрами сложных моделей в системах автоматизированного проектирования (САПР). Такая динамичность ставит под сомнение традиционные критерии текстуальной идентичности и завершенности. Если классическая текстология, в том числе в концепции Р. Барта [17] о «смерти автора» и рождении «читателя-скриптора», акцентировала внимание на деконструкции и множественности интерпретаций уже существующего текста, то цифровая текстуальность демонстрирует изначальную процессуальность, принципиальную открытость, фундаментальную проницаемость и морфологическую изменчивость самого текстового объекта. Цифровой текст существует не столько как завершенная данность, сколько как непрерывный процесс, разворачивающийся в сложной семиотической системе взаимодействия «человек–знак–машина».

Взаимообусловленное единство трех модусов как пространство гибридного семиозиса

Исследование специфики цифрового семиозиса выявляет, что ранее описанные виртуальный, актуальный и интерактивный модусы не существуют изолированно друг от друга. Напротив, они образуют динамическую и взаимообусловленную триаду, где каждый элемент конституируется и обретает полноту своего значения только в отношении к двум другим. Виртуальное осмысливается через свою потенцию к актуализации; актуальное несет в себе «память» о предшествующем виртуальном состоянии и потенциал к будущим интеракциям; интерактивный модус бытия знака, в свою очередь, заключается в его имманентной способности к трансформации и вовлеченности в непрерывное взаимодействие. Этот модус реализуется как перманентное диалектическое движение и трансформация между виртуальными возможностями и актуальными воплощениями, а также в его интеграции в более широкие системные процессы, как уже было продемонстрировано на Рис. 1 и будет далее раскрыто на примере кнопки «лайк».

Для иллюстрации этого взаимообусловленного единства детально рассмотрим семиотическую природу типичного элемента цифрового интерфейса – кнопки *«лайк»*. В своем неактивированном (потенциальном) состоянии (например, отображаемая серым цветом под публикацией) данный элемент функционирует преимущественно как виртуальный знак-индекс, указывающий на предусмотренную системой возможность выражения пользователем аффективной оценки. На данном этапе его семиотический потенциал существует в имплицитной форме: кнопка сигнализирует о заложенной функции, но сама функция еще не реализована. Пользовательское действие (нажатие/клик) инициирует переход знака в актуализированное состояние. Такая актуализация манифестируется изменением визуальных атрибутов (например, смена цвета на синий, появление или инкрементация числового счетчика), что объективирует совершенный акт одобрения – знак обретает эксплицитное денотативное значение и начинает выполнять свою непосредственную коммуникативную функцию. Это представляет собой своего рода точку актуализации в настоящем, которая одновременно открывает новые потенциальные траектории развития в будущем (интерактивный модус) и оставляет след в прошлом (сохраненные версии).

Тем не менее, семиотическая траектория данного знака не исчерпывается актом его первичной актуализации. Его бытие в интерактивном модусе, то есть его существования как объекта, постоянно открытого к изменению и несущего «память» о своих предыдущих состояниях, проявляется в возможности последующей деактивации (отмены «лайка»), что возвращает знак в состояние, внешне сходное с исходным виртуальным, но онтологически уже иное, поскольку оно несет в себе «след» предыдущего опыта взаимодействия и сохраняет потенциал для дальнейших интеракций. Более того, актуализированный знак (в данном случае – «лайк») немедленно интегрируется в сложные системные процессы: он преобразуется в параметр для алгоритмов ранжирования и формирования контентной выдачи, активно участвует в установлении социальных связей (например, через уведомления о «лайках» другим пользователям) и способствует публичной репрезентации пользовательских предпочтений и идентичности. Следовательно, цифровой знак «лайк» имманентно процессуален и существует в непрерывном динамическом взаимодействии как с непосредственным пользователем, так и с многоуровневой алгоритмической средой цифровой платформы.

Сходную динамику перехода между модусами демонстрируют и многие другие цифровые знаки. Так, гиперссылка, существующая в виртуальном модусе как потенциальная связь и указание на ресурс (даже отсутствующий, как было показано ранее), при активации пользователем переходит в актуальный модус, осуществляя переход. Последующее «вымирание» (англ. link/reference rot) ссылки, например при удалении целевой страницы, возвращает ее к преимущественно виртуальному существованию, но уже несущему «след» предыдущей актуальности, что подчеркивает и ее интерактивный потенциал в более широком смысле отслеживания системой ее состояния.

Таким образом, концептуализируется феномен, который можно определить как *гибридный семиозис*. Он возникает в тех случаях, когда знак, сохраняя свою единую материальную (цифровую) форму, одновременно функционирует в как минимум двух различных семиотических системах, каждая из которых предполагает собственного, качественно отличного интерпретатора (например, человек и машинный алгоритм) и, соответственно, оперирует специфическими кодами интерпретации.

Формальное и рациональное в цифровом семиозисе

Прежде всего, для адекватного осмысления условий возникновения и функционирования такого гибридного семиозиса, особенно в контексте взаимодействия человека и вычислительных систем, представляется неизбежным повторное обращение к одному из ключевых методологическим принципов анализа цифровых знаковых форм и введения в научно-понятийный аппарат особого термина, который мы обозначаем как «прагматическая бифуркация». Под *прагматической бифуркацией* мы понимаем

фундаментальную характеристику значительного класса цифровых знаковых систем, заключающуюся в их имманентной двойной прагматической направленности: с одной стороны, на человека как субъекта смыслополагания и герменевтической интерпретации, а с другой – на машину (вычислительную систему) как исполнителя формальных инструкций или обработчика данных. Знак, подверженный прагматической бифуркации, изначально проектируется и функционирует таким образом, чтобы его структура и содержание были релевантны для этих двух различных «адресатов», выполняя для каждого свою прагматическую функцию. Это *раздвоение* прагматического вектора знака на человеко-ориентированное и машинно-ориентированное измерения и составляет сущность прагматической бифуркации, обусловливая многие уникальные черты цифровых знаковых объектов.

Одним из наиболее сложных и активно дискутируемых аспектов цифрового семиозиса является проблема машинной интерпретации знаков, приобретающая в условиях цифровой среды беспрецедентную остроту. Вычислительные системы не просто обрабатывают символы как физические сущности, но в определенном смысле «интерпретируют» их, преобразуя формальные структуры в операциональные действия и измеримые результаты. Это актуализирует фундаментальную проблему возможности семиозиса в отсутствии сознания (в его традиционном философском понимании). У. Эко в своей теории интерпретации подчеркивал роль интерпретативного сообщества и культурного контекста как необходимых условий процесса смыслопорождения [18]. Исходя из этого, машинная обработка знаков, несмотря на ее возрастающую сложность и способность к эмуляции когнитивных процессов, остается принципиально детерминированной алгоритмами, имплементированными человеком. Следовательно, такая обработка не охватывает те аспекты интерпретации, которые У. Эко связывал с творческой активностью и «избыточным» смыслообразованием со стороны читателя (см. interpretative cooperation) [18,19,20]. Вместе с тем, стремительное развитие генеративных нейросетевых моделей (в частности, больших языковых моделей – LLM), способных генерировать тексты, изображения и другие знаковые формы на основе сложных вероятностных вычислений, ставит перед семиотической онтологией новые фундаментальные вопросы. Это касается природы знака, лишенного однозначного человеческого авторского замысла и порожденного не строго детерминированным, а стохастическим процессом. Неизбежно могут возникать следующие легитимные вопросы: каким образом в предложенную трехчастную онтологию (виртуальное, актуальное, интерактивное) интегрируется знак, сгенерированный такой вероятностной моделью, и каков онтологический статус его «машинной интерпретации», если сама машина выступает в роли его «автора-генератора»? Глубокое исследование подобных явлений выходит за рамки настоящей статьи, однако оно, несомненно, представляет собой одно из важнейших и перспективных направлений будущих исследований в области цифровой семиотики и искусственного интеллекта.

Несмотря на указанные сложности, отрицать наличие семиотического измерения в машинной обработке символов было бы неправомерно. Одним из самых ярких примеров такого гибридного семиозиса является программный код, наглядно демонстрирующий проявление принципа прагматической бифуркации в ее наиболее узкой интерпретации (т.е. как имманентно двойная адресованность знака). Он одновременно функционирует как осмысленный текст для человека-разработчика (и других специалистов, вовлеченных в жизненный цикл ПО (человеко-ориентированное прагматическое измерение) и как набор формальных инструкций для электронно-вычислительной системы (машинно-ориентированное прагматическое измерение). Программист воспринимает и интерпретирует код, постигая его логику, архитектуру, функциональное назначение и контекст применения, тогда как компилятор или интерпретатор осуществляет его синтаксический анализ и трансляцию в исполняемые машинные команды. Такая двойственная семиотическая реальность, порожденная и управляемая принципом прагматической бифуркации, создает уникальную знаковую ситуацию, в которой один и тот же символический артефакт участвует

в принципиально различных семиотических процессах: человеческой герменевтической интерпретации и формально-логической машинной обработке. Это наглядно проявляется, например, в комментариях к коду – элементах, являющихся сугубо человеко-ориентированными знаками, не оказывающих прямого влияния на машинное исполнение, но имеющих критическое значение для понимания, коллективной разработки и поддержки программного продукта другими специалистами. Аналогично, выбор осмысленных имен переменных и функций, которые для машины представляют собой лишь формальные идентификаторы, для человека-программиста несет существенную семантическую нагрузку, облегчая когнитивные процессы понимания и анализа кода, что дополнительно подчеркивает бифуркационную природу его прагматики. Примечательно, что данный принцип проявляется не только в дуализме/дихотомии «текст для человека vs инструкция для машины», но также затрагивает процессы отладки и оптимизации. Зачастую, код, максимально оптимизированный для машинного исполнения, становится крайне сложным для человеческого понимания и сопровождения. И наоборот, «чистый», хорошо документированный, понятный человеку код (англ. clean code) может быть не столь эффективен для компьютера. Выбор баланса между этими двумя полюсами прагматической направленности является одной из ключевых задач разработчика и отражает постоянное напряжение, создаваемое бифуркацией.

Следует отметить, что принцип прагматической бифуркации не ограничивается исключительно программным кодом. Он проявляется и в других цифровых артефактах: например, в структуре веб-страниц (HTML-разметка одновременно структурирует контент для человека и дает инструкции браузеру), в метаданных цифровых файлов (читаемых как человеком, так и программами), или даже в элементах пользовательского интерфейса, которые для пользователя являются знаками функций, а для системы – триггерами команд. Во всех этих случаях проявляется рассмотренное характерное *раздвоение* прагматической направленности знака.

Заключение

Проведенное исследование семиотической онтологии цифрового бытия демонстрирует, что цифровая среда является не просто новой технической платформой для оперирования знаками, но представляет собой особую онтологическую реальность, конституирующую для знака качественно иные способы существования и функционирования. Предложенный в настоящей работе подход к семиотической онтологии цифрового бытия, черпающий основание в том числе из традиций отечественной семиотической школы [2,3], призван не только описать эти изменения, но и предложить новые инструменты для их осмысления.

В этом контексте фундаментальная метафора М. Хайдеггера «язык как дом бытия» [1], сохраняя свою эвристическую ценность, в условиях цифровой реальности требует существенного переосмысления и расширения. Этот «дом бытия» не столько разрушается, сколько кардинально перестраивается и расширяется, обретая множественные новые измерения. К нему надстраиваются виртуальные «мансарды» возможностей, где хранятся потенциальные функции и неактуализированные сценарии взаимодействия; прокладываются «призрачные коридоры» памяти, где «следы» удаленных данных создают семиотические эхо-эффекты; возникают «живые», динамические «комнаты» интеракции, изменяющиеся в зависимости от присутствия и действий их «обитателей».

Предлагаемая семиотическая онтология, таким образом, намечая своего рода «архитектурный план» этого усложнившегося «дома бытия» с его виртуальными, актуальными и интерактивными измерениями, не просто описывает новую реальность. Она показывает, что исходный парадокс двойственной природы цифрового знака – его одновременной принадлежности к мирам человеческой мысли и машинной логики – разрешается не через устранение одного из полюсов, а через признание этого напряжения как фундаментального и продуктивного онтологического принципа, лежащего в основе всего

цифрового семиозиса. Именно этот «план» позволяет нам ориентироваться и осмысленно действовать в новой цифровой онтологии.

Разработанная в исследовании методология, основанная на принципах системности, динамичности, а также на введенном нами понятии прагматической бифуркации — имманентная двойная прагматическая направленность цифрового знака или знаковой системы одновременно на человека-интерпретатора и на машину-исполнителя — позволила нам выявить и проанализировать три ключевых модуса бытия цифрового знака – виртуальный, актуальный и интерактивный. Вместе они формируют сложную диалектическую структуру, определяющую специфику современного цифрового семиозиса. Принцип прагматической бифуркации, в частности, высвечивает уникальную способность актуальных и интерактивных знаков в цифровой среде служить одновременно и объектом человеческого смыслополагания, и операциональной единицей для технических систем, создавая тем самым новые условия для «обеспечения открытости бытия» [1] в его современной интерпретации.

Центральным выводом проведенного исследования выступает положение о том, что исходный, на первый взгляд, парадокс цифрового существования знака (его одновременная принадлежность мирам человеческого смысла и машинной логики) следует рассматривать не как гносеологическую проблему, требующую однозначного разрешения, а как продуктивный онтологический принцип. Этот принцип, проявляющийся в феномене прагматической бифуркации и во взаимодействии трех модусов, открывает новые, увлекательные горизонты для семиотического творчества, технологического проектирования и философского осмысления динамических процессов *означивания* в цифровую эпоху.

Таким образом, постижение этого продуктивного онтологического принципа становится не просто академическим вызовом для современной семиотики, филологии и философии, но и насущной практической задачей: вооружить новое поколение инженеров и мыслителей семиотической компетентностью, необходимой для сознательного созидания цифрового будущего. В действительности, такое глубокое понимание сущности и природы цифрового знака позволит нам не просто адаптироваться к расширяющемуся «дому бытия», но и целенаправленно формировать его пространства так, чтобы они служили не только технологической эффективности, но и углублению человеческого взаимопонимания, повышению этической ответственности и безопасности, а также подлинному смыслотворчеству в современную цифровую эпоху.

Список источников

1. *Хайдеггер М.* Письмо о гуманизме / пер. с нем. В. В. Бибихина. — М. : Республика, 1991. — 62 с.
2. *Назарова Т. Б.* Филология и семиотика: современный английский язык / Т. Б. Назарова. — М. : Высшая школа, 2003. — 191 с.
3. *Вишнякова О. Д.* Языковой знак как предмет семиотической концептологии: монография / О. Д. Вишнякова. — Тула : Издательство Тульского государственного педагогического университета им. Л. Н. Толстого, 2008. — 196 с.
4. *Соссюр Ф. де.* Труды по языкознанию / Ф. де Соссюр. — М. : Прогресс, 1977. — 695 с.
5. *Соссюр Ф. де.* Курс общей лингвистики / Ф. де Соссюр. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 1999. — 272 с.
6. *Peirce Ch. S.* Collected Papers of Charles Sanders Peirce : in 8 vols. / ed. by C. Hartshorne, P. Weiss, A. W. Burks. — Cambridge (Mass.) : Harvard University Press, 1931–1958. — Vol. 1–6: 1931–1935 ; Vol. 7–8: 1958.
7. *Киттлер Ф.* Археология медиа / пер. с нем. С. Жеребкиной, Н. Хринюк. — М. : Ad Marginem, 2021. — 288 с.
8. *Kittler F.* A. The Truth of the Technological World: Essays on the Genealogy of Presence / trans. by E. Butler. — Redwood City : Stanford University Press, 2014. — 400 p.
9. *Манович Л.* Язык новых медиа / пер. с англ. М. В. Шульгиной. — М. : Новое литературное обозрение, 2008. — 384 с.
10. Лингвистическая и транслатологическая логистика многоязычного туристического интернет-ресурса : Коллективная монография / В. А. Митягина, И. Д. Ромадина, М. Ю. Свинкина [и др.]. – Волгоград : Волгоградский государственный университет, 2016. – 233 с. – ISBN 978-5-9669-1631-2. – EDN XFZHBN.
11. *Landow G. P.* Hypertext 3.0: Critical Theory and New Media in an Era of Globalization / G. P. Landow. — 3rd ed. — Baltimore : The Johns Hopkins University Press, 2006. — 400 p.
12. *Фреге Г.* Смысл и денотат // Семиотика и информатика. — М. : ВИНИТИ, 1977. — Вып. 8. — С. 181–210.
13. *Фреге Г.* Логика и логическая семантика / пер. с нем.; сост., вступ. ст. и примеч. В. А. Седельникова. — М. : Наука, 1972. — 351 с.

14. *Делёз Ж.* Ницше и философия / Жиль Делёз ; пер. с франц. О. Хома; предисл. Е. Блинов; 2-е изд., испр. и доп. — М. : Ад Маргинем Пресс, 2024. — 392 с.
15. *Deleuze G., Guattari F.* A Thousand Plateaus: Capitalism and Schizophrenia. — Minneapolis : University of Minnesota Press, 1987. — 345 p.
16. *Кристева Ю.* Текст романа // Кристева Ю. Избранные труды: Разрушение поэтики / пер. с фр. Г.К. Козикова, Б.П. Нарумова. — М.: РОССПЭН, 2004. — С. 395—593.
17. *Барт Р.* От произведения к тексту // Барт Р. Избранные работы: Семиотика; Поэтика / пер. с фр. Г. К. Козикова. — М. : Прогресс, 1989. — С. 413–423.
18. *Eco U.* A Theory of Semiotics. — Bloomington : Indiana University Press, 1976. — 354 с.
19. *Eco U.* Opera aperta: forma e indeterminazione nelle poetiche contemporanee. — Milano: Bompiani, 1962. — 370 с.
20. *Eco U.* Lector in fabula: la cooperazione interpretativa nei testi narrativi. — Milano: Bompiani, 1979. — 320 с.

SEMIOTICS OF DIGITAL BEING: TOWARDS AN ONTOLOGY OF A NEW TYPE OF SIGN

A.R. Lakomov [1], **A.R. Novikova** [2]
MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] lakomov@mirea.ru, [2] novikova@mirea.ru

Abstract

The present article addresses the radical transformation of traditional semiotic concepts—specifically concerning the sign, its referent and its functional modalities—within the contemporary digital milieu. Digital technologies engender novel sign forms, necessitating a re-evaluation of their ontological status. The study argues for a paradigm shift from classical semiotics to an ontological framework. It proposes the conceptual foundations of a new methodology for digital sign analysis, based on the principles of systemicity, dynamism and **"**pragmatic bifurcation**"**. Building upon this framework, the article elucidates three distinct modes of **the digital sign's being** (or existence): **the virtual**, characterized by its potentiality for actualization; **the actual**, entailing the full realisation of the semiotic function; and **the interactive**, marked by inherent dialogicity and a multiplicity of interpretive pathways. It is demonstrated that these modalities fundamentally reconfigure established notions of textuality, authorship and interpretation in the digital epoch. The findings offer significant implications for specialists in diverse fields such as engineering, information technology, and applied linguistics, whose work involves the design, interpretation, and application of sign systems within and throughout the digital realm.

Keywords

Digital environment, digital semiosis, semiotics, ontology, methodology, digital sign, pragmatic bifurcation, interactivity, textuality.

УДК 372.881.111.22

ТЕХНОЛОГИЯ РАБОТЫ С ТЕРМИНОСИСТЕМОЙ НА ОСНОВЕ АУТЕНТИЧНЫХ ПЕСЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА НЕМЕЦКОМ ЯЗЫКЕ СО СТУДЕНТАМИ МЛАДШИХ КУРСОВ ИНЖЕНЕРНЫХ ВУЗОВ

А.С. Мазурин
МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
alexandermazurin@mail.ru

Аннотация

Постановка проблемы. В современном образовательном процессе изучение немецкой терминологии в инженерных вузах вызывает трудности у студентов. Традиционные методы работы с терминосистемой оказываются недостаточно эффективными для младших курсов, что требует поиска новых средств, способствующих более глубокому и осмысленному усвоению терминов. Актуальность данной проблемы связана с тем, что владение научными терминами на немецком языке является важным условием эффективной профессиональной деятельности специалистов в современной поликультурной среде.

Цель. Рассмотреть характеристики терминов в немецком языке, оказывающие влияние на возникновение трудностей у студентов инженерных вузов при изучении немецкой терминосистемы. Провести анализ потенциала и роли аутентичных песенных материалов при изучении немецкой терминосистемы студентами младших курсов, а также создать технологию работы с терминосистемой на основе аутентичных песенных материалов на немецком языке.

Результаты. В ходе исследования были определены характеристики терминов в немецком языке, ведущие к сложностям овладения студентами младших курсов научно-технической терминологией. Раскрыты потенциал и роль применения аутентичных песенных материалов для овладения студентами немецкими научными терминами. Представлена технология работы с терминосистемой, в основе которой лежит использование аутентичного песенного материала на немецком языке.

Практическая значимость. В результате исследования была создана эффективная технология работы с терминосистемой, позволяющая решить проблемы овладения студентами младших курсов инженерных вузов немецкими научными терминами. Разработанная технология может использоваться преподавателями немецкого языка инженерных вузов для эффективного обучения студентов терминам в контексте изучаемой терминосистемы.

Ключевые слова

Терминосистема, технология работы с терминосистемой, аутентичный учебный материал, песенный материал, немецкий язык

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Работа с терминологическим аппаратом на ранних этапах обучения иностранному языку имеет особую значимость для студентов инженерных специальностей. Это связано с тем, что владение профильной лексикой является необходимым условием успешной профессиональной коммуникации. Однако процесс овладения терминами на немецком языке связан с рядом сложностей, среди которых словообразование и семантическая мотивированность изучаемых терминов. Эффективным средством преодоления данных трудностей является аутентичный песенный материал. Его эффективность обусловлена способностью создавать высокую эмоциональную вовлечённость, а также облегчать усвоение терминов за счёт ритмико-мелодической организации текста. Целью данного исследования является создание технологии работы с терминосистемой на основе аутентичных песен на немецком языке, направленной на эффективное освоение студентами младших курсов инженерных вузов терминосистемой в контексте их будущей профессиональной деятельности.

Немецкоязычная терминосистема

Прежде чем определить специфику немецкоязычной терминосистемы в контексте обучения студентов младших курсов инженерных вузов немецкому языку, раскроем сущность понятий «термин», «терминология» и «терминосистема».

Термин представляет собой лексическую единицу, выполняющую специализированную функцию номинации научных понятий в контексте конкретной области знания. В связи с этим, ключевым отличием термина от общеязыковой единицы выступает необходимость точной дефиниции, исключающей многозначность интерпретаций и обеспечивающей однозначность научной коммуникации. Терминология, в свою очередь, является совокупностью терминов определённой области знания, которая представляет собой систему взаимосвязанных слов и словосочетаний, отражающих определённое научное мировоззрение [1].

Отличие терминосистемы от терминологии состоит в том, что терминология представляет собой общий фонд научных терминов, а терминосистема является структурированной и систематизированной частью терминологии, связанной с определенной теорией или концепцией. Таким образом терминосистема отличается от терминологии сознательной систематизацией и отражением теоретических связей между терминами, тогда как терминология может быть более разрозненной и менее структурированной [2].

Немецкоязычные термины могут быть представлены одним простым словом, словосочетанием, состоящим из нескольких компонентов, а также сложным словом, имеющим в составе два и более корня [3]. Последний вид терминов является наиболее распространенным в немецком языке. В связи с этим, одной из главных трудностей при овладении немецкоязычной терминосистемой в контексте изучения немецкого языка в инженерном вузе является возможное несоответствие терминосистем русского и немецкого языков, а также неочевидная семантика немецких терминов для русскоязычных студентов. В соответствии с данной проблемой ученые классифицируют термины по признаку их содержательной структуры, выделяя *полностью мотивированные* и *частично мотивированные* термины [4].

Полностью мотивированные термины характеризуются тем, что их значение полностью объяснимо значением составляющих их элементов. *Частично мотивированные термины* отличаются очевидной семантикой только части элементов, входящих в их состав.

Таким образом, обучение студентов младших курсов инженерных вузов терминосистеме в контексте изучения немецкого языка является проблемной задачей, решение которой требует задействования эффективных средств для ее решения.

Аутентичный песенный материал на немецком языке

Прежде чем рассмотреть лингводидактический потенциал и технологию применения аутентичного песенного материала для работы с терминосистемой на немецком языке, раскроем сущность понятия «аутентичный учебный материал». Такой материал характеризуется заимствованием из иноязычных источников, отсутствием адаптации для учебных целей, а также иллюстрацией использования изучаемого языка в контексте реального общения [5].

Рассматривая роль песенных композиций в обучении ИЯ методисты отмечают, что их применение способствует развитию у учащихся фонетических и лексико-грамматических навыков, умений аудирования, социокультурной осведомленности, а также появлению у учащихся эмоционального отклика, повышению их учебной мотивации и запоминанию сложных грамматических структур и лексических единиц на подсознательном уровне [6]. Помимо этого, песни отличаются коротким хронометражем (в среднем 3 минуты) и смысловой завершенностью, а видеоклипы к ним служат дополнительной визуальной опорой при работе с текстом песни.

Стоит отметить, что важную роль при использовании аутентичного песенного материала при работе с немецкоязычной терминосистемой играет отбор учебного материала в

соответствии с *принципами коммуникативной* и *информационной ценности*, а также *принципом дидактической целесообразности* [7].

Принцип коммуникативной и информационной ценности предполагает отбор такого аутентичного песенного материала, который способствует изучению терминов и связанных с ними грамматических структур в релевантном для студентов контексте. Принцип дидактической целесообразности подразумевает отбор аутентичного песенного материала в соответствии с уровнем владения языком студентов, а также образовательными целями и задачами конкретного занятия.

Источниками песен, которые могут быть использованы для работы с немецкоязычной терминосистемой, являются YouTube-каналы ученых-энтузиастов, которые создают песенные композиции для объяснения сложных научных терминов. Примером такого канала может служить «DorFuchs» – канал доктора математических наук Йохана Бойриха, на котором он публикует песни собственного сочинения, посвященные объяснению математических формул и концепций. Среди его произведений песни о комбинаторике, свойствах степеней, квадратных функциях и многом другом.

Технология работы с терминосистемой

Процесс применения отобранных в соответствии с выделенными критериями аутентичных песенных видеоклипов для обучения студентов младших курсов инженерных вузов немецкоязычным терминам включает в себя несколько этапов, среди которых *подготовительный*, *репродуктивный* и *продуктивный этапы* [8; 9; 10].

Подготовительный этап направлен на знакомство студентов с темой видеоклипа и представленной в нем терминологией. Данный этап включает в себя выполнение упражнений, направленных на соотнесение русских эквивалентов с немецкоязычными терминами, подбор эквивалентов, имеющих схожий способ словообразования, а также определение значения немецкоязычных терминов без помощи словаря [3].

Репродуктивный этап предполагает взаимодействие студентов с содержанием видеоролика. Цель данного этапа состоит в понимании и воспроизведении учащимися представленной информации. Этот этап предполагает использование языковых упражнений, таких как вопросы со множественным выбором и подстановочные упражнения, которые направлены на понимание и усвоение терминов.

Продуктивный этап нацелен на применение изученного материала в речевой деятельности. На данном этапе предполагается использование условно-речевых и подлинно речевых упражнений. Так учащимся может быть предложено обсуждение представленной теории или концепции и связанной с ней терминосистемы, а также обмен мнениями от просмотра видеоклипа.

Заключение

В данной статье проанализирована специфика немецких научных терминов и сложности их изучения для русскоязычных студентов, а также рассмотрен лингводидактический потенциал и технология применения аутентичных песенных материалов при работе с терминосистемой в контексте обучения студентов младших курсов инженерных вузов. По результатам проведенного исследования было определено, что для терминов в немецком языке наиболее характерно образование посредством словосложения. В связи с этим одной из трудностей, возникающей у русскоязычных студентов при работе с терминосистемой на немецком языке является мотивированность значения структурных элементов термина, которая проявляется в их неочевидной связи с обозначаемым явлением. Такие термины составляют значительную часть немецкой научной терминологии, поэтому работа с ними требует особого внимания, а также внедрения в учебный процесс эффективных средств обучения.

Таким средством обучения является аутентичный песенный материал, т.е. материал, созданный носителями немецкого языка для носителей немецкого языка с целью осуществления реальной коммуникации. Примером аутентичного песенного материала, эффективного в работе с немецкой научной терминологией являются видеоклипы песен, созданных для объяснения научных теорий, концепций и терминов. Отобранные в соответствии с принципами коммуникативной и информационной ценности, а также принципом дидактической целесообразности, такие песни способствуют развитию речевых навыков и умений студентов, росту у них учебной мотивации, а также подсознательному запоминанию сложных терминов. При этом важным аспектом включения аутентичного песенного материала в процесс работы с немецкой терминосистемой является его адаптация в соответствии с целями и задачами конкретного занятия.

Технология работы с терминосистемой на основе аутентичных песенных материалов на немецком языке включает в себя подготовительный, репродуктивный и продуктивный этапы. Подготовительный этап направлен на ознакомление студентов с представленными в тексте песни терминами. Репродуктивный этап нацелен на понимание и воспроизведение студентами рассмотренных терминов. Продуктивный этап ориентирован на включение изучаемого материала в речевую практику.

Список источников

1. *Шарафутдинова Н.С.* О понятиях «терминология», «терминосистема» и «терминополе». Филологические науки. Вопросы теории и практики. – 2016. – № 6 (60). – С. 168-171.
2. *Липина Ю.А.* К вопросу о корреляции понятий «терминология» и «терминосистема». Язык науки и техники в современном мире: Сборник научных статей по материалам X Международной научно-практической конференции, Омск, 2021. – Омск: Омский государственный технический университет, 2021. – С. 36-43.
3. *Завьялова М.С.* Обучение научно-технической терминологии на занятиях по иностранному языку. Ученые записки Орловского государственного университета. – 2020. – № 2 (87). – С. 177-179.
4. *Саитова Г.Н.* Особенности образования и классификации терминов в немецком языке. Вестник Башкирского университета. – 2015. – Т. 20. – № 2. – С. 591-594.
5. *Казакова М.А.* Аутентичные текстовые материалы в обучении иностранному языку. Вестник Бурятского государственного университета. – 2016. – № 4. – С. 50-59.
6. *Быстрай Е.Б., Белова Л.А., Слабышева А.В., Штыкова Т.В.* Формирование интереса к изучению иностранных языков в процессе использования аутентичных аудиоматериалов // Перспективы науки и образования. – 2020. – № 1 (43). – С. 242-257.
7. *Сафонова В.В., Базина Н.В.* Методические принципы отбора аутентичных видеофильмов для учебных целей // Иностранные языки в школе. – 2014. – № 7. – С. 2-10.
8. *Исупова М.М.* Использование неигровых аутентичных видеоматериалов при обучении иностранному языку студентов неязыковых вузов. Историческая и социально-образовательная мысль. – 2016. – Т. 8. – № 2 (2). – С. 148-153.
9. *Перчаткина В.Г.* Роль музыкального компонента в вопросе обучения иностранному языку. Казанский педагогический журнал. – 2016. – № 4 (117). – С. 130-134.
10. *Богачева А.Н.* Работа с песней как способ создания искусственной языковой среды на занятиях РКИ. Карельский научный журнал. – 2020. – Т.9. – № 4 (33). – С. 7-10.

TECHNOLOGY OF WORK WITH TERM SYSTEM ON THE BASIS OF AUTHENTIC SONG MATERIALS IN GERMAN WITH JUNIOR STUDENTS OF ENGINEERING UNIVERSITIES

A.S. Mazurin
MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
alexandermazurin@mail.ru

Abstract

The article presents a detailed analysis of the German-language terminological system, focusing on its distinctive features and the challenges encountered by native Russian-speaking engineering undergraduates in its acquisition. The study identifies compounding as the main mechanism for term formation in German technical and scientific vocabulary, a process that often yields complex lexical units whose constituent morphemes may display either clear or subtle connections to the concepts they denote. This morphological characteristic can impede comprehension when semantic contributions of affixes, prefixes, or roots remain opaque, necessitating targeted pedagogical strategies to foster deeper understanding and retention of specialized terms within academic curricula. Effective mastery of the German terminological system requires instructional resources capable of elucidating the internal logic of compound terms and promoting active engagement with domain-specific vocabulary. Authentic song materials represent an educational tool in this context. These materials, produced by native speakers for communication, offer linguistic input delivered through melodic and rhythmic structures that facilitate cognitive processing. Music videos incorporating scientific theories, conceptual explanations, or technical terminology embed target vocabulary within narrative and emotive frameworks, thereby increasing motivation and contextual relevance.

Selection criteria based on communicative significance, informational density, and didactic appropriateness ensure that chosen songs align with learning objectives and resonate with student interests. Repetition of target terms through lyrical patterns, melodic contours, and mnemonic devices encourages subconscious memorization, while listening and comprehension tasks strengthen oral skills and reinforce semantic associations. This combined focus on receptive and productive competencies contributes to a robust command of technical vocabulary.

A systematic methodology for integrating authentic song materials into terminological instruction comprises three interconnected phases. The preparatory phase familiarizes students with target terms by guiding analysis of morphological components and semantic relationships within song lyrics. The comprehension phase engages learners in comprehension and reproduction activities designed to ensure accurate interpretation and use of terminology in context. The integrative phase invites learners to apply acquired terms through creative output tasks such as oral presentations or synthesized explanations. Through this sequenced approach, authentic song materials serve as an effective pedagogical resource, supporting both terminological precision and communicative competence in German-language instruction for engineering students.

Keywords

Terminology system, technology of working with terminology system, authentic educational material, song material, German

УДК 37.02:811.161.1

УПРАВЛЕНИЕ ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИМИ ПОТОКАМИ В НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОМ ДИСКУРСЕ

Ф.С. Макоева[1]
[1] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
makoeva@mirea.ru

Аннотация

В статье рассматриваются особенности управления терминологическими потоками в научно-техническом дискурсе, а также лингвистико-логистический подход к управлению данными потоками. Автором анализируются механизмы формирования, распространения и стандартизации терминов, а также влияние цифровых технологий на динамику терминосистем под влиянием технологического прогресса, междисциплинарного взаимодействия и глобализации научного знания. Особое внимание уделяется методам упорядочивания терминосистем, а также проблемам многозначности, заимствований и гармонизации терминов в различных языковых средах. На основе исследования предлагаются практические рекомендации по оптимизации терминологического менеджмента в профессиональной коммуникации.

Ключевые слова

Термин, терминологический поток, научно-технический дискурс, лингвистическая логистика, стандартизация терминов, цифровизация науки.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Научно-технический дискурс (НТД) характеризуется высокой динамикой терминологических потоков, обусловленной развитием технологий, междисциплинарными исследованиями и глобализацией науки. Управление этими потоками требует системного подхода, объединяющего лингвистику, терминоведение и информационный менеджмент. А также связано с необходимостью упорядочивания терминологии, так как обилие несистематизированных и неструктурированных терминов может замедлить развитие научной мысли [9]. По мнению И. Р. Гальперина, главный признак текстов научно-технического дискурса — терминологичность. При этом, помимо использования большого числа общепринятых терминов, в таком дискурсе ряд общеупотребительных слов приобретает статус термина [5]. К.М. Роева выделяет разновидность научного дискурса – специализированный научно-технический дискурс. Основой специализированного научно-технического дискурса, является его собственно техническая составляющая с элементов экономического, экологического, политического и некоторых других видов дискурса, которая придает спаянность потоку речи, логичность, краткость, выражает причинные, следственные, временные отношения, релевантные для научно-технического дискурса [8]. Что же представляет собой термин? Каковы его свойства?

Основная часть

Термин — это знаковая единица, которая: обозначает понятие в конкретной области знаний; имеет строгую дефиницию в рамках терминосистемы; обеспечивает точность профессиональной коммуникации. Рассматривая теоретическую обоснованность термина, нельзя не вспомнить о его лингвистических характеристиках, отличающих термин от общеупотребительной лексики:

Таблица 1. Лингвистические характеристики

Критерий	Термин	Общеупотребительная лексика
Значение	Однозначное, фиксированное	Многозначное, вариативное
Контекст	Специализированный	Универсальный
Функция	Номинация понятий	Общение в бытовой сфере

Научно-техническая терминология — подвижный пласт лексики, который постоянно обогащается и изменяется. В последнее время очень популярным стало направление лингвистической логистики, междисциплинарной области, объединяющей методы языкознания, информатики и менеджмента для оптимизации работы с терминологией. Её задачи заключены в систематизации терминов (классификация, унификация), распространении терминологии среди специалистов и адаптации терминов для иноязычной аудитории (например, в РКИ). Логистический подход предполагает прогнозирование терминологических потребностей, мониторинг употребления терминов в корпусах текстов, а также устранение дублирования, выбор между синонимами.

Это обусловлено научной унификацией терминологии той или иной области знания, которые, в свою очередь, подразделяются по структуре на простые (алгоритм, напряжение) и составные (удельное сопротивление, база данных), по происхождению, что важно с точки зрения акцентологической нормы русского языка на заимствованные (интерфейс, дефрагментация) и кальки (переменная величина ← variable quantity). Процесс же циркуляции, трансформации и закрепления терминов в профессиональном сообществе называется терминологическим потоком. Его основные характеристики: источники генерации терминов (научные публикации, патенты, стандарты, ИИ-алгоритмы); каналы распространения (академические журналы, конференции, базы данных, соцсети), например, в области искусственного интеллекта термины «нейросеть, машинное обучение, трансформер распространяются через научные блоги; факторы изменчивости (конкуренция терминов, заимствования, полисемия)

Каковы же аспекты управления терминологическими потоками? Прежде всего, - это создание модели терминообразования. Она должна быть действенной и эргономичной, чтобы сделать инновационный контекст прозрачным и обеспечить эффективное развитие дисциплинарного сегмента [10]. В дальнейшем, использование существующих терминологических номинаций. Учёные часто отдают предпочтение уже существующим терминам и формируют из них словосочетания, и только в исключительных случаях создают новые термины. И впоследствии, изучение формирующихся терминологических систем, что позволяет не только систематизировать и стандартизировать новую терминосистему, но и преодолеть ряд проблем, которые могут возникнуть при межкультурной профессиональной коммуникации [7].

Эффективное усвоение профессиональной терминологии требует активной практики и контекстного обучения. Ниже приведены упражнения, которые возможно использовать на занятиях по русскому языку как иностранному.

1. «Сопоставь термин и определение»

Таблица 2. Пример для темы «Электротехника»

Термин	Определение
Резистор	Элемент, ограничивающий силу тока.
Конденсатор	Устройство для накопления заряда.
Транзистор	Полупроводниковый прибор для усиления сигнала.

Студенты должны продемонстрировать термины в аутентичных текстах (научные статьи, инструкции), используя схемы, графики (например, для термина «кристаллическая решетка»). А также сравнить с эквивалентами в родном языке студентов.

2. Кейс-задание: анализ текста с выделением терминов.

3. Создание тематических словарей с примерами.

4. Симуляция профессиональных ситуаций (ролевая игра) (например, «объяснение неисправности оборудования»; «Интервью с инженером»: студент А — «инженер», объясняет термин (например, «КПД»), студент Б — «журналист», задаёт уточняющие вопросы).

5. Выполнение тестов на соответствие (термин↔определение).

6. Подготовка презентаций с использованием профессиональной лексики.

7. «Найди лишнее». Пример для темы «Программирование»: а*лгоритм, функция, переменная, молоток, цикл.* Объяснить, почему *«молоток»* не относится к IT-терминам.

8. «Заполни пропуски»: «_____ (датчик) обнаруживает изменение температуры и передает _____ (сигнал) на _____ (микроконтроллер).» *Термины для вставки*: сенсор, данные, чип, сигнал, микроконтроллер.

9. Творческие задания: «Создай инфографику»: визуализировать термин «бинарный поиск» в виде схемы или комикса.

10. «Напиши технический твит»: объяснить термин «интерфейс» в одном предложении (до 280 символов).

Типичными трудностями в выполнении данных заданий является интерференция, влияние родного языка: например, «большой данных» вместо «большие данные», многозначность в разных областях («модуль» в математике и программировании).

Такие упражнения не только улучшают запоминание, но и развивают профессиональные коммуникативные навыки, для совершенствования которых необходимо разрабатывать отраслевые терминологические минимумы, интегрировать междисциплинарные связи (язык + профильные предметы).

Заключение

Таким образом, управление терминологическими потоками требует комбинации лингвистических, информационных и управленческих методов, т.к. перспективы данных процессов ведут к развитию автоматизированных систем терминологического менеджмента и гармонизации международных и национальных терминосистем.

Список источников:

1. *Виноградов В.А.* Термин в научном дискурсе / Вестник Нижегородского университета им. Лобачевского, 2014, № 2 (1), с. 368–372.
2. *Гринев-Гриневич С.В.* Терминоведение. — М., 2020.
3. Каравайская О.С. Семантические процессы в англоязычной терминосистеме транспортной логистики. /www.gramota.net/materials/2/2020/5/40.html
4. *Конькова И.И.* Структура и узус терминов в научно-техническом дискурсе (сфера нанотехнологий и оптоволоконной техники. / www.gramota.net/materials/2/2016/4-1/34.html
5. *Конькова И.И.* Структорно-функциональные характеристики антропотомических и терминологических составляющих англоязычного научно-технического дискурса. Саранск, 2018. https://lunn.ru/media/upr_NIR/dis_sov/01/konkova/dissertaciya.pdf
6. Лингвистическая и транслатологическая логистика многоязычного туристического интернет-ресурса [Текст]: коллективная монография / [В. А. Митягина и др.]; под общей редакцией доктора филологических наук В. А. Митягиной ; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. автономное образовательное учреждение высш. образования "Волгоградский государственный университет". — Волгоград : Изд-во ВолГУ, 2016. — 233 с. : 20 см.; ISBN 978-5-9669-1631-2.
7. *Мартемьянова М.А.* Особенности формирования современных научных технических терминологических систем. / https://cheloveknauka.com/osobennosti-formirovaniya-sovremennyh-nauchnyh-tehnicheskih-terminologicheskih-sistem
8. *Роева К.М.* Межкатегориальные связи в грамматике причастия (на материале специализированного научно-технического дикурса). Автореф. дисс. … канд. филол. наук.- Ижевск, 2009.
9. *Сысоев П.В.* Методика обучения профессиональной лексике. — М., 2022.
10. *Яшина Т.В.* Дисциплинарные и междисциплинарные пути развития терминологического аппарата в инновационно-техническом дискурсе. / Вестн. Волгогр. гос. ун-та. Сер. 2, Языкозн. - 2012. № 2 (16). - с.106.

MANAGING TERMINOLOGY FLOWS IN SCIENTIFIC AND TECHNICAL DISCOURSE

F.S. Makoeva[1]
[1]MIREA - Russian Technological University (Moscow, Russia)
makoeva@mirea.ru

Abstract

The article discusses the features of terminological flow management in scientific and technical discourse, as well as the linguistic and logistic approach to managing these flows. The author analyzes the mechanisms of formation, distribution and standardization of terms, as well as the influence of digital technologies on the dynamics of thermosystems under the influence of technological progress, interdisciplinary interaction and globalization of scientific knowledge. Particular attention is paid to methods for ordering thermino systems, as well as problems of ambiguity, borrowing and harmonization of terms in various language environments. The study provides practical recommendations for optimizing terminology management in professional communication.

Key words

Term, terminological flow, scientific and technical discourse, linguistic logistics, standardization of terms, digitalization of science.

УДК 81'42:81'276.6

ЛИНГВОПРАГМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕКСТОВ ТУРИСТИЧЕСКОГО ДИСКУРСА

Е.В. Мороз[1]
Научный руководитель – В.А. Митягина[2]
Волгоградский государственный университет (Волгоград, Россия)
[1]Spicina_k@mail.ru, [2]mityagina@mail.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Недостаточно изучены лингвопрагматические особенности в стратегиях коммуникации текстов туристического дискурса, в частности, специфика выбора языковых средств в зависимости от коммуникативных задач (информирование и привлечение внимания). Исследовательский интерес вызывает степень коммуникативной эффективности лингвопрагматических особенности текстов туристического дискурса, детерминированных, предположительно, рекламно-информационным синтезом.

Цель. Выявить и систематизировать лингвопрагматические особенности туристических текстов, определяющие их коммуникативные стратегии, на примере немецкоязычного путеводителя г. Кельн.

Результаты. Определены ключевые лингвопрагматические характеристики текстов туристического дискурса, проанализированы вербальные и невербальные составляющие, коммуникативные стратегии в зависимости от прагматической установки текста.

Практическая значимость. Полученные результаты позволят повысить коммуникативный эффект текстов, позиционирующих туристские объекты, улучшить качество кросс-культурной коммуникации и имидж туристической дестинации.

Ключевые слова

Лингвопрагматика, лингвопрагматические особенности, туристический дискурс, позиционирование туристского объекта, рекламно-информационный синтез.

A brief version in English is given at the end of the article

Материалы статьи

В современных условиях глобализации и развития туризма в целом особое значение приобретает исследование лингвопрагматических особенностей туристического дискурса. Туризм как комплексный феномен социокультурной практики, включающий рекреацию, досуг и бизнес, систему международных туристических отношений и коммуникаций [6] превратился в крупномасштабную индустрию.

Исследовательский интерес вызывает степень коммуникативной эффективности лингвопрагматических особенности текстов туристического дискурса, детерминированных, предположительно, рекламно-информационным синтезом.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью детального изучения языковых механизмов воздействия в туристической коммуникации, что позволяет выявить специфику формирования туристического имиджа территорий и разработать эффективные стратегии позиционирования объектов в туристическом дискурсе.

Цель исследования заключается в комплексном анализе лингвопрагматических особенностей текстов туристического дискурса и выявлении их коммуникативной эффективности.

Объектом исследования выступает туристический дискурс как особый тип институционального дискурса.

Предметом исследования являются лингвопрагматические характеристики текстов туристического дискурса, включающие:

- Прагматические стратегии и тактики
- Языковые средства реализации коммуникативных целей
- Механизмы воздействия на адресата

Туристический дискурс как объект лингвистического исследования рассматривается в работах ряда отечественных и зарубежных ученых. В. И. Карасик определяет его как разновидность институционального дискурса, характеризующуюся специфической коммуникативной ситуацией и набором участников [3].

В. А. Митягина понимает под дискурсом связный текст в совокупности с экстралингвистическими — прагматическими, социокультурными, психологическими и др. — факторами [5].

Туристический дискурс представляет собой комплексную коммуникативную систему, включающую различные жанры, направленные на привлечение внимания потенциальных туристов и формирование у них мотивации к путешествию.

Отметим, что литература путешествий обеспечивает формирование наших знания и представления о мире, восполняя пробелы [9], соответственно, тексты туристического дискурса позиционируют объект повышенного интереса в детерминации его социокультурных ценностей, где исследование лингвистического материала – стилей, жанров, дискурсов имеет ключевую роль [11], поскольку язык – «ткань культуры» и неотъемлемый компонент триады «личность – общество – культура» [5].

Т. Ю. Махортова выделяет ключевую роль вербальной составляющей в формировании туристически привлекательного образа страны/региона/города, [4].

В статье А. А. Гуреевой, где представлен анализ средств реализации PR-функций текста туристического брендинга, можно найти подтверждение данного тезиса [2].

Анализируя лингвопрагматику немецкоязычных и русскоязычных брендинговых текстов, Э. Ю. Новикова отмечает, что выбор языковых средств обусловлен разными коммуникативными задачами: русскоязычные материалы ориентированы на информирование, а немецкоязычные — на рекламу региона и привлечение туристов [7, 8].

Таким образом, лингвопрагматический фокус анализа текстов туристического дискурса должен учитывать следующие параметры: жанр и его особенности, коммуникативную функция текста, его прагматическую задачу, вербальные средства, реализующие коммуникативный эффект.

Лингвопрагматический подход Н. Д. Арутюновой [1] предполагает учет экстралингвистических факторов коммуникативной ситуации, включая цель коммуникации, эмоциональный фон, культурный опыт, социальный статус коммуникантов, время и место коммуникативного действия.

Отметим реализацию базовых прагматических стратегии немецкоязычного путеводителя г. Кельн:

- стратегия привлечения внимания;
- стратегия убеждения;
- стратегия создания имиджа;
- стратегия информирования.

Выделим коммуникативные стратегии текстов туристического дискурса:

1. информирование, создание базового понимания об объекте у потенциального туриста;
2. создание аттрактивного образа позиционируемого объекта с целью замотивировать к посещению объекта;
3. создание доверия у потенциального туриста;
4. убеждение потенциального туриста посетить объект, приобрести тур, совершить поездку.

Коммуникативные тактики в туристическом дискурсе детерминированы доминантой создания положительного образа туристского объекта с целью интенсификации туристических потоков, соответственно, данные тексты характеризуются рекламно-информационным синтезом. В данном аспекте основными задачами выступают позиционирование объекта, создание уникальности туристического продукта, апелляция к

авторитетам, выделение преимуществ и экономических выгод от приобретения туристического опыта.

Синтаксический уровень данных текстов отличается преобладанием простых для понимания предложений и использованием императивных конструкций.

Текстообразующие аспекты включают необходимый уровень информативности для создания понимания о позиционируемых объектов у потенциального туриста. Когезия, когерентность и структурная организация также характеризуют данные тексты.

Проанализируем вербальную и невербальную составляющие немецкоязычного путеводителя г. Кельн [10] с целью детерминации его лингвопрагматики.

В данных текстах преобладает ***лексика с положительной семантикой***.

Hochkarätige *Sonderausstellungen* ***lohnen*** *auch einen Zweit- oder Drittbesuch /* ***Высококлассные*** *специальные выставки также* ***стоят*** *второго и третьего посещения (здесь и далее перевод Е.В.).*

Der Rundgang listet nicht weniger als fünf ***bedeutende*** *Kirchen und drei* ***erstrangige*** *Museen auf.*

Частотны ***прецедентные упоминания, отсылки к прецедентным текстам***, употребление ***прилагательных в превосходной степени***.

Neben dem Dom ***prägt*** *der Turm* ***von St. Martin*** *das Altstadtpanorama* ***am stärksten /*** *Наряду с кафедральным собором, башня* ***Святого Мартина*** *является* ***самым заметным*** *элементом панорамы исторической части города.*

Для данных текстов характерны ***метафоры***, ***фразеологизмы*** и ***сравнения***.

Das Gotteshaus steht im Zentrum der Altstadt, die aus ***jeder Pore mittelalterliches Flair*** *und* ***kölsches Lebensgefühl atmet /*** *Собор расположен в историческом центре города, который* ***каждой клеточкой излучает средневековый колорит и дух Кельна***.

Die Kirche steckt ***voller Wunder*** *und* ***Schätze /*** *Церковь* ***полна чудес и сокровищ***.

Довольно часто встречается ***инверсия*** в туристических текстах, расставляющая акцент на коммуникативно релевантных смыслах, делая текст более динамичным.

Zu begutachten gibt es u. a. die umfang reichste Pop-Art-Sammlung *außerhalb der USA /* *Среди прочего, здесь можно увидеть* ***самую богатую коллекцию поп-арта*** *за пределами США.*

Bestes Verkehrsmittel für eine Tour am Rhein entlang nach Süden ist das Fahrrad / Лучшее средство передвижения для экскурсионной поездки на юг вдоль Рейна – велосипед.

Рекомендательная модальность, формирующая обращение к потенциальному туристу, устанавливающая доверительный дружелюбный тон.

Für die Besteigung des südlichen Domturms ***sollte man*** *ein wenig Kondition mitbringen /* *Чтобы подняться на южную башню собора, нужно быть немного подготовленным.*

Употребление ***локативной лексики***, обеспечивающей технику иммерсивности реципиента текста.

Das Kölsch *bringt man* ***am besten*** *selbst mit oder kauft es* ***vor Ort am Kiosk oder im Biergarten / Лучше всего*** *принести свое* ***пиво Кёльш*** *или купить* ***его на месте в киоске или в пивном саду***.

Использование ***лексики разговорного стиля*** с целью создания в подсознании реципиента образа «знакомого» и, соответственно, установления доверительного тона коммуникации.

Das ehemalige „Werthchen“ ***entpuppt sich*** *heute als hypermodernes Stadtquartier am Rhein mit Industriearchitektur / Бывший остров Вертхен сегодня* ***представляет собой*** *гиперсовременный городской квартал на Рейне с промышленной архитектурой.*

Лексика возвышенного стиля добавляет эстетичности, интенсифицируя положительный образ позиционируемого объекта.

Die deftige Küche ***mundet*** *dennoch* ***i. d. R. ausgezeichnet! /*** *Тем не менее, сытная кухня,* ***как правило, превосходна!***

Употребление сокращений позволяет снизить синтаксическую нагрузку, облегчив восприятие информации.

Вопросительные предложения формируют обращение к реципиенту текста, тем самым устанавливая с ним контакт и привлекая его внимание.

Was gibt es in der City darüber hinaus zu erleben? / Что еще можно посмотреть в городе помимо этого?

Частотно ***обращение на Вы*** в немецкоязычных туристических текстах, посредством которого устанавливается контакт с потенциальным туристом, вызывая у него доверие.

Restaurants, Cafés und andere Einkehrmöglichkeiten im jeweiligen Viertel ***finden Sie*** *am Ende der einzelnen Stadttouren / В конце индивидуальных экскурсий по городу* ***Вы найдете*** *рестораны, кафе и другие места, где можно подкрепиться в каждом районе.*

Характерной особенностью данных текстов выступает ***прием визуализации*** для создания мотивирующего к посещению положительного образа объекта в сознании потенциального туриста, часто здесь встречается апелляция к эмоциональному фону реципиента.

Die ***neu gestaltete*** *Uferpromenade auf der Deutzer Rhein Seite mit den* ***einladenden*** *Sitztreppen bietet* ***beste Möglichkeiten****, um nach dem Stadtbummel* ***einen entspannten Blick auf Hohenzollernbrücke, Altstadt und Dom zu werfen / Свежеспроектированная*** *набережная на берегу Рейна со стороны Дойца с* ***привлекательными*** *ступенями для сидения предлагает* ***уникальную возможность насладиться видом на мост Гогенцоллернов, историческую часть и собор после прогулки по городу****.*

In den Altstadtkneipen ***herrscht professionelle Gemütlichkeit in zünftigem Ambiente /*** *В пабах Старого города* ***царит профессиональный уют в изысканной атмосфере.***

Частотны ***манипулятивные техники*** в данных текстах, например, *апелляция к «общеизвестным»* фактам.

Jeder Kölner kennt *die Deutzer Kaschemme – spätestens seit der Wirt* ***Bill Clinton*** *des Hauses verwies, weil er die Stammgäste nicht* ***düpieren*** *wollte.*

Таким образом, лингвопрагматическая направленность текстов туристического дискурса определяется основной целью – побуждением к действию, а именно, посещению позиционируемого объекта. Следовательно, данные тексты характеризуются гиперболизацией достоинств позиционируемого «объекта к посещению», использованием эмоционально-оценочной лексики, применением метафорических моделей. Информативная составляющая обеспечивает необходимый минимум для понимания, включая географические данные, временные параметры, транспортные возможности и т.д. Данные тексты детерминированы синтезом комбинации объективных данных с субъективной оценкой и применением стратегий аргументации.

Учитывая вышеизложенное, тексты туристического дискурса представляют собой особую коммуникативную систему с четко выраженной лингвопрагматикой. В данных текстах реализуется комплекс прагматических стратегий и тактик, где языковые средства направлены на достижение конкретных коммуникативных целей. Эффективность текстов туристического дискурса определяется оптимальным сочетанием информационной и рекламной составляющих.

Список литературы

1. *Арутюнова Н.Д.* Язык и мир человека. – М.: Языки русской культуры, 1999. – 896 с
2. *Гуреева А. А.* PR-функция текста туристического брендинга: лингвистиче ские средства как способ реализации // Брендинг как коммуникативная тех нология XXI века : матер. III Всерос. науч.-практ. конф. 1—3 марта 2017 года / под ред. проф. А. Д. Кривоносова. СПб., 2017. С. 128—132.
3. *Карасик, В. И.* Культурные доминанты в языке / В. И. Карасик // Карасик, В. И. Языковой круг: личность, концепты, дискурс. – Волгоград : Перемена, 2002. – С. 166–205.
4. *Махортова Т. Ю.* PR-функция текста туристического брендинга: лингви стические средства как способ реализации // Брендинг как коммуникативная технология XXI века : матер. III Всерос. науч.-практ. конф. 1—3 марта 2017 года / под ред. проф. А. Д. Кривоносова. СПб., 2017. С. 141—144.

5. *Митягина, В. А.* Социокультурные характеристики коммуникативного действия : монография / В. А. Митягина. – Волгоград : Изд-во ВолГУ, 2007. – 356 с.
6. *Мошняга, Е. В*. Концептосфера международного туризма в контексте межкультурной коммуникации / Е. В. Мошняга // Знание. Понимание. Умение. – 2008. – № 4. – С. 146–151.
7. *Новикова Э. Ю.* Бренд-нейминг в туристическом дискурсе: лингвопраг матика, стратегии перевода // Homo Loquens: Вопросы лингвистики и транс лятологии : сб. ст. Волгоград, 2017. Вып. 10. С. 13—27.
8. *Новикова Э. Ю.* Туристический имидж глокального города: лингвопраг матическое измерение // Вестник Воронежского государственного универси тета. Сер. Лингвистика и межкультурная коммуникация. 2015. Вып. 1. С. 53—57. 12.
9. *Шелер, М.* Формализм в этике и материальная этика ценностей / М. Шелер; пер. с нем. А. В. Денежкина, А. Н. Малинкина, А. Ф. Филлипова; под ред. А. В. Денежкина // Избранные произведения. – М. : Гнозис, 1994. – 413 с.
10. Köln-Reiseführer [Электронный ресурс] https://www.ameropa.de/service/reisefuehrer (Дата обращения: 27.04.2025)
11. *Thurlow, C.* Tourism discourse: languages and banal globalization / C. Thurlow, A. Jaworski // Applied Linguistics Review. – 2011. – Vol. 2. – P. 285–312.

LINGUOPRAGMATIC PECULIARITIES OF TEXTS OF TOURIST DISCOURSE

E.V. Moroz[1]
Scientific Adviser – V.A. Mityagina[2]
Volgograd State University (Volgograd, Russia)
[1]Spicina_k@mail.ru, [2]mityagina@mail.ru

Abstract

Problem statement. Linguopragmatic peculiarities in the communication strategies of tourist discourse texts, in particular, the specificity of the choice of linguistic means depending on the communicative tasks (informing and attracting attention) are insufficiently studied. The degree of communicative effectiveness of linguopragmatic features of tourist discourse texts, presumably determined by advertising and information synthesis, is of research interest.

Objective. To identify and systematise the linguopragmatic features of tourist texts determining their communicative strategies on the example of a German-language guidebook of Cologne.

Results. The key linguopragmatic characteristics of tourist discourse texts are determined, verbal and non-verbal components, communicative strategies depending on the pragmatic setting of the text are analysed.

Practical significance. The obtained results will allow increasing the communicative effect of texts positioning tourist objects, improving the quality of cross-cultural communication and the image of tourist destination.

Keywords

Linguopragmatics, linguopragmatic peculiarities, tourist discourse, positioning of tourist object, advertising-information synthesis.

УДК 811.161.1’243:159.922

АНТРОПОЦЕНТРИЧНЫЙ ПОДХОД В ПРАКТИКЕ ОБУЧЕНИЯ РУССКОМУ ЯЗЫКУ КАК ИНОСТРАННОМУ СТУДЕНТОВ НЕФИЛОЛОГИЧЕСКИХ ВУЗОВ

Ж.О. Москвина[1]
[1]Российский технологический университет МИРЭА (Москва)
[1]moskvina.j@mail.ru

Аннотация

В статье рассматриваются особенности антропоцентричного подхода в практике обучения русскому языку как иностранному студентов. Автором определяются цели, задачи и педагогические приемы, направленные на трансформацию языковой личности обучающегося, а также доказывается эффективность использования антропоцентричного подхода в формировании и развитии когнитивных, коммуникативных и прагматичных навыков студентов-иностранцев в процессе адаптации к новой языковой среде.

Ключевые слова

Русский как иностранный, антропоцентричный подход, антропологическая лингвистика, языковая личность, языковая картина мира.

A brief version in English is given at the end of the article

Материалы статьи

Современный взгляд на преподавание русского языка как иностранного предполагает поворот к антропоцентричному подходу в обучении. Постепенное угасание внимания педагогов к привычной лингвоцентричной модели, подразумевающей фокус внимания преподавателя на системе языка, грамматических конструкциях, а также лексическом наполнении, предполагает поиск новых форм, методов и принципов взаимодействий с обучающимися. Антропоцентричная модель преподавания языка концентрирует внимание преподавателя на языковой личности обучаемого, его особенностях восприятия, основанных на устоявшихся национальных и личных языковых картинах мира. Опираясь на понимание взаимосвязей между языком, мышлением и познанием обучающегося, учитывая национально-культурную специфику восприятия студента, преподаватель создает фундамент для глубинного, целостного проникновения в суть изучаемого языка, расширив границы восприятия, сжатые изначально рамками категорий родного языка.

Понятие языковой личности включает в себя три основных уровня: вербально-семантический, когнитивный и прагматический.

Первый уровень языковой личности подразумевает владение определенным словарным запасом, навыками построения типовых грамматических конструкций. Второй представляет собой систему понятий, идей и концептов изучаемого языка как основу языковой картины мира, благодаря которой происходит постепенный переход от элементарных процессов говорения и понимания к процессам познания. Третий уровень оперирует многовекторностью прагматического использования изучаемого языка. Языковая личность студента находится отныне в центре внимания преподавателя в процессе выбора обучающего материала. Ведь преподаватель должен исходить из понимания круга интересов, желаний и стремлений обучающегося. Обезличенный подход к подбору необходимой лексики и грамматики остается в прошлом. Учебно-воспитательный процесс становится деятельностным, интерактивным, коммуникативным, индивидуальным и практико–ориентированным. Знания об изучаемом языке не подаются больше в готовом виде, а предполагают определенный уровень исследовательской деятельности обучающегося, развивая таким образом его когнитивные, коммуникативные и прагматические компетенции.

Потенциал антропоцентричного подхода к обучению русскому языку как иностранному не может быть раскрыт полностью без учета особенностей временных, ментальных и национальных рамок развития языка того или иного народа в частности и культуры в целом. Ведь без реконструкции привычной языковой картины мира обучающегося невозможно

развитие лингвокогнитивных компетенций: умения перефразировать, оперируя глубоким пониманием оттеночных значений синонимии, «читать между строк», проникая в скрытые смыслы, чувствование ошибок в построении языковых конструкций, способность выбора изобразительно- выразительных языковых средств, подходящих в той или иной ситуации.

Проявлением языковой личности при антропоцентричном подходе в процессе обучения русскому языку как иностранному становится умение студента воспринимать чужой и производить собственный текст, а также возможность вести грамотную дискуссию переходя от знания к значениям и наоборот. Таким образом, основной дидактической единицей курса языка становится текст, который помогает иностранному студенту ориентироваться не только в поверхностных значениях слов, но и в системе языковых концептов. Безусловно, определенную сложность составляет подбор текстов для изучения, поскольку преподаватель должен исходить из интересов студентов. В данном случае преподавателям предлагается провести начальное тестирование группы на выявление интересов, распределить студентов по мини-группам, найти точки соприкосновения интересов между группами и организовать процесс обучения в интерактивной форме. Таким образом, по мере овладевания русским языком как иностранным когнитивный уровень языковой личности студента обогащается за счет размытия образности, расширения значения концептов привычной языковой картины мира. Отдельно стоит отметить важность процесса именно расширения понимания концептов, а не замещения их на инофонные, поскольку именно обогащение языковой картины мира предполагает успешность межкультурной коммуникации в смешанных студенческих группах. Для расширения коммуникативных и когнитивных компетенций в таком случае занятие должно включать в себя упражнения, позволяющие анализировать речевую деятельность с точки зрения процессов смыслообразования. Для этого могут быть использованы как лигвокогнитивный анализ текста, так и дидактические игры.

С точки зрения развития прагматических компетенций языковой личности преподаватель может предложить студентам занятия, направленные на решение конкретных задач. Кейс может включать поиск языковых средств для выхода из сложившихся проблемных ситуаций, активизируя при этом речемыслительную деятельность студентов- иностранцев в поликультурной среде. Такового рода занятия позволяют обучающимся быстро ориентироваться в подборе лингвистических решений для достижения поставленных коммуникативных задач.

Список источников

1. Антропология языка : сборник статей / отв. ред. С. Р. Омельченко. – Вып. 2. – Москва : Флинта-наука, 2012. – 200 с.
2. Язык и ментальность : сборник статей / отв. ред М. В. Пименова. – Санкт-Петербург : Изд-во СПбГУ, 2010. – 696 с.
3. *Blomberg J und Thiering M.* Spatial Phenomenology and Cognitive Linguistics. Metodo 4 (2) 2016, 159-212 с.
4. Thiering M. Kognitive Semantic und kognitive Antropologie. Berlin, Walter de Gruyter GmbH 2018.- 358 с.

AN ANTHROPOCENTRIC APPROACH IN TEACHING RUSSIAN AS A FOREIGN LANGUAGE TO NON-PHILOLOGICAL UNIVERSITY STUDENTS

Zh.O. Moskvina[1]
[1]Russian Technological University MIREA (Moscow)
[1]moskvina.j@mail.ru

Abstract

The article examines the features of the anthropocentric approach in the practice of teaching Russian as a foreign language. The author defines the goals, objectives and pedagogical techniques aimed at transforming the student's linguistic personality, and also proves the effectiveness of using an anthropocentric approach in the formation and development of cognitive, communicative and pragmatic skills of foreign students in the process of adaptation to a new language environment.

Keywords

Russian as a foreign language, anthropocentric approach, anthropological linguistics, linguistic personality, linguistic worldview.

УДК 005.94:81'33:004.9

УПРАВЛЕНИЕ ЯЗЫКОВЫМИ РЕСУРСАМИ В ОРГАНИЗАЦИЯХ

Н.М. Муртазин[1], **Р.Э. Азизов**[2]
Научный руководитель – А. Н. Шовгенин[3]
МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] murtazin.n.m@edu.mirea.ru, [2] azizov.r.e@edu.mirea.ru, [3] shovgenin@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. В условиях цифровой трансформации и глобализации эффективное управление языковыми ресурсами становится ключевым фактором для организаций, ориентированных на международное взаимодействие, устойчивое развитие и высокое качество внутренней и внешней коммуникации. Языковые ресурсы охватывают широкий спектр компонентов — от терминологических баз и переводческих технологий до компетенций персонала и языковой политики. Отсутствие системного подхода к управлению языковыми ресурсами ведёт к потере знаний, снижению точности передачи информации и потере конкурентоспособности на глобальном рынке.

Цель. Проанализировать современные подходы к управлению языковыми ресурсами в организациях, выявить существующие проблемы и оценить перспективные решения, основанные на технологической и институциональной интеграции.

Результаты. В работе выделены ключевые направления управления языковыми ресурсами: формализация языковой политики, стандартизация терминологии, использование CAT-инструментов и организация систем контроля качества перевода. Выявлены основные барьеры — отсутствие мотивации специалистов, фрагментарность корпоративных стратегий, нехватка цифровых компетенций и слабая интеграция языковых ресурсов с другими ИТ-системами. Отдельное внимание уделено будущим направлениям исследований, включая внедрение ИИ, развитие мультимодальных решений и формирование этических стандартов работы с языковыми данными.

Практическая значимость. Представленные подходы могут быть использованы компаниями и учреждениями для формирования целостной языковой инфраструктуры, повышения эффективности многоязычной коммуникации, минимизации рисков в международных операциях и укрепления бренда на глобальном уровне.

Ключевые слова

Управление языковыми ресурсами, терминология, перевод, CAT-инструменты, стандартизация, цифровая трансформация, языковая политика, корпоративная коммуникация, мультиязычие, языковой аудит.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

В условиях глобализации и цифровизации эффективное управление языковыми ресурсами становится стратегическим направлением для организаций, стремящихся к устойчивому росту, международному сотрудничеству и конкурентоспособности. Языковые ресурсы включают в себя терминологические базы, переводческие памяти, глоссарии, документацию, многоязычные интерфейсы, а также компетенции персонала и процессы взаимодействия в мультиязычной среде. В корпоративном контексте языковые ресурсы формируют основу для точной, согласованной и доступной коммуникации как внутри, так и за пределами организации [1–3].

Организации, игнорирующие управление языковыми ресурсами, сталкиваются с ошибками в коммуникации, непоследовательностью терминологии, потерями знаний и снижением доверия к бренду на международных рынках. Например, в британском секторе МСП нехватка языковой политики приводит к снижению экспортных возможностей на 3–7% ВВП, что эквивалентно многомиллиардным убыткам [4]. С другой стороны, компании, инвестирующие в языковую инфраструктуру, получают устойчивое преимущество за счёт точной передачи информации, ускорения процессов и роста доверия партнёров и клиентов [5]. В российских организациях, игнорирующих системное управление языковыми ресурсами, наблюдаются аналогичные проблемы: ошибки в коммуникации, снижение эффективности международных сделок и потеря конкурентоспособности на внешних рынках. Согласно

данным аналитического центра «Русский экспорт» (2023), компании, внедрившие комплексные языковые стратегии и инвестирующие в локализацию и многоязычную поддержку, отмечают рост международных продаж на 12–15% и улучшение репутации на зарубежных рынках [6].

Методы управления языковыми ресурсами

Современные методы управления языковыми ресурсами опираются на стратегический, технологический и организационный подходы. Важнейшим элементом этого процесса является формализация языковой политики организации: выбор корпоративного языка, разработка внутренних регламентов перевода, назначение ответственных за ведение терминологических баз и координация работы с внешними подрядчиками [2, 3]. Наряду с этим, особое значение приобретает интеграция языковых ресурсов в цифровую инфраструктуру организации. Это включает в себя создание централизованных баз данных, использование терминологических платформ, внедрение интеграции с CRM и ERP-системами, а также обеспечение доступа к лингвистическим ресурсам через корпоративную сеть. Такие решения особенно актуальны для распределённых команд, использующих несколько языков и форматов [2, 7].

На международном рынке лидируют профессиональные системы управления переводами и терминологией, такие как SDL Trados Studio, MemoQ и облачные платформы Memsource. Они обеспечивают широкие возможности по автоматизации процессов, интеграции с корпоративными системами и централизованному контролю качества. Однако данные решения часто отличаются высокой стоимостью и сложностью внедрения. В ответ на эти вызовы в российском контексте появляются собственные разработки, ориентированные на локальные потребности. Например, компания PROMT предлагает решения с глубокой адаптацией под русский язык и языки стран СНГ, способные работать в офлайн-режиме и интегрироваться с внутренними корпоративными системами. Это обеспечивает преимущество в точности и скорости обработки текстов, однако функциональность управления терминологией в системе PROMT пока уступает западным аналогам [8]. Ещё один пример — платформа Контур.Толк, ориентированная на российский рынок. Она предоставляет инструменты для управления переводами и интеграции с отечественными CRM и ERP-системами, отличается локальной технической поддержкой и более доступной стоимостью для российских компаний. Вместе с тем, количество функций и вариантов интеграции у данной платформы существенно меньше по сравнению с международными конкурентами [9].

Практики успешных организаций подчёркивают значимость регулярных лингвистических аудитов, включения языковых KPI в систему оценки качества, подготовки персонала и развития внутреннего консалтинга по вопросам перевода и терминологии. В результате управление языковыми ресурсами всё чаще рассматривается как неотъемлемая часть более широкой системы управления знаниями [3, 10].

Стандартизация терминологии

Стандартизация терминологии — краеугольный камень эффективного управления языковыми ресурсами. Она обеспечивает единообразие понятий, устраняет двусмысленности, облегчает перевод и способствует сохранению экспертного знания. Важную роль в этом процессе играет комитет ISO/TC 37, который разрабатывает международные стандарты, регламентирующие терминологическую работу, включая такие документы, как ISO 704, ISO 12620 и ISO 15188 [11]. На практике терминологическая работа включает сбор и анализ источников, создание концептуальных систем, структурирование терминологических записей, сравнение вариантов и ведение баз данных. Этот процесс требует методологической подготовки, междисциплинарного взаимодействия и активного использования современных ИТ-инструментов [2, 4].

Однако несмотря на очевидную значимость, стандартизация сталкивается с рядом вызовов. Среди них — нехватка молодых специалистов, низкая мотивация к участию в

терминологических проектах, слабая координация между уровнями управления, а также устаревшие подходы к обучению. Важно отметить, что такая работа зачастую воспринимается как «непрестижная», а её результаты — как «невидимые», несмотря на их критическое значение для устойчивости и качества коммуникации [5, 11, 12]. Тем не менее, стандартизация переводческой деятельности остаётся ключевым элементом в обеспечении качества языковых услуг и укреплении доверия клиентов. По данным Международной федерации переводчиков (FIT), на 2023 год около 15–20% переводческих агентств в развитых странах сертифицированы по ISO 17100 или аналогичным стандартам, что говорит о постепенном росте осознания значимости стандартизации в отрасли [13].

В российской практике внедрение стандартов также развивается: действует гармонизированный с ISO 17100 национальный стандарт ГОСТ Р 7.0.102-2018 «Услуги переводческие. Общие требования». По оценкам Ассоциации переводчиков Москвы и Ассоциации переводчиков России, около 10–15% переводческих компаний в стране имеют официальную сертификацию по этому стандарту. Однако большинство малых агентств и фрилансеров пока остаются вне системы сертификации, что связано с финансовыми и организационными барьерами, а также с уже упомянутыми проблемами мотивации и кадрового дефицита [14].

Таким образом, несмотря на существующие трудности, стандартизация переводческой деятельности постепенно внедряется как на международном уровне, так и в России, способствуя повышению качества услуг и формированию устойчивых профессиональных стандартов в отрасли [5, 11, 12].

Использование CAT-инструментов

CAT-инструменты стали неотъемлемой частью управления языковыми ресурсами в организациях. Они позволяют переводчикам работать с переводческой памятью (TM), терминологическими базами (TB), согласовывать терминологию и обеспечивать повторное использование переводов. CAT-среды повышают качество и скорость перевода, особенно в больших проектах, требующих строгой консистентности [15].

Платформы, такие как SDL Trados, MemoQ, используются не только в коммерческом секторе, но и в университетах, НКО и государственных учреждениях. Они позволяют объединять усилия различных специалистов — переводчиков, редакторов, терминологов — в едином рабочем пространстве [7]. В российской практике также представлены собственные решения, которые успешно применяются для управления языковыми ресурсами. Например, та же компания PROMT предлагает PROMT Translator Professional — инструмент, сочетающий функции CAT и машинного перевода с хорошей адаптацией под русский язык и поддержкой офлайн-работы. Российская компания Logrus IT разработала Logrus CAT, ориентированный на корпоративных клиентов и локализацию программного обеспечения, с акцентом на безопасность данных и интеграцию с системами управления проектами. Кроме того, платформу Smartcat, основанную российскими разработчиками, используют как отечественные, так и международные пользователи; она предлагает облачное решение с поддержкой командной работы и автоматизацией процессов.

Однако эффективное использование CAT-инструментов требует профессиональной подготовки. Необходимы ИТ-навыки, умение настраивать проекты, управлять памятью переводов и проводить постредактирование. К сожалению, образовательные программы часто не охватывают эти компетенции в достаточной мере, а переводчики редко получают поддержку при освоении новых технологий [2, 16].

Также существует проблема несовместимости платформ, ограниченности функций некоторых интерфейсов, высокой стоимости внедрения и необходимости постоянного обновления баз. Несмотря на это, при грамотном управлении CAT-инструменты становятся стратегическим активом, позволяющим формировать единую языковую экосистему внутри организации [3, 15].

Контроль качества перевода

Контроль качества перевода — это систематизированный процесс оценки результата переводческой деятельности с точки зрения терминологической, стилистической, лексико-грамматической и функциональной точности. В современных организациях он охватывает как лингвистические аспекты, так и UX-компоненты (интерфейс, навигация, восприятие текста), особенно при локализации программного обеспечения и цифровых продуктов [15].

Модель LQA (Localization Quality Assurance) предполагает поэтапную проверку, которая включает автоматический и ручной анализ текста, верификацию терминов, соответствие исходному сообщению, учёт культурных особенностей. Для этого используются как встроенные в CAT-инструменты модули, так и специализированное программное обеспечение для оценки качества перевода [17].

Ключевыми стандартами здесь являются EN 15038 и ISO 17100, регламентирующие обязательные этапы контроля: перевод → редактура → проверка → валидация [2, 11]. Однако даже при наличии стандартов многое зависит от организационной культуры – готовности к обратной связи, роли ревизора, прозрачности процесса и включённости команды в обеспечение качества [10].

Проблемы и вызовы

Управление языковыми ресурсами сталкивается с целым рядом системных барьеров. Во-первых, это недостаток мотивации и признания специалистов, занимающихся терминологией и переводом. Терминологическая работа требует высокой квалификации, но остаётся мало видимой и не воспринимается как стратегически важная, особенно среди молодых профессионалов [1, 11, 12].

Во-вторых, во многих организациях отсутствует централизованная языковая стратегия: каждый отдел использует собственные глоссарии, разные подрядчики работают без общего технического задания, отсутствует политика согласования терминов [3, 5].

В-третьих, слабая интеграция языковых ресурсов с другими корпоративными системами (CRM, HRM, KM) приводит к дублированию данных, расхождениям в переводах и утрате знаний. Это особенно критично в транснациональных компаниях и сетевых структурах [2, 10].

Также остро стоит вопрос кадровой подготовки. Многие переводчики не обладают достаточными цифровыми навыками, не умеют работать с терминологическим ПО, не имеют доступа к методической поддержке. Программы обучения не успевают за развитием рынка и требований к профессии [16, 18].

Будущие направления исследований

Будущее исследований в области управления языковыми ресурсами связано с интеграцией лингвистических ресурсов в цифровые экосистемы организаций. Перспективны следующие направления:

- разработка гибридных моделей управления языковыми ресурсами, объединяющих ИИ, машинный перевод, терминологические базы и корпоративные онтологии [15];
- изучение влияния языковой политики на вовлечённость персонала, производительность, устойчивость команд [1, 7];
- развитие инструментов оценки языкового потенциала организаций и методик аудита лингвистической инфраструктуры [3];
- внедрение мультимодальных систем управления языковыми ресурсами, включая голосовой и визуальный контент, адаптированных под людей с ограниченными возможностями [2];
- усиление роли этических стандартов в управлении языковыми данными: защита конфиденциальной информации, недопущение дискриминации через язык, обеспечение прозрачности автоматизированных решений [11, 19].

Заключение

Управление языковыми ресурсами – это не техническая опция, а стратегический ресурс организаций. В эпоху цифрового взаимодействия, удалённой работы и глобальных рынков наличие сильной языковой инфраструктуры определяет конкурентоспособность, гибкость и устойчивость компаний.

Чтобы языковые ресурсы действительно стали ценностью, необходимы институциональная поддержка, интеграция в ИТ-ландшафт, развитие профессионального образования и признание роли языковых специалистов в бизнес-процессах. Только системный, междисциплинарный и технологически подкреплённый подход позволит превратить языки из барьера в актив, способствующий росту, инновациям и сотрудничеству.

Список источников

1. *Presbitero A., Froese F.J., Peltokorpi V., Pudelko M., Tenzer H*. Language in international human resource management: current state of research and future research directions // The International Journal of Human Resource Management. – 2023. – P. 4027–4045. https://doi.org/10.1080/09585192.2023.2274659
2. *Borucinsky M., Kegalj J.* A review of computer-assisted translation (CAT) tools used by Croatian translators // Hieronymus: Journal of Translation and Terminology Research. – 2022. – Vol. 9, № 4.
3. *Tibrewal A., de Jong A., Parkes G., Tenzer H., Bel-Lahsen M.* Language operative capacity in small and medium-sized enterprises // Management International Review. – 2024. – Vol. 64. – P. 955–989.
4. *Alotaibi H.* Computer-assisted translation tools: an evaluation of their usability among Arab translators // Applied Sciences. – 2020. – Vol. 10, № 18. – P. 6295.
5. *Fiset J., Bhave D.P.* Why your organisation needs a language management strategy // LSE Business Review. – 2023. – 17 Nov.
6. *Титкова, О. И.* Языковая политика компании и успех ведения бизнеса. Европейский опыт / О. И. Титкова // Вестник Московского государственного лингвистического университета. – 2013. – № 6(666). – С. 187-198. – EDN QZAYWR.
7. *Candel-Mora M.Á., Carrió-Pastor M.L.* Terminology standardization strategies towards the consolidation of the European higher education area // Procedia – Social and Behavioral Sciences. – 2014. – Vol. 136. – P. 410–414.
8. *Молчанов А.* Машинный перевод по правилам и без, или зачем нужна гибридная технология перевода // Новости PROMT. – 2012. – 31 мая.
9. Контур.Толк: обзор и аналоги российского сервиса для видеоконференций // GetCompass Blog. – 2024.
10. *Galinski C.* Terminology and standardization under a machine translation perspective // Proceedings of the Machine Translation Summit. – 1995. – P. 151–156.
11. *Galinski C., Weissinger R.* Terminology standardization and translation standards // Magyar Terminológia. – 2010. – Vol. 3, № 1.
12. *Kaczmarek M., Filhol M.* Computer-assisted sign language translation: a study of translators' practice to specify CAT software // Machine Translation. – 2021. – Vol. 35. – P. 305–322.
13. Международная федерация переводчиков (FIT). Обзор стандартов перевода. – 2019.
14. Ассоциация переводчиков Москвы (АПМ). Отчёты о деятельности (2023–2024 гг.). – М., 2024.
15. Mirela. Why localization quality assurance matters // POEditor Blog. – 2025. – 1 мая.
16. *Liu Q.* A brief analysis of the application of computer aided translation tools in English translation // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Vol. 1648, № 3. – P. 032005.
17. *Wolff R.* How to check the quality of localized content // Lokalise Blog. – 2024. – 22 окт.
18. *Dzogovic S.A., Ajdarpasic S.* The importance of language management: implications in the international business environment // Journal Human Research in Rehabilitation. – 2022. – Vol. 12, № 1. – P. 53–61.
19. *Alfaisal A.A.* The concept of software localization quality assurance & its importance in software localization // ResearchGate. – 2024. – March.

LANGUAGE RESOURCE MANAGEMENT IN ORGANIZATIONS

N.M. Murtazin [1], **R.E. Azizov**[2]
Scientific Adviser – A. N. Shovgenin[2]
MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] murtazin.n.m@edu.mirea.ru, [2] azizov.r.e@edu.mirea.ru, [3] shovgenin@mirea.ru

Abstract

The article addresses the pressing issue of language resource management (LRM) in contemporary organizations, where globalization and digital transformation demand accurate, consistent, and efficient multilingual communication. Language resources encompass terminology databases, translation technologies, linguistic policies, and the communicative competencies of personnel. A lack of systematic LRM leads to knowledge loss, miscommunication, and diminished competitiveness in international markets. The aim of the study is to examine current strategies in LRM, identify existing challenges, and assess emerging solutions that integrate institutional, technological, and human factors. The study highlights key components such as formalized language policies, terminology standardization, the use of computer-assisted translation (CAT) tools, and structured quality assurance systems. Major barriers include insufficient motivation of language professionals, fragmented corporate strategies, limited digital proficiency, and poor integration of LRM into broader IT infrastructures. Future research directions include the use of AI, the development of multimodal solutions, and the establishment of ethical frameworks for managing linguistic data. These findings are of practical significance for organizations seeking to build robust linguistic infrastructures, improve multilingual communication, and mitigate risks in international operations.

Keywords

Language resource management, terminology, translation, CAT tools, standardization, digital transformation, language policy, corporate communication, multilingualism, language audit.

УДК 81-272

ЛИНГВИСТИЧЕСКАЯ ЛОГИСТИКА СОЦИАЛЬНОГО ДИСКУРСА В ПЕРУ XVI–XVIII ВВ (НА МАТЕРИАЛЕ ПРОЦЕССОВ ПО ИСКОРЕНЕНИЮ ИДОЛОПОКЛОНСТВА)

Е.В. Новосёлова[1]
[1] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] novosyolova@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. В современной гуманитарной науке вопросы, связанные с контактом культур, уже давно пользуются заслуженным вниманием ученых. Особенно интересны в этом отношении периоды и регионы, где такие контакты приобретали особую интенсивность и драматизм. Это в полной мере относится к колониальному Перу XVI-XVIII вв.: данный период отмечен коллапсом инкской государственности и становлением колониальной системы.

Цель. Оценить потенциал документов по искоренению идолопоклонства в Перу XVI-XVIII вв. с точки зрения изучения лингвистической логистики и проанализировать ее приемы и методы в соответствующем дискурсе.

Результаты. Анализ показал, что документы процессов могут изучаться в контексте лингвистической логистики, так как они организованы с пониманием необходимости построения эффективного диалога. Документы показывают, что их создатели смогли добиться в этом определённых успехов, однако неверное понимание ряда ключевых понятий местного мировоззрения снижало эффективность реализации дискурса.

Практическая значимость. Полученные результаты позволяют получить более полную картину языкового, культурного и социального взаимодействия в колониальном Перу XVI-XVIII вв.

Ключевые слова

Лингвистическая логистика, языковой дискурс, колониальное Перу, христианизация, идолопоклонство.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

В настоящее время большую актуальность приобрели исследования, ориентированные на анализ различных областей языковой логистики. Однако в большинстве случаев речь идет об анализе актуального языкового материала или материалов, созданных сравнительно недавно. Это оправдано с методологической и источниковедческой точек зрения, однако большой потенциал имеют и сюжеты, связанные с лингвистическим анализом документов более ранних эпох. Это может открыть широкие возможности как для изучения соответствующих обществ, так и для получения новых лингвистических материалов широкого профиля.

В качестве источника было выбрано собрание документов по искоренению идолопоклонства, относящееся к XVI-XVIII вв. и хранящееся в Архиепископском архиве Лимы. Эти документы частично опубликованы [1,2], но в настоящей работе мы будем опираться на неопубликованные материалы.

Ц е л ь р а б о т ы – оценить потенциал документов по искоренению идолопоклонства в Перу XVI-XVIII вв. с точки зрения изучения лингвистической логистики и проанализировать, какие приемы и методы логистики можно обнаружить в соответствующем дискурсе.

Социальный и общелингвистический контекст

На XVI-XVIII вв. в Перу приходится колониальный период, начальный этап которого относится к одной из самых драматичных эпох в истории страны. Испанская конкиста, коллапс империи инков Тавантинсуйу, крушение привычных институтов и создание новых – вот далеко не полный перечень тех процессов, которые определили этот период. В лингвистическом отношении одними из самых важных событий стали христианизация, тесно связанная с

языковыми процессами, и постепенное внедрение испанского языка. Христианизация в вице-королевстве Перу проводилась при посредстве основных местных языков (т.н. *lenguas generales*), кечуа и аймара, которые и сегодня остаются (особенно первый) самыми значительными из индейских языков Южной Америки. Кечуа, в свою очередь, был официальным языком империи инков, и его широкое распространение началось задолго до христианизации. Решение о христианизации местного населения с помощью индейских языков Церковью после ожесточенных дебатов [3].

Неудивительно, что в ходе этого процесса клир столкнулся с многочисленными трудностями культурного, социального и языкового плана. В рамках изучаемой темы нас интересует именно последний аспект. Среди основных его составляющих можно отметить следующие: недостаточное владение рядовыми священниками индейскими языками, практически поголовное незнание индейцами испанского, сложности переноса реалий и понятий христианства с испанского/латыни на местные языки. Все это способствовало тому, что христианизация длительное время носила поверхностный характер. Осознав это, Церковь начала предпринимать усилия по искоренению «идолопоклонств» (*idolatrias*) - элементов традиционного, доиспанского мировоззрения в местной религии. Важно подчеркнуть, что под этим термином скрывались самые разнообразные практики (погребальные ритуалы, целительство, любовная магия, гадания, жертвоприношения и т.д.). С этой целью в места проживания индейцев организовывались «визиты» (visitas), в рамках которых проводилось дознание, опрос свидетелей, а также обвиняемого/обвиняемых в идолопоклонствах [4]. Сами же камни преткновения, то есть объекты культа, подвергались уничтожению. Ход этих процессов и освящается в тех документах, которые мы будем рассматривать.

Процессы по искоренению идолопоклонства в контексте лингвистической логистики

Разумеется, в контексте изучаемого периода мы можем говорить о лингвистической логистике лишь ретроспективно: никто из участников дискурса по искоренению идолопоклонства не имел представления об этом понятии. Однако уже тогда существовало понимание того, что для успешной коммуникации необходимо выполнения ряда условий (обеспечение языкового взаимодействия и взаимопонимания, создание соответствующей атмосферы, владение необходимой информацией). На этом основании мы и можем изучать лингвистическую логистику в контексте заданного периода и дискурса.

Важно понимать, что вся документация в рамках процессов велась на испанском языке, но при этом основные фигуранты им, как правило, не владели. Поэтому возникала необходимость в услугах переводчиков, которые неоднократно упоминаются на страницах документов [5,6]. Однако успешность такой коммуникации во многом зависела от компетенции этих переводчиков, и определить ее сейчас уже не представляется возможным. Поэтому приходится допускать, что успешность коммуникации варьировалась от процесса к процессу в том числе из-за качества осуществляемого перевода с кечуа на испанский.

Следующий важный аспект, имеющий непосредственное отношение к лингвистической логистике, это структурно-языковая организация процесса. Допрос и свидетелей, и обвиняемых строился по принципу «вопрос-ответ». Это совершенно логичная структура, однако здесь нужно заметить, что сама формулировка вопросов уже предполагала известный диапазон ответов. Спрашивая, например, чья кровь была на почитаемом камне (человеческая или морских свинок), или является ли такой-то индеец колдуном [7,8], следователи заранее знали, какие ответы они могут получить. При этом вопросы открытого типа (например, рассказать, о каких религиозных практиках известно свидетелю) в документах процессов не встречаются. Вероятно, таким образом организаторы хотели добиться большей организованности и структурированности процесса, и в этом отношении они добились своей цели. Но такое решение имело и обратную сторону: жесткие формулировки вопросов ограничивали гибкость дискурса и не предусматривали нестандартных ответов.

Наконец, еще один важнейший аспект – это лингвострановедческий аспект, под которым мы в данном случае понимаем перевод не только конкретных лексем, но и культурно значимых понятий. В контексте процессов это в первую очередь слова, связанные с культово-религиозной сферой. Приведем в качестве примера часто встречающийся термин «уака» - почитаемый объект в рамках традиционного андского мировоззрения, к которому испанцы применяли слово «идол» в качестве синонима [9]. Следует признать, что в этом отношении изучаемый дискурс нельзя назвать успешным, поскольку понимание этих понятий часто бывало либо неточным, либо откровенно ошибочным. Это хорошо видно как раз на примере уаки, но может быть отнесено и к ряду других явлений. Главная причина всего этого – недостаточное знание испанцами особенностей местной религии и мировоззрения.

Заключение

Проведя анализ документов процессов по искоренению идолопоклонства с точки зрения лингвистической логистики, мы пришли к следующим выводам:

1. Изучаемый период (Перу XVI-XVIII вв.) имеет большой потенциал с точки зрения изучения контакта культур, языковой политики и лингвистической логистики. Это обусловлено сложной культурно-языковой и социально-общественной ситуацией, а также наличием источников, на основе которых эта ситуация может быть изучена (в их число входят и документы процессов по искоренению идолопоклонства).

2. Несмотря на отсутствие в рассматриваемый период понятия лингвистической логистики, ее отдельные элементы реализовывались на практике, что дает нам возможность анализировать интересующий нас дискурс в этом контексте.

3. Анализ документов процессов показывает как определенные успехи, так и неудачи в реализации лингвистической логистики. К первым можно отнести стремление к максимальной структурированности процесса, ко вторым – недостаточное понимание ряда важнейших понятий местной религии и мировоззрения.

Список источников

1. *Duviols P.* Procesos y Visitas de Idolatrías, Cajatambo, Siglo XVII. Lima: Fondo editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú, 2003. – 882 p.
2. Garía Cabrera J.C. Ofendas a dios: pleitos e injurias. Causas de idolatrías y hechicerías. Cajatambo, siglos XVII-XIX. Cusso Centro de Estudios Regionales Andinos «Bartolome de las Casas», 1994. – 562 p.
3. *Novoselova E.V, Chernova N.I., Katakhova N.V.* «Language Conquest»: Colonial Quechua Grammars as a Model of Cultural and Linguistic Acculturation – Journal of Siberian Federal University. Humanities & Social Sciences. = 2021. – №16(6). – 927-928 p.
4. *Новосёлова Е.В.* Фонды Архиепископского архива г. Лимы как источник по искоренению идолопоклонства. – История и антропология Америки в зеркале российской науки. – Москва: ИЭА РАН, 2023. – 349 с.
5. AAL. Serie Hechicerías e idolatrías. Leg II, ex. 3-4. 1644. Pacho. Causa criminal contra unos indios sobre la idolatría. 46 f.
6. AAL. Serie Hechicerías e idolatrías. Leg I, ex. 9. Nasca. Sobre idolatría. 8 f.
7. AAL. Serie Hechicerías e idolatrías. Leg I, ex. 1. Lima. De oficio de la justicia eclesiástica contra don Fernando Quispe Lloclla por hechicero. 12 f.
8. AAL. Serie Hechicerías e idolatrías. Leg XI, ex. 4. Checras. 1724. Autos criminales contra Pedro de la Cruz, indio, y Francisco Bartolome, su nieto, por delitos de idolatría, supersticiones y vanos observantes, que de oficio sigue el prometer fiscal de este Arzobispado. 47 f.
9. *Mills K.* Idolatry and its enemies. Colonial Andean religion and extirpation, 1640-1750. – New Jersey: Princeton University Press, 1997. – 337 p.

LINGUISTIC LOGISTICS OF SOCIAL DISCOURSE IN PERU OF THE XVI-XVIII CENTURIES (BASED ON THE MATERIAL OF THE PROCESSES FOR THE EXTIRPATION OF IDOLATRY)

E.V. Novoselova [1]
[1] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] novosyolova@mirea.ru

Abstract

The article deals with the actual problem of o cultural contacts between different cultures. In particular, the periods and regions where these contacts were most intense and dramatic are of particular interest. This is notably true for the colonial period from the 16th to 18th centuries In Peru, which was marked by the collapse of the Inca state and the establishment of the colonial system. The main goal of this article is to explore the potential of documents related to the extirpation of idolatry in 16th-18th century Peru from the perspective of linguistic logistics, and to examine its techniques and methods used in this discourse. The analysis showed that these documents can be studied within the context of linguistic logistics, as they were organized with an understanding of the need to establish an effective dialogue. These documents demonstrate that their creators achieved some success in doing so, but a lack of understanding of certain key concepts from the local worldview limited the effectiveness of their discourse. The results of the present research allow us to gain a more comprehensive understanding of linguistic, cultural, and social interactions in colonial Peru during the XVI-XVIII centuries.

Keywords

Linguistic logistics, linguistic discourse, colonial Peru, Christianization, idolatry.

УДК 372.881.161.1

УЧЕБНО-НАУЧНЫЙ ДИСКУСРС В ОБУЧЕНИИ ИНОСТРАННЫХ СТУДЕНТОВ РУССКОМУ ЯЗЫКУ КАК СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНО-КОММУНИКАТИВНОЙ КОМПЕТЕНЦИИ

Тарасова Е.Н. [1], **Павлова Т.А.**[2]
[1–2] МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
tarasova_e@mirea.ru[1], pavlova_t@mirea.ru[2]

Аннотация

В статье рассматривается роль учебно-научного дискурса в обучении иностранных студентов русскому языку как средству формирования профессионально-коммуникативной компетенции. Анализируются особенности учебно-научного дискурса, его жанровое разнообразие и языковые характеристики, необходимые для успешного участия в академической среде. Предлагаются методические подходы и упражнения, направленные на формирование профессионально-коммуникативной компетенции иностранных студентов через активное вовлечение в учебно-научный дискурс.

Ключевые слова

Учебно-научный дискурс, академический дискурс, профессионально-коммуникативная компетенция, русский язык как иностранный, иностранные студенты, методика преподавания, академическая среда.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Глобализация образования и растущая академическая мобильность обуславливают необходимость подготовки иностранных студентов, способных эффективно взаимодействовать в профессиональной сфере. Владение русским языком становится ключевым фактором успешной профессиональной адаптации. Однако, недостаточно просто знать грамматику и лексику русского языка. Для успешной профессиональной деятельности необходима сформированная профессионально-коммуникативная компетенция, позволяющая использовать русский язык в различных ситуациях профессионального общения. В данном контексте особую роль играет учебно-научный дискурс, который выступает не только средством обучения, но и мощным инструментом формирования профессионально-коммуникативной компетенции иностранных студентов. Учебно-научный дискурс в контексте высшего технического образования становится важным инструментом для успешной интеграции студентов в образовательный процесс и их подготовки к будущей профессиональной деятельности. В данной статье мы рассмотрим специфику учебно-научного дискурса в техническом университете при обучении иностранных студентов.

1.Теоретические основы исследования

Сущность и структура профессионально-коммуникативной компетенции в контексте данной статьи определяются как способность и готовность учащегося эффективно осуществлять коммуникацию в профессиональной сфере, используя языковые знания, навыки и умения, а также социокультурные и профессиональные знания. Современный Государственный образовательный стандарт высшего образования ФГОС ВО (3++) [1], на основе которого формируются Рабочие программы университетов, от предыдущих стандартов отличается, в первую очередь, обязательным учетом требований профессиональных стандартов и требований к обеспечению качества образования. Перечень универсальных компетенций является единым по уровням образования для всех направлений подготовки и специальностей. Приведем перечень универсальных компетенций в таблице 1.

Таблица 1. Перечень универсальных компетенций ФГОС ВО (3++).

Наименование категории (группы) универсальных компетенций	Код и наименование универсальной компетенции выпускника
Системное и критическое мышление	УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
Разработка и реализация проектов	УК-2. Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
Командная работа и лидерство	УК-3. Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
Коммуникация	УК-4. Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(ых) языке(ах)
Межкультурное взаимодействие	УК-5. Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
Самоорганизация и саморазвитие (в том числе здоровьесбережение)	УК-6. Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни УК-7. Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности

Можно утверждать, что универсальные компетенции являются обязательным элементом структуры коммуникативно-профессиональной компетенции, которая так же включает следующие компоненты:

- Языковая компетенция, понимаемая, как владение системой сведений об изучаемом языке по его уровням: фонемном, морфемном, лексическом, синтаксическом [2, 362]. Учащийся должен уметь конструировать грамматически правильные формы и предложения, знать терминологию, характерную для профессиональной сферы.

- Под речевой компетенцией понимаем умение создавать устные и письменные тексты различных жанров профессионального общения (отчеты, презентации и т.д.) [2, 251]

- Социокультурная компетенция включает знание профессиональной этики, делового этикета и культурных особенностей общения в профессиональной среде.

- Профессиональная компетенция, включает требования профессиональных образовательных стандартов по определенной специальности и определяет обязательное владение профессиональными знаниями и навыками, необходимыми для успешной деятельности в конкретной области.

- Стратегическая компетенция - умение планировать и осуществлять коммуникацию, учитывая цели, задачи и контекст ситуации.

- Дискурсивная компетенция, будучи неотъемлемой частью коммуникативной компетенции, это «способность построения целостных, связных и логичных высказываний (дискурсов) разных функциональных стилей в устной и письменной речи и предполагает выбор лингвистических средств в зависимости от типа высказывания, ситуации общения, коммуникативных задач [2, 64].

Под учебно-научным, или академическим, дискурсом мы понимаем совокупность «коммуникативных явлений в рамках взаимодействия субъектов научной и педагогической сфер деятельности» [3,14]. По мнению Н.Г. Бурмакиной и Л.В. Куликовой, академический дискурс охватывает различные коммуникативные процессы, происходящие между членами академического сообщества: коммуникация между учеными, между преподавателями, между преподавателями и студентами и др. Исследователи полагают, что термин «академический дискурс» может быть использован для номинации «всей совокупности коммуникативных

явлений, локализующихся в пространстве научной и педагогической деятельности высших учебных заведений и научно-исследовательских организаций» [3, 26].

Учебно-научный дискурс представляет собой вид институционального дискурса, функционирующего в сфере образования и науки. Он характеризуется использованием специфических языковых средств, объединенных в рамках научного функционального стиля речи, ориентирован на передачу и усвоение научных знаний, отличается четкой структурой, аргументированностью и обоснованностью высказываний, объективностью, стремлением к нейтральному и беспристрастному изложению информации, использованием специальной лексики и терминов. Научный стиль речи является неким инструментом, освоение которого даёт иностранным учащимся возможность стать участником академического дискурса. Учебно-научный дискурс в техническом университете при обучении иностранных студентов требует особого подхода, учитывающего языковые и культурные различия, а также специфические потребности учащихся.

Вопрос о соотношении учебно-научного дискурса и научного функционального стиля речи требует отдельного рассмотрения. Как известно, термин «функциональный стиль» восходит к определению В.В. Виноградова, который считает стиль «общественно осознанной и функционально обусловленной, внутренне объединенной совокупностью приемов употребления, отбора и сочетания средств речевого общения» в определенной сфере общения [4, 73]. По определению В.И. Карасика, под функциональным стилем следует понимать «стереотип порождения и восприятия речи в специфических повторяющихся условиях» [5, 205]. Но дискурс не может быть сведен к функциональному стилю, хотя эти явления пересекаются отчасти, так как «помимо социальных характеристик коммуникации дискурс представляет собой фрагмент ментального мира коммуникантов» [6, 14]. Таким образом, лингвостилевые особенности научного стиля речи в академическом дискурсе определяют языковой компонент, отраженный в научных текстах различных жанров учебно-научного дискурса.

Реализация учебно-научного дискурса, происходящая в разнообразных жанрах, как письменных, так и устных, имеет главной целью трансляцию научных знаний. Используя определения М.М. Бахтина, жанр – это «относительно устойчивый тип высказываний, определяемый спецификой сферы общения и неразрывным единством трёх композиционных компонентов: тематическое содержание, стиль и композиционное построение» [7, 161].

И.П. Хутыз определяет жанр как «форму коммуникации, установленную коллективно теми, кто вовлечён в данное пространство, поддерживаемое ими и направленное на достижение прогнозируемых целей в конкретных контекстах [8, 11].

Жанр лекции в академическом дискурсе занимает особое положение, так как именно данный жанр является основной формой передачи информации в академической среде. В контексте обучения иностранных учащихся в российских вузах изучение жанра лекции представляется весьма актуальным. Так, С. Хион (Sunny Hyon) обращает внимание на то, что предварительное знакомство иностранных учащихся со структурой лекции облегчает им задачу дальнейшего восприятия лекционного материала, так как способствует разграничению информации на важную и второстепенную [9, 5-6]. В. Малавска так же полагает, что невозможность студентов-иностранцев распознать макроструктуру лекции существенно затрудняет восприятие лекционного материала [10, 60].

К основным задачам лекции П. Фредерик относит: представление новой информации, разъяснение сложных понятий, формирование системы креативного мышления у студентов при решении сложных профессиональных задач; анализ и демонстрация взаимосвязи между несвязанными на первый взгляд понятиями, воспитание уважения к процессу обучения и познания и др. [11, 47]. Специфика современного поколения учащихся, обладающих клиповым мышлением, требует от лектора не просто передачи информации, но обязательной интерпретации и «перекомбинации нового знания», что, по мнению О.С. Задориной,

необходимо, чтобы «преодолеть фрагментарность восприятия и перейти к целостному видению и осмыслению мира» [12, 123].

Жанровое разнообразие учебно-научного дискурса определяется наличием множества различных жанров, таких как лекции, семинары, статьи, доклады, рецензии и т.д. Учебно-научный дискурс выступает в качестве эффективной среды для формирования профессионально-коммуникативной компетенции иностранных студентов, поскольку:

• Средствами научного стиля речи обеспечивает погружение в профессиональную терминологию: работа с научными текстами позволяет студентам осваивать лексику, необходимую для понимания и обсуждения профессиональных вопросов.

• Формирует навыки анализа и синтеза информации. Иностранные учащиеся учатся выделять ключевые моменты в тексте, обобщать информацию и делать выводы, что необходимо для принятия решений в профессиональной сфере.

• Развивает навыки аргументации и критического мышления через участие в научных дискуссиях и обсуждение различных точек зрения, что способствует формированию умения аргументировать свою позицию и критически оценивать чужую.

• Благодаря работе с жанрами учебно-научного дискурса, такими как эссе, доклады, рецензии, курсовые и дипломные работы, учащиеся осваивают основные жанры профессиональной коммуникации.

• Изучение особенностей академического общения и профессиональной этики способствует формированию социокультурной компетенции иностранных учащихся.

2. Методические подходы и примеры заданий по формированию профессионально-коммуникативной компетенции через учебно-научный дискурс.

Для эффективного формирования профессионально-коммуникативной компетенции иностранных студентов через учебно-научный дискурс необходимо использовать следующие методические подходы и задания:

- Интеграция языковых и профессиональных знаний. Обучение русскому языку должно осуществляться в контексте профессиональной деятельности, с использованием аутентичных материалов и задач, связанных с будущей профессией. Чтение и анализ текстов, имеющих профессиональную направленность: научные статьи, отчеты, где содержатся ключевые термины, аргументы и выводы.

- Активное вовлечение студентов в учебно-научный дискурс, что означает необходимость создания условий для активного участия студентов в учебном процессе, стимулировать их к обсуждению научных проблем, представлению результатов исследований и участию в дискуссиях. Участие в деловых играх и моделировании профессиональных ситуаций, имитирующих реальные ситуации профессионального общения, таких как переговоры, собеседования, совещания и т.д.

- Использование проектных технологий: выполнение проектов, связанных с решением реальных профессиональных задач, позволяет студентам применять полученные знания и навыки на практике. Подготовка презентаций и докладов на профессиональную тему с последующим выступлением с докладом перед аудиторией

- Развитие критического мышления, которое необходимо формировать навыками анализа различных видов информации, выявлением противоречий, обоснованием своей точки зрения по различным вопросам. Например, через написание эссе и рецензий на профессиональную тему или рецензию на научную статью, выражая свою точку зрения и аргументируя ее.

- Использование информационных технологий на данном этапе является обязательным элементом образовательного процесса и позволяет сделать процесс обучения более эффективным и интерактивным.

Заключение

Учебно-научный дискурс является эффективным средством формирования профессионально-коммуникативной компетенции иностранных студентов, обучающихся русскому языку. Интеграция языковых и профессиональных знаний, активное вовлечение студентов в учебно-научный дискурс, использование проектных технологий и развитие критического мышления позволяют создать условия для формирования профессионально-коммуникативной компетенции, необходимой для успешной профессиональной деятельности на русском языке. Предложенные методические подходы и упражнения могут быть использованы преподавателями РКИ для повышения эффективности обучения и подготовки иностранных студентов к профессиональной коммуникации на русском языке.

Список источников

1. ФГОС ВО (3++): https://fgosvo.ru/fgosvo/index/24
2. *Азимов Э.Г., Щукин А.Н.* Новый словарь методических терминов и понятий (теория и практика обучения языкам). – М.: ИКАР, 2009.
3. *Бурмакина Н.Г., Куликова Л.В.* Академический дискурс. Институциональность, стиль, жанры. М.: Ленанд, 2019. 200 с.
4. *Виноградов В.В.* Итоги обсуждения вопросов стилистики // Вопросы языкознания. – 1955. - №1. – С. 60-87.
5. *Карасик В.И.* Языковой круг: личность, концепты, дискурс. – Волгоград: Перемена, 2002. - 477 с.
6. *Холодова Д.Д.* К определению понятия дискурс // Дискурс как универсальная матрица вербального взаимодействия. – М.: Ленанд, 2018. – 320 с. - С.7-16.
7. *Бахтин М.М.* Проблемы речевых жанров // Бахтин М.М. Собр. Соч. Т. 5: Работы 1940-1960 гг. М: Русские словари, 1996. С. 159 – 206.
8. *Хутыз И.П.* Жанры дискурса академической среды: традиционное и новое: монография/ И.П. Хутыз. – М.: Издательский дом ВКН, 2021. – 132 с.
9. *Hyon S.* Models of Lecture Discourse: Applications for Academic Listening and Future Research Directions // Paper presented at the Annual Meeting of the Teachers of English to Speakers of Other languages (31st, Orlando, FL, March 15-17, 1997). - ERIC ED424744: Models of Lecture Discourse: Applications for Academic Listening and Future Research Directions. Colloquium on Academic Listening within the EAP Curriculum. : ERIC : Free Download, Borrow, and Streaming : Internet Archive
10. *Malavska V.* Genre of the Academic Lecture // International Journal on Language, Literature and Culture in Education. 2016. Vol. 3 (2). P. 56-84.
11. *Frederick P.J.* The lively lecture – 8 variations// College teaching. 1986. Vol. 34(2). P.43-50/
12. *Задорина О.С.* Вузовская лекция в контексте современной ситуации в образовании // Педагогическое образование в Россию 2012, №4. С121-124.

EDUCATIONAL AND SCIENTIFIC DISCOURSE IN TEACHING RUSSIAN LANGUAGE TO FOREIGN STUDENTS AS A WAY TO FORM PROFESSIONAL-COMMUNICATIVE COMPETENCE

Tarasova E.N.[1], Pavlova T.A.[2]
[1-2] MIREA - Russian Technological University (Moscow, Russia)
[1]tarasova_e@mirea.ru , [2]pavlova_t@mirea.ru

Abstract

The article examines the role of educational and scientific discourse in teaching foreign students Russian as a means of forming professional and communicative competence. The article analyzes the features of educational and scientific discourse, its genre diversity and linguistic characteristics necessary for successful participation in the academic environment. Methodological approaches and exercises are offered aimed at the formation of professional and communicative competence of international students through active involvement in educational and scientific discourse.

Keywords

Educational and scientific discourse, professional and communicative competence, Russian as a foreign language, foreign students, teaching methods, academic environment.

УДК 81’33

ОБУЧЕНИЕ ОСНОВАМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕРМИНОЛОГИЕЙ НА ЗАНЯТИЯХ ПО ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ В СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОМ ВУЗЕ

М.А. Подтелкова[1]
[1] Волгоградская академия МВД России (Волгоград, Россия)
[1] marina-podtelkova@yandex.ru

Аннотация

Повсеместное использование машинного перевода при работе с иноязычными текстами в профессиональных сферах людьми, не имеющими специальной лингвистической или переводческой подготовки, приводит к возникновению проблем с пониманием и анализом исходного текста в связи с несовершенством программ машинного перевода, в частности, в терминологической сфере.

Целью работы является описание основных недочетов в переводе текстов, выполняемом бесплатными программами Google Translate и Яндекс.Переводчик, и предложение алгоритма обработки (постредактирования) текста машинного перевода иноязычного профессионально ориентированного текста на основе проведенного анализа и систематизации ошибок в текстах машинного перевода программ Google Translate и Яндекс.Переводчик. Разработанные автором рекомендации по основам постредактирования текстов машинного перевода иноязычных профессионально ориентированных текстов можно применять в процессе подготовки специалистов нелингвистических вузов в рамках учебной дисциплины «Иностранный язык» для формирования и развития навыков управления терминологией.

Ключевые слова

Цифровое общество, искусственный интеллект, машинный перевод, постредактирование машинного перевода, термины, профессиональная лексика.

A brief version in English is given at the end of the article

Материалы статьи

В настоящее время завершился переход от информационного общества к цифровому. Под цифровым обществом, вслед за Добринской Д. Е., мы понимаем «общество, инфраструктура которого функционирует посредством цифровых технологий (технологии больших данных и искусственного интеллекта, алгоритмов и алгоритмических систем, облачных вычислений и т.д.), а базовой формой организации и социального взаимодействия являются сетевые структуры и платформы» [1]. Информация в таких условиях становится мгновенно доступна неограниченному количеству людей, причём объём информации увеличивается с каждым днём огромными темпами. Для её быстрой обработки и анализа становятся необходимы специальные программы, которые позволяют экономить время и усилия и переходить к практическому этапу работы с полученными сведениями. Несмотря на сверхбыстрое развитие искусственного интеллекта, существующие переводческие системы и программы пока ещё далеки от совершенства и не могут заменить собой человека, поскольку не обладают в полной мере всем диапазоном его когнитивных возможностей. При этом нельзя не признать, что указанные программы широко применяются для выполнения рутинных, однотипных задач, решение которых можно подчинить заложенному алгоритму.

Опыт работы с программами машинного перевода Google Переводчик и Яндекс.Переводчик, анализ результатов их применения обучающимися различного уровня подготовки на занятиях по иностранному языку в специализированном вузе позволили выделить основные проблемы, которые чаще всего возникают при небрежном или бездумном использовании указанных программ, а также классифицировать виды ошибок при передаче содержания исходного иноязычного текста средствами языка перевода.

Необходимо отметить, что в неязыковых вузах перевод специальных текстов на русский язык на занятиях чаще всего имеет своей целью проверку понимания содержания обучающимися. Мелкие неточности, не влияющие на общий смысл и логику исходного текста,

могут не приниматься во внимание и, соответственно, не учитываться при оценивании. Важными критериями в таких случаях являются, во-первых, сохранение смысла и логики исходного текста; во-вторых, уместность и правильность перевода терминов и профессиональной лексики, особенно с учетом различий, существующих на культурно-языковом уровне, и различий в системах профессиональной области в разных странах (различия в классификациях, этапах деятельности, нормах закона и т.п.); в-третьих, последовательное и корректное сквозное использование терминов и профессиональной лексики от начала и до конца текста перевода; в-четвёртых, соответствие структуры предложений исходного текста структуре предложений текста перевода (максимально возможное сохранение актуального членения); и, наконец, грамматически корректное употребление слов в соответствии с правилами и традициями русского языка (чаще всего, речь идёт о несовпадении грамматической парадигмы в двух языках).

В зависимости от сложности исходного текста работа с текстом машинного перевода иногда может заключаться всего лишь в исправлении мелких неточностей, относящихся к стилистическому оформлению. Сюда относятся, как правило, учебные адаптированные тексты, имеющие достаточно простую структуру, ограниченный набор терминов, точность перевода которых однозначно выводится из контекста, распознаваемым алгоритмом программы перевода. Но если взять неадаптированный текст, то обработка результата машинного перевода может занимать гораздо больше времени и включать в себя больше аспектов практически на всех уровнях текста.

Помимо собственно обработки машинного перевода необходимо также обращать внимание на согласованность употребления терминов, встречающихся в иноязычном тексте, всеми участниками группы. Нередко встречаются случаи, когда даже выверенные индивидуально варианты перевода при обсуждении в группе не совпадают в терминологическом плане, что является недопустимым, поскольку специфической особенностью термина является, как раз, его однозначность. Иногда достаточно простого аргументированного обсуждения, чтобы принять решение, какой именно вариант перевода термина подходит в конкретном случае. Но чаще всего приходится обращаться к толковым словарям на языке перевода или на исходном языке, а иногда и искать необходимую дополнительную информацию на обоих языках и сопоставлять не только смысловое содержание самого термина, но и его место в языковой и культурной системе понятий.

Далее рассмотрим рекомендации по постредактированию машинного перевода, выполняемому индивидуально, которые предлагаются нами в учебном пособии [2].

На начальном этапе работы по корректировке текстов машинного перевода целесообразно пронумеровать предложения в исходном тексте и только потом загружать его в программу перевода. Дело в том, что бывают случаи, когда программа перевода объединяет два предложения исходного текста в одно, и соответственно нарушается исходная структура текста, задуманная автором. Кроме того, встречаются необоснованные перестановки темы и ремы в рамках одного предложения, что также может повлиять на восприятие и интерпретацию фразы или даже сверхфразового единства. В дальнейшем, когда у обучающихся будет сформирован навык критического осмысления текста машинного перевода, нумерацию можно отменить.

После получения текста перевода необходимо прочитать его, не сопоставляя с исходным текстом, для определения того, насколько «по-русски» звучит полученный текст. Иногда машинный перевод представляет собой набор несогласованных между собой отрывков и слов, особенно, если исходный текст был не на английском языке. Имеются данные, что в некоторых случаях программы машинного перевода переводят не с одного языка на другой, а применяют так называемый «цепочный» перевод через язык-посредник [3, 83]. Так, например, текст на немецком языке программа сначала переведет на английский (язык-посредник), а потом с английского языка переведет его на русский. Такой подход к переводу увеличивает

шансы на возникновение дополнительных смысловых ошибок и неточностей при передаче содержания исходного текста. Часто уже при первом прочтении, зная заголовок и предполагая, о чём примерно в данном тексте пойдёт речь, обучающийся может обнаружить фактические несоответствия, например, в тексте про подготовку полицейских немецкое слово «Platz» будет переведено программой как «площадь», поскольку это значение слова является более употребительным и, соответственно, более предпочтительным для программы, а эквивалентом в рассматриваемом контексте является слово «плац». На момент написания статьи Google Переводчик, к примеру, переводит словосочетание «Posteninstruktionen erteilen» (нем.) как «дать инструкции по размещению» (корректный вариант – «проводить инструктаж по наряду»), «Akademie» (нем.) как «колледж». При этом важно отметить, что отдельно слова и словосочетания программа может переводить корректно, а в случае их употребления в тексте могут появиться неожиданные варианты. Что касается перевода англоязычных текстов с помощью программ, то раньше могли встречаться такие варианты, как «Put the book into the table» (англ.) – «Положите книгу в таблицу», но на данный момент алгоритмы усовершенствованы, разработаны так называемые программы нейронного перевода, и подобных казусов больше практически не встречается. В настоящее время ошибки в машинном переводе связаны с неправильным анализом контекста и буквализмом, например, словосочетание «crime scene search» (англ.) программа Google Переводчик может перевести внезапно как «поиск места преступления» (корректные варианты: «осмотр места происшествия» или «обыск места преступления» в зависимости от глобального контекста); «Fakultät für die Ausbildung von kriminaltechnischen Sachverständigen und Fahndungsbeamten» (нем.) – вариант, предлагаемый программой Google Переводчик, – «факультет подготовки криминалистов свидетелей-экспертов и следователей» (корректный вариант – «факультет подготовки экспертов-криминалистов и оперативных сотрудников полиции»). Все приведенные примеры легко обнаруживаются при первом прочтении текста машинного перевода и часто не требуют сличения с источником для установления нюансов значений.

После первичной обработки машинного перевода необходимо убедиться, что текст перевода соответствует исходному тексту в формальном плане: иногда встречаются случаи появления в тексте перевода информации, которой в исходном тексте не было, или, наоборот, не переведена имеющаяся в нём информация: «Für die Fachrichtung „Rechtswissenschaften“ gibt es an der Fakultät für das Fernstudium ein Bachelorstudium (4 Studienjahre) und ein Masterstudium (2,6 Studienjahre)» (нем.)– «По специальности «Юриспруденция» на факультете есть программа бакалавриата (4 года обучения) и магистратура (2,6 года обучения) для женщин» (Яндекс.Переводчик) (корректный вариант: «На факультете заочного обучения имеются программы бакалавриата (4 года обучения) и магистратуры (2,6 года обучения)»). При переводе рассматриваемого предложения была упущена информация, что речь идёт о факультете заочного обучения, и ошибочно добавлена информация про обучение для женщин.

После корректировки указанных категорий ошибок можно приступать к работе с терминами и профессиональной лексикой. Здесь важно обратить внимание на корректность перевода программой встречающихся специфических лексем, например, слово «Fahndungsbehörden» (нем.) программа Google Переводчик переводит как «правоохранительные органы», хотя само слово имеет более узкое значение, а именно «органы полицейского розыска», т.е. это всего лишь часть правоохранительной системы. Причём далее в тексте, где после «Fahndungsbehörden» встречалось слово «Fahndung», являющееся компонентом указанного сложного слова, программой предлагались такие варианты перевода, как «обыск», «поиск» и «розыск». В каждом из этих случаев речь шла именно о полицейском розыске, и именно этот вариант нужно было оставить. Необходимо отметить, что функции сотрудников «Fahndungsbehörden» в Германии не полностью совпадают с функциями сотрудников уголовного розыска в России, поэтому однозначного эквивалента для конкретного термина «Fahndung» не существует, каждый раз рекомендуется смотреть на

глобальный контекст, о чём именно идет речь, о какой деятельности или функциях сотрудников полиции и на каком этапе работы, чтобы более точно выбрать значение из всех имеющихся вариантов. Термин «Öffentlichkeitsfahndung» (нем.) представляет собой ещё более сложный случай, поскольку является специфическим видом полицейского розыска, когда для установления нахождения лица или предмета в качестве помощников привлекаются волонтёры, не имеющие специальной подготовки, и оповещается население, а именно люди, которые непосредственно взаимодействуют с большим количеством народа – водители такси, продавцы магазинов, кассиры на вокзалах и т.п. Таким образом, правильнее всего этот термин перевести как «розыск с привлечением общественности». Варианты перевода, которые предлагают указанные программы: «публичный розыск» (Google Переводчик), «слежка за общественностью» (Яндекс.Переводчик). Очевидно, что ни один из предлагаемых вариантов не подходит, поскольку в первом случае имеется стилистическая несочетаемость и фактологическая неточность, а во втором – искажение смысла в целом. Термин «pie method» (англ.), относящийся к тактике осмотра места происшествия, программы переводят следующим образом: «метод пирога» (Google Переводчик), «способ приготовления пирога» (Яндекс.Переводчик). Речь в данном случае идёт о фронтальном методе осмотра по секторам.

Отдельно стоит упомянуть проблемы, которые могут возникнуть при переводе аббревиатур и сокращений, особенно если в языке сосуществуют английский и национальный варианты. Программы могут транслитерировать аббревиатуры либо оставлять исходное написание латиницей, даже если выше по тексту встречалась расшифровка с переводом: «ULS» (от «Unbemannte Luftfahrtsysteme») (нем.) обе программы переводят как «УЛС», хотя в русском языке существует устоявшаяся аббревиатура «БПЛА». При этом английскую аббревиатуру «UAS» программы переводят корректно, если она используется в тексте, а не изолированно. Сокращение «KoRa» (от «Kontextstruktur Radikalisierung») (нем.), не имеющее устоявшегося эквивалента в русском языке (как и само понятие), программы транслитерируют. В таких случаях обучающимся предлагается самостоятельно перевести само словосочетание, а уже затем подумать над тем, как именно можно перевести сокращение (оставить вариант на латинице, дав пояснения, что он означает, или сократить по тому же принципу получившееся словосочетание на русском языке – по первым двум буквам).

Если с терминами и унификацией их употребления группой вопрос решается довольно просто, поскольку достаточно договориться между собой, как именно в дальнейшем в текстах подобной тематики будут переводиться те или иные термины, то с сокращениями и аббревиатурами требуется обсуждения по нескольким принципиальным пунктам. Во-первых, необходимо определиться с основным подходом к переводу этих лексем: перевести на русский язык только само словосочетание, а аббревиатуру / сокращение оставить на латинице, дав необходимые пояснения; или перевести словосочетание, а затем создать свою аббревиатуру / сокращение, используя принцип исходного варианта (сокращение по первым буквам, по первым слогам, усечения и т.п.). Во-вторых, если было принято решение о создании своих аббревиатур / сокращений, необходимо сверить существующие варианты, каждый из которых при этом является правильным, и выбрать только один из них, которым и следует пользоваться при переводе текстов по конкретной тематике: аббревиатура «BKA» (от «Bundeskriminalamt») (нем.) образована от названия организации, перевод которого не имеет устоявшегося эквивалента в русском языке, т.е. оно может переводиться как «Федеральное ведомство уголовной полиции», «Федеральное управление уголовной полиции», «Федеральное ведомство криминальной полиции», «Федеральное управление криминальной полиции». Таким образом, мы имеем четыре потенциально возможных аббревиатуры: ФВУП, ФУУП, ФВКП, ФУКП. Программы перевода, как правило, транслитерируют данную аббревиатуру, но могут и перевести её словосочетанием, хотя нужно будет проследить, каким именно: Яндекс.Переводчик одним из вариантов перевода предлагает словосочетание «Федеральная полиция», что однозначно является смысловой ошибкой, поскольку в Германии есть

отдельная полицейская структура, которая так и называется «Bundespolizei», причем речь идёт не об указании уровня этой структуры, а именно об особом ведомстве полиции, обладающим своим кругом задач и функций.

В целом, для формирования навыка работы с терминологией и профессиональной лексикой при переводе специальных текстов на занятиях по иностранному языку в неязыковом вузе, с нашей точки зрения, требуется в обязательном порядке привить обучающимся чёткое понимание того факта, что для бесперебойной совместной работы необходимо иметь общую для всех членов команды или коллектива понятийную систему, исключающую возникновение коммуникативных помех, неправильных трактовок или общего непонимания предмета обсуждения. И если это понимание достигнуто, обучающиеся убеждены в правильности и эффективности такого подхода, то они будут не просто следовать предложенным рекомендациям при постредактировании текстов машинного перевода, но и творчески применять этот алгоритм на практике при самостоятельном переводе текстов, или даже совершенствовать и дополнять его.

Список источников

1. *Добринская Д.Е.* Что такое цифровое общество? // Социология науки и технологий. 2021. №2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/chto-takoe-tsifrovoe-obschestvo (дата обращения: 18.05.2025).
2. *Подтелкова М.А.* Немецкий язык : учебное пособие / М.А. Подтелкова. – Волгоград : ВА МВД России, 2023. – 144 с.
3. *Мартыненко И. А.* Google-переводчик: практика и перспективы применения в юридическом вузе // Вестник Университета имени О. Е. Кутафина. 2018. №11 (51).

TEACHING THE BASICS OF TERMINOLOGY MANAGEMENT IN FOREIGN LANGUAGE CLASSES AT A SPECIALISED UNIVERSITY

M.A. Podtelkova [1]
[1] Volgograd Academy of the Ministry of the Interior of Russia (Volgograd, Russia)
[1] marina-podtelkova@yandex.ru

Abstract

The widespread use of machine translation when working with foreign-language texts in professional fields by people who do not have special linguistic or translation training leads to problems with understanding and analyzing the source text due to the imperfection of machine translation programs, in particular, in the terminology sphere. The purpose of this article is to describe the main shortcomings in the translation of texts performed by free programs Google Translate and Яндекс.Переводчик, and to propose an algorithm for processing (post-editing) the text of machine translation of a foreign-language professionally oriented text based on the analysis and systematization of errors in the texts of machine translation made by programs Google Translate and Яндекс.Переводчик. The recommendations developed by the author on the basics of post-editing texts of machine translation of foreign-language professionally oriented texts can be used in the process of training specialists of non-linguistic higher education institution within the framework of the academic discipline "Foreign Language" for developing terminology management skills.

Keywords

Digital society, artificial intelligence, machine translation, post-editing of machine translation, terms, professional vocabulary.

УДК 81’25

ФАКТОР ИНИЦИАЛЬНОСТИ В ФОРМИРОВАНИИ ТЕРМИНОСИСТЕМЫ ДИСКУРСА

П.А. Пробачай[1]
Научный руководитель – В.А. Митягина[2]
Волгоградский государственный университет (Волгоград, Россия)
[1]f_l_a-241_611118@volsu.ru, [2]mityagina@mail.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Изучение языковых процессов, связанных с развитием терминологий, дает ученым возможность решать ключевые задачи в области терминоведения. Сюда входит выявление источников и механизмов роста и изменения терминологических систем, определение доли заимствованных терминов, анализ соотношения между национальными и интернациональными терминами, а также исследование влияния экстралингвистических факторов. Сложность и разнообразие автоспортивного дискурса, как и в других специализированных областях, требуют создания терминосистемы, которая сможет точно передавать уникальные профессиональные знания. Тем не менее, несмотря на его значимость, анализ терминологии автоспортивного дискурса остается сравнительно редким объектом научных исследований.

Цель. Определить, насколько инициальный язык влияет на формирование терминологического состава дискурса на примере современных регламентирующих документов автоспорта.

Результаты. Было установлено, что инициальный язык играет ключевую роль в формировании дискурса, особенно на ранних этапах его развития, когда новизна терминологии приводит к значительному количеству заимствований. Однако невозможно отрицать, что английский язык все активнее служит источником новых понятий и концепций, связанных с последними научными и технологическими достижениями, в том числе в автоспортивном дискурсе

Практическая значимость. Установление роли инициального языка в формировании автоспортивного дискурса позволяет лучше понимать процессы заимствования и адаптации терминологии. Это имеет значение для разработчиков регламентов и стандартов, которые должны учитывать актуальные особенности языка на момент их составления.

Ключевые слова

Дискурс, автоспортивный дискурс, автоспорт, терминоведение, терминологическая номинация.

A brief version in English is given at the end of the article

Материалы статьи

Исследование языковых процессов, связанных с развитием терминологий, предоставляет ученым возможность решать важные задачи в области терминоведения. Это включает в себя выявление источников и механизмов расширения и эволюции терминологических систем, определение доли заимствованных терминов, анализ соотношения между национальными и интернациональными терминами, а также изучение влияния экстралингвистических факторов. Сложность и разнообразие автоспортивного дискурса, как и в других специализированных областях, обуславливают необходимость создания терминосистемы, способной точно передавать уникальные профессиональные знания. Однако несмотря на высокую актуальность, анализ терминологии автоспортивного дискурса остается относительно редким предметом для научного исследования.

Цель данного исследования заключается в том, чтобы определить, насколько инициальный язык влияет на формирование терминологического состава дискурса на примере современных регламентирующих документов автоспорта.

Материалом исследования послужил «Международный спортивный кодекс» 2025 года с приложениями и архивные документы на сайте «FIA Historic Database». Все анализируемые документы были выпущены Международной автомобильной федерацией (FIA).

Автоспортивный дискурс является уникальной категорией технических видов спорта, развитие которой сопровождалось на стыке двух языков: французского и английского. Точкой отсчета, когда зародилось данное направление, можно считать 1902 год, когда была основана Международная автомобильная федерация (англ. FIA, рус. ФИА) во Франции под названием

«Международная ассоциация признанных автомобильных клубов» (от фр. *Association Internationale des Automobile Clubs Reconnus*). Штаб-квартира FIA по сей день находится в Париже. Сейчас рабочими языками организации выступают французский и английский.

Тем не менее, в начале 20 века французский язык был единственным языком организации. Это связано с историческими обстоятельствами: французский язык считался языком дипломатии и имел международный статус [1, с. 385]. По этой причине общение между участниками и организаторами велось на французском. Это подтверждают ранние документы организации, в частности, первая *Карнет де пассаж* (фр. *Carnets de passages en douane*), датированная 5 июля 1913 года [2]. Этот документ, представляющий собой таможенную декларацию, разрешал временный ввоз транспортных средств в страну и был составлен исключительно на французском языке.

После Первой мировой войны английский стал вторым международным языком дипломатии. Это повлияло и на документы FIA. В последующие годы их начали публиковать в двух версиях: на английском и французском. Например, «Приложение С к Международному спортивному кодексу» 1928 года издавалось в двух книгах: одна на английском, другая на французском [3]. Сейчас документы публикуют в виде параллельных текстов на обоих языках.

Вышеизложенные факты позволяют сделать вывод о том, что в автоспортивном дискурсе использование французского языка играло ключевую роль в формировании терминологии. Теперь рассмотрим, как этот язык повлиял на развитие английской терминологии в данной сфере.

Согласно С.В. Гринев-Гриневичу, процесс заимствования терминов аналогичен таковому в литературном языке, однако имеет ряд специфических особенностей, которые можно выделить следующим образом:

1) Основным путем заимствований является письменный, так как обмен научно-технической информацией происходит через публикации. В автоспорте терминология часто заимствуется из письменных ресурсов, таких как технические регламенты, отчеты гонок, автомобильные журналы и научные публикации. Например, английские термины «*downforce*» или «*drivetrain*» начали широко использоваться благодаря специальной литературе и статьям о технологии автоспорта, что способствует их внедрению в профессиональный лексикон инженеров и гонщиков.

2) На процессы заимствования оказывается целенаправленное воздействие, что связано с возможностью стратегического формирования терминологических систем. В автоспорте наблюдается планомерное использование международных стандартов и терминов, что способствует унификации языка. Например, в регламентах FIA указаны строго определенные термины, такие как «*Drag Reduction System*» и «*chassis*», которые необходимо использовать для обеспечения единого понимания и применения в разных странах.

К лингвистическим факторам, способствующим широкому распространению терминологического заимствования, относятся [4, с. 60]:

3) Возможность расшифровки интернациональных элементов, что облегчает понимание содержания терминов. Многие термины автоспорта интернациональны и легко воспринимаются носителями различных языков. Например, слово «*rally*», заимствованное из французского языка в английский и большинство других языков, понятно большинству людей, знакомых с автоспортом, независимо от их языковой среды, что облегчает общение между командами и зрителями на международных соревнованиях.

4) Соответствие интернационализмов требованиям краткости и однозначности. Автоспорт требует высокой точности в коммуникации, и поэтому многие термины выбираются за их краткость и однозначность. Например, «*KERS*» (*Kinetic Energy Recovery System*, от англ. *Система кинетической рекуперации энергии*) является лаконичным акронимом, который быстро обозначает сложное понятие, позволяя избегать длинных пояснений в критические моменты гонки.

5) Высокая словообразовательная валентность - термины в автоспорте часто могут использоваться в сочетаниях с другими словами, что позволяет создавать новые термины без потери смысла. Например, такие сочетания, как «*tire degradation*» и «*engine performance*», имеют четкое значение и владеют достаточной гибкостью для расширения концептуального списка автоспортивной терминологии.

М.Н. Володина различает два этапа в формировании терминов: стихийный и системный. На первом этапе происходит спонтанное называние объектов, где каждый интерпретирует их исходя из своего восприятия. На втором этапе термины становятся предметом целенаправленного регулирования, основанного на унификации и стандартизации. В обоих случаях важно выбрать наиболее значимый признак для названия [5, с. 25].

Обратимся к актуальным документам FIA «2024 International Sporting Code» и «Appendix J to the International Sporting Code 2024» [6]. В ходе анализа проанализировано 120 терминов на английском языке и было установлено, что 13 (10,83%) из них было заимствовано из французского языка. Большинство из этих терминов не являются техническими и возникли в процессе стихийного формирования терминологии. Были выявлены следующие заимствования: *chicane, course, rally, grand prix, circuit, peloton, pole position bonnet, automobiles, piston, series, touring, monocoque*. Эти понятия сформировались в начальный период существования автоспорта как дисциплины, когда общение среди участников велось преимущественно на французском языке. Эти термины прошли «англиизацию» и используются в автоспортивном дискурсе до сих пор.

Стоит отметить, что в автоспортивном дискурсе встречаются аббревиатуры, которые заимствованы из французского языка в английский без изменений. Например, аббревиатура *Международной автомобильной федерации FIA* (от фр. *FIA - Federation Internationale de l'Automobile*) стало общепринятым в английском. Аналогичная ситуация сложилась и с *Национальной спортивной федерацией ASN*, которая по-французски *Autorité Sportive Nationale*, в английском *National Sports Authority*. Тем не менее, в узус вошла аббревиатура *ASN*, а не *NSA*.

Следовательно, можно утверждать, что инициальный язык оказывает значительное воздействие на дискурс в начале своего формирования, когда альтернатив для внедрения новой терминологии крайне немного. В этой ситуации в язык поступает множество заимствований из инициального языка, которые в дальнейшем становятся общепринятыми и остаются в вокабуляре автоспортивного дискурса до сих пор.

Однако, прогресс не стоит на месте, и если вышеперечисленные термины были заимствованы в английский из французского на раннем этапе формирования автоспортивного дискурса, то в актуальных документах мы можем встретить заимствования из английского языка. Их количество минимально, так как во Франции существует тенденция к сохранению частоты языка. Однако прогресс не стоит на месте, английский язык получил статус лингва-франка, он используется в международных коммуникациях, что влияет на использование терминов в разных странах. Многие важные научные открытия и технологические новшества были сделаны в англоязычных странах. Соответственно, первичные термины и концепции часто формировались на английском, что приводит к их заимствованию при переводе и адаптации. Мы выявили следующие заимствования: *Kit car, DRS* (Drag Reduction System), *KERS, undercut, box* (заезд на пит-стоп), *cockpit, SC* (Safety car), *drive-through penalty, graining* (гранулирование шины при постепенном износе), *halo* (элемент системы безопасности пилота болида Формулы 1), *MGU-H, overcut, set up* (настройки автомобиля под конкретные гоночные условия).

Анализ терминологического состава автоспортивного дискурса позволяет констатировать, что инициальный язык играет важнейшую роль в формировании дискурса, особенно на ранних стадиях его формирования, когда новая терминология приводит к значительным заимствованиям. Такие заимствования, возникающие в результате

взаимодействий между языками, остаются значимой частью лексикона дискурса на протяжении долгого времени. При этом, с развитием глобальных коммуникаций и растущим влиянием английского как лингва франка, наблюдается сдвиг акцентов в процессе заимствования. Хотя французский автоспортивный дискурс продолжает опираться на свои традиционные термины, английский язык всё чаще становится источником новых понятий и идей, возникших в ответ на современные научные и технологические прорывы. Таким образом, процесс заимствования в языке представляет собой динамичное и многогранное явление, отражающее влияние как исторических факторов, так и современных глобальных трендов.

Список источников

1. *Володина, М.Н.* О стихийном и системном характере терминологической номинации // STEPHANOS, МГУ им. Л.В. Ломоносова, 2017. – 24-36 С, [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://clck.ru/3HNRtt (дата обращения: 25.04.2025).
2. *Гринев-Гриневич, С. В.* Терминоведение: учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений // М.: Издат. Центр «Академия», 2008. – 304 С. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://clck.ru/3HNDwP (дата обращения: 24.04.2025).
3. *Медведев, Е.Ю., Нциву Батиако, Л.Д.* Трансформации языка дипломатической переписки стран Антанты и Германии перед началом Первой мировой войны // Вестник РУДН. Серия: Теория язык. Семиотика. Семантика, 2020. - № 11. – С. 384-397 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://clck.ru/3HNGBc (дата обращения: 24.04.2025).
4. Deep dive into FIA's history: the creation of carnet de passages en douane (CPD) // Federation Internationale de l'Automobile, 2022 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://clck.ru/3LfxaG (дата обращения 24.04.2025)
5. Appendix C to the General Competition Rules - GBR // Federation Internationale de l'Automobile, 1928 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://historicdb.fia.com/sites/default/files/regulations/1481637121/annexe_c_1928_gbr_web.pdf (дата обращения 24.04.2025)
6. 2024 International Sporting Code (FR-EN): дата введения 14.12.2023 // Federation Internationale de l'Automobile, 2023 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.fia.com/regulation/category/123 (дата обращения: 25.04.2025).

THE INITIALITY FACTOR IN THE FORMATION OF THE TERMINOLOGICAL SYSTEM OF DISCOURSE

P.A. Probachai[1]
Scientific Adviser – V.A. Mityagina[2]
VolSU – Volgograd State University (Volgograd, Russia)
[1]f_l_a-241_611118@volsu.ru, [2]mityagina@mail.ru

Abstract

The study of linguistic processes related to the development of terminology gives scientists the opportunity to solve key problems in the field of terminology. This includes identifying the sources and mechanisms of growth and change of terminological systems, determining the proportion of borrowed terms, analyzing the relationship between national and international terms, as well as investigating the influence of extralinguistic factors. The complexity and diversity of motorsport discourse, as in other specialized fields, require the creation of a terminology system that can accurately convey unique professional knowledge. Nevertheless, despite its importance, the analysis of motorsport discourse terminology remains a relatively rare object of scientific research. The goal of the following study is to determine how much the initial language affects the formation of the terminological composition of the discourse using the example of modern regulatory documents of motorsport. The initial language plays a key role in the formation of discourse, especially in the early stages of its development, when the novelty of terminology leads to a significant number of borrowings. However, it is impossible to deny that English is increasingly serving as a source of new concepts and concepts related to the latest scientific and technological advances, including in motorsport discourse. The establishment of the role of the initial language in the formation of motorsport discourse makes it possible to better understand the processes of borrowing and adapting terminology. This is important for developers of regulations and standards, which should take into account the current language features at the time of their compilation.

Keywords

Discourse, motorsport discourse, motorsport, terminology studies, terminological nomination.

УДК 81'255.4:004.552

ПЕРЕДАЧА ПСЕВДОНАУЧНЫХ ТЕРМИНОВ ВСЕЛЕННОЙ ВИДЕОИГРЫ КАК ЗАДАЧА ПЕРЕВОДА

Н.С. Пуказов[1]
Научный руководитель – В.А. Митягина[2]
Волгоградский государственный университет (Волгоград, Россия)
[1]nikolai.pukazov@yandex.com, [2]mityagina@mail.ru

Аннотация

В статье предложен вариант исследования проблемы передачи псевдонаучных терминов в переводе вербального контента игры *Monster Hunter Rise: Sunbreak* на русский язык. Анализ технологии передачи/перевода данных номинативных единиц реализован с учетом предпринятой классификации. Было установлено, что псевдонаучные термины вселенной выбранной видеоигры относятся к этнографическим реалиям, описывая существ, являющихся непосредственной частью быта людей вселенной *Monster Hunter*.

Ключевые слова

Псевдореалии, имена собственные, задача перевода, вербальный контент, видеоигры.

A brief version in English is given at the end of the article

Материал статьи

Развитие индустрии видеоигр как компонента современной массовой культуры во многом связано с доступностью и разнообразием пользовательских устройств, а также разнообразием видов игрового процесса, ориентированных на различные демографические группы. Согласно данным интернет-портала *Statista*, примерно 3,32 миллиарда человек регулярно играют в видеоигры, около 53% из них – мужчины и 46% – женщины. 618 миллионам человек, играющим в игры, меньше 18, а примерно 216 миллионов игроков по всему миру относятся к возрастной группе «65+»[].

Столь обширный спрос на компьютерные игры сопровождается наличием большого количества финансовых ресурсов, вовлеченных в индустрию видеоигр. На данный момент рынок компьютерных игр оценивается в 282 миллиарда долларов с ростом до 312,4 миллиардов долларов в 2025 году[].

Наше понимание псевдореалий близко к определению реалий, предложенному И.С. Алексеевой: «Экзотизмами или словами-реалиями принято называть такие лексемы в языке, которые обозначают реалии быта и общественной жизни, специфичные для какого-либо народа, страны или местности» []. Ключевым отличием является то, что псевдореалии существуют только в рамках своих произведений и вселенных, где они были представлены.

Стоит отметить, что несмотря на детальную проработку вселенных и соответствующих псевдореалий, во многих играх опускаются те сферы мира, которых не касается история, представленная в них. К таким реалиям можно отнести фауну. Серия *Monster Hunter*, игры которой компания Capcom начала выпускать с 2004 года, сфокусирована на деятельности охотников, которые защищают города, деревни и караваны от зверей и монстров, угрожающих безопасности гражданского населения, поэтому центральной темой игр этой серии являются виды местной фауны, которые формируют целый блок псевдореалий. Эти псевдореалии можно зафиксировать как псевдонаучные термины, которые используются в рамках вселенной. Связано это с тем, что кроме непосредственно охоты на конкретного монстра важной частью игрового процесса является подготовка к ней, подбор снаряжения и условий для получения преимущества. Все чудовища в игре классифицированы по значимым признакам (строение тела, среда обитания, уровень угрозы для людей), а в случае особо опасных особей имеет место выход за рамки стандартных способов классификации, ставящий их в отдельную секцию под названием ***Elder Dragons/Старшие драконы*** [].

Вместе с этим важно обратить внимание на то, что в этой серии игр при классификации всех крупных монстров используется слово «виверна». Если мы обратимся к современному

фэнтези, то увидим следующее значение: «**Виверна** (англ. *Wyvern*) — мифическое существо, похожее на дракона. Имеет только заднюю пару конечностей, вместо передней у неё — перепончатые крылья. У виверны змеиная шея и очень длинный, подвижный хвост, на конце которого жало в виде сердцеобразного наконечника стрелы.» []. В серии *Monster Hunter* монстры делятся на разные виды виверн, чьи физиологические характеристики значительно отличаются от данного выше определения. Например, ***Fanged Wyverns*/*клыкастые виверны*** не имеют крыльев, передвигаются на 4 конечностях, а их передние лапы больше и сильнее задних и часто обладают мощными когтями, клинками или иными способами нанесения увечий [].

Одним из самых больших списков существующих в игре монстров обладает видеоигра *Monster Hunter Rise* (2021) и вышедшее к ней расширение *Sunbreak* (2022) []. Примеры псевдореалий и их перевода представлены в следующих таблицах:

Таблица 1 Псевдонаучные термины Monster Hunter Rise: Sunbreak

Типы монстров		
Японское название	Английское название	Русское название
鳥竜種 Chōryūshu	Bird Wyvern	Пернатая виверна
牙獣種 Gajūshu	Fanged Beast	Клыкастый Зверь
海竜種 Kairyūshu	Leviathan	Левиафан
獣竜種 Jūryūshu	Brute Wyvern	Свирепая виверна
甲殻種 «Kōkakushu»	Carapaceon	Панцирный
飛竜種 Hiryūshu	Flying Wyvern	Летающая виверна
両生種 Ryōseishu	Amphibian	Амфибия
魚竜種 Gyoryūshu	Piscine Wyvern	Ихтиовиверна
鋏角種 Kyōkakushu	Temnoceran	Темноцеран
牙竜種 Garyūshu	Fanged Wyvern	Клыкастая виверна
古龍種 Koryūshu	Elder Dragon	Старший(или Древний) дракон
禁忌モンスター, Kinki Monsutā	Forbidden Monsters or Dangerous First-Class Monsters	Запрещенные монстры или монстры первого класса опасности

Можно констатировать, что основным приёмом перевода, передающим данную классификацию, является калькирование, далее следует транслитерация, иногда с парадигмальной адаптацией (*Amphibian*/ *Амфибия*) и единственным исключением в данной группе является номинация *ихтиовиверны*, для создания которой применено смысловое развитие.

Аналогичная тенденция наблюдается и в переводе названий видов зверей, но здесь основным приемом является транскрипция, в некоторых случаях комбинированная с калькированием:

Таблица 2 Псевдонаучные термины Monster Hunter Rise: Sunbreak

Имена видов		
Японское название	*Английское название*	*Русское название*
アケノシルム (Akenoshirumu)	*Aknosom*	*Акносом*
アオアシラ(Aoashira)	*Arzuros*	*Арзурос*
ロアルドロス(Roarudorosu)	*Royal Ludroth*	*Королевский Лудрот*
ボルボロス(Boruborosu)	*Barroth*	*Баррот*
ダイミョウザザミ (Daimyou Zazami)	*Daimyo Hermitaur*	*Гермитавр Даймё*
エスピナス (Esupinasu)	*Espinas*	*Эспиназ*
ヨツミワドウ (Yotsumiwadou)	*Tetranadon*	*Тетранодон*
ジュラトドス(Jyuratodosu)	*Jyuratodus*	*Юратод*

奇しき赫耀のバルファルク (Kushiki Kakuyou no Barufaruku)	*Crimson Glow Valstrax*	*Алый Валстракс (Алое Свечение)*

Таким образом, можно констатировать, что номинации псевдореалий, представленные в русскоязычном контенте компьютерных играх, обусловлены традиционной технологией передачи реалий, с одной стороны, и ориентацией на преемственность в формировании коммуникативных знаков вселенной видеоигры, с другой стороны. Пример компьютерной игры *Monster Hunter Rise: Sunbreak* показывает, что в работе с фэнтезийными вселенными переводчики чаще всего применяют калькирование, транскрипцию и транслитерацию.

Список источников

1. Games – Worldwide. STATISTA. URL: https://www.statista.com/outlook/amo/media/games/worldwide
2. How Many Gamers Are There? (New 2024 Statistics). EXPLODINGTOPICS. URL: https://explodingtopics.com/blog/number-of-gamers
3. *Алексеева И. С.* Профессиональное обучение переводчика: Учебное пособие по устному и письменному переводу для переводчиков и преподавателей / СПб.: Издательство «Союз», 2001. 288 с.
4. Monster Hunter Rise: Sunbreak: Монстры. MONSTERHUNTER.FANDOM. URL: https://monsterhunter.fandom.com/ru/wiki/MHRS:_Монстры
5. Виверна. ДРАКОНОПЕДИЯ. URL: https://alldragons.fandom.com/ru/wiki/Виверна
6. Monster Classes. MONSTERHUNTER.FANDOM. URL: https://monsterhunter.fandom.com/wiki/Monster_Classes
7. Monster Hunter Rise: Sunbreak. STEAM. URL: https://store.steampowered.com/app/1446780/MONSTER_HUNTER_RISE/

CONVEYING PSEUDOSCIENTIFIC TERM IN A VIDEO GAME AS A TRANSLATION TASK

N.S. Pukazov[1]
Scientific Adviser – V.A. Mityagina[2]
Volgograd State University (Volgograd, Russia)
[1] nikolai.pukazov@yandex.com, [2] mityagina@mail.ru

Abstract

The article offers a variant of research of the problem of transferring pseudoscientific terms in the translation of the verbal content of the game Monster Hunter Rise: Sunbreak into Russian. The analysis of the technology of transmission/translation of these nominative units is implemented taking into account the undertaken classification. It was found that the pseudoscientific terms of the universe of the selected video game refer to ethnographic realities, describing creatures that are a direct part of the everyday life of the people of the Monster Hunter universe.

Keywords

Pseudorealities, proper names, translation task, verbal content, video games

УДК 81'322.4:004.912:004.738.5

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПЕРЕВОДА СПЕЦИАЛЬНЫХ ТЕКСТОВ НА ПРИМЕРЕ ЛИНГВИСТИЧЕСКОЙ ЛОГИСТИКИ ДОКУМЕНТАЦИИ ПО ПРОГРАММИРОВАНИЮ

Е.М. Солопов[1]
Научный руководитель – А. Н. Шовгенин[2]
МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1]solopov.e.m@edu.mirea.ru, [2] shovgenin@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Перевод технической литературы представляет собой сложную задачу, требующую высокой точности передачи терминологии, сохранения специфических конструкций и обеспечения стилистического единообразия. Существующие подходы машинного перевода, такие как классический статистический машинный перевод и нейронный машинный перевод, несмотря на свои достижения, могут не всегда обеспечивать требуемое качество для узкоспециализированных текстов без значительной адаптации. Они могут сталкиваться с трудностями в последовательном переводе терминов, обработке редких слов и фраз, характерных для конкретной технической области, а также в обеспечении интерпретируемости и контролируемости процесса перевода.

Цель. Обосновать гибридный подход к автоматизации перевода технической литературы для повышения качества перевода.

Результаты. В результате работы предложен концептуальный фреймворк гибридной системы машинного перевода, адаптированной для нужд технической документации. Проанализированы возможности моделей максимальной энтропии для объединения оценок от различных компонентов (например, базовых SMT и/или NMT моделей) с явными лингвистическими и терминологическими признаками. Описаны типы признаковых функций, специфичные для технической литературы, включая функции, основанные на соответствии глоссариям, функции для оценки согласованности терминологии и функции, отражающие RBMT-подобные правила для стандартных технических фраз. Теоретически показано, что такой подход позволяет целенаправленно управлять процессом перевода, отдавая приоритет точности и согласованности, критически важным для технических текстов.

Практическая значимость. Предложенная концепция предлагает введение более точных, адаптивных и контролируемых систем машинного перевода.

Ключевые слова

Машинный перевод, токен, нейронная сеть, когерентность, энтропия, домен, корпус, параллельный текст, энкодер, декодер, трансформер, пайплайн, робастный, вектор.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

В современном мире программное обеспечение играет ключевую роль во многих сферах общества. Разработка программного обеспечения часто ведется международными командами, а его использование распространяется на глобальную аудиторию. Документация по программированию, которая включает руководства, справочники API, учебные пособия и другие материалы, является важным ресурсом для разработчиков и пользователей.

Традиционные методы машинного перевода (МП) часто сталкиваются с трудностями перевода специализированных технический текстов. В частности, можно выделить следующие проблемы:

- Обработка специфичной терминологии конкретной технической области;
- Работа с малой выборкой для обучения;
- Сложность обработки специфичной структуры документов.

Гибридный подход, сочетающий в себе сильные стороны различных подходов к МП, представляется перспективным решением для реализации автоматического перевода документации по программированию.

Цель работы заключается в проведении комплексного анализа существующих подходов к машинному переводу (RBMT, SMT, NMT) с точки зрения их применимости, преимуществ и недостатков при переводе технических текстов. Задача заключается в том, чтобы на основании данного анализа предложить концепцию гибридной модели, способной преодолеть выявленные ограничения и повысить качество перевода.

Rule-based machine translation (RBMT)

Машинный перевод на основе правил (RBMT) является одним из первых исторически сложившихся подходов к автоматизации перевода. В основе RBMT лежит использование явных лингвистических знаний, формализованных в виде наборов правил и двуязычных словарей. Хотя эти модели эффективны в некоторых контекстах, они ограничены своей негибкостью и неспособностью эффективно справляться с нюансами естественного языка [1]. Несмотря на очевидные недостатки данный подход все еще имеет свои сильные стороны. Например, предсказуемость – система полностью прозрачна и всегда понятно, что получится на выходе. Контроль качества в узкоспециальных областях при тщательной разработке правил RBMT может обеспечить точность даже при работе со специфической терминологией. В тоже время этот подход является самым трудоемким в разработке, так как все правила нужно прописывать вручную. С этим же связано и то, что такую модель трудно масштабировать, и она обладает очень низкой беглостью.

Statistic Machine Translation (SMT)

Статистический машинный перевод (SMT) представляет собой подход к машинному переводу, основанный на использовании статистических моделей, параметры которых оцениваются на основе больших объемов параллельных текстов, то есть текстов на языке оригинала и их переводов на целевой язык. Одним из нововведений подхода стало использования фраз как базовых единиц перевода, что позволяло создавать локальные контекстные зависимости [2]. Данный подход доминировал в плоть до 2015 года, пока его не сменил нейронные сети. В основе SMT лежат такие концепции, как фразовые модели, языковые модели, модели для выравнивания слов, а также метод минимизации ошибок. Фразовые модели позволяют системе переводить не отдельные слова, а целые фразы, что способствует повышению когерентности перевода. Языковые модели используются для оценки беглости и грамматической правильности перевода. Модели выравнивания слов устанавливают соответствие между словами в исходном и целевом текстах. Метод минимизации ошибок направлен на прямое минимизирование количества ошибок в тексте. Этот метод позволяет настраивать модель так, чтобы непосредственно улучшать качество перевода [3].

Одним из ключевых преимуществ SMT является способность эффективно переводить фразы, что особенно важно при работе с технической документацией, содержащий множество специфических терминов и словосочетаний. Однако SMT обладает и рядом ограничений. Он может испытывать сложности с переводом длинных предложений и не всегда обеспечивает высокий уровень контекстной когерентности [4].

Neural Machine Translation (NMT)

Нейронный машинный перевод (NMT) — это современный подход к машинному переводу, основанный на использовании глубоких нейронных сетей. Подход, основанный на использовании «энкодера-декодера» и архитектуры рекурентных нейронных сетей с долгой и короткой памятью, сразу показал значительное улучшение качества переводов. Энкодер преобразует предложение на языке оригинала в векторное представление фиксированной длинны. Декодер использует полученное векторное представление для генерации предложения на целевом языке слово за словом [5]. На данный момент в качестве стандартной архитектуры нейронных сетей используются Трансформеры – модели типа «энкодер-декодер» с механизмом внимания. Механизм внимания позволяет модели понимать контекстное представление отдельных слов, словосочетаний и более крупных структур языка [6]. Благодаря этому

нейронный перевод обладает высокой беглостью и хорошо учитывает общий контекст. Но в то же время он не лишен недостатков.

Во-первых, модель может испытывать «галлюцинации» – генерировать грамматически правильный, но семантически неверный или не имеющие отношения к исходному тексту фрагменты. Это может быть связано с попыткой обобщить известные модели знания на неизвестную область запроса [7]. Во-вторых, нейронные сети являются сложно-интерпретируемыми, что приводит к сложности понимания, почему именно такой результат был сгенерирован. Все же самой главной проблемой нейронных сетей остается большой тренировочных корпусов. Существуют методы, когда хорошо обученную модель дообучают на маленькой выборке целевых тренировочных данных. Если целевой язык задачи и целевой язык взятой модели близки, то обобщающая способность поможет лучше подстроится под задачу и получить намного более высокие результаты, чем если бы модель обучалась с нуля [8].

На данный момент NMT являются самым оптимальным решением задачи машинного перевода, но при работе с текстами из узкоспециальных областей им может не хватать данных для обучения и корректной работы.

Гибридный подход

Гибридные подходы в машинном обучении возникли как попытка объединить сильные стороны различных методов МП и компенсировать их недостатки. Мотивация использовать гибридный подход обусловлена тем, что ни один из традиционных подходов, будь то RBMT, SMT или NMT, не является идеальным для всех сценариев перевода. В частности NMT модели сталкиваются с проблемами понимания областей с маленьким количеством данных для обучения и перевода двусмысленных выражений. Комбинирование статистических моделей и нейронных сетей позволяет создать более робастные и универсальные системы машинного перевода. Качественные оценки показывают, что гибридная модель эффективно минимизирует распространение ошибки перевода, делая это решение более устойчивым для многоязычного перевода [9].

Специфика задачи

Документация по программированию обладает рядом уникальных характеристик, которые необходимо учитывать при ее переводе. Во-первых, она содержит специфическую терминологию, включающую названия языков программирования, ключевые слова, имена API, названия программных функций и компонентов. Во-вторых, документация по программированию обычно имеет четкую и структурированную организацию, включающую примеры кода, описания синтаксиса, руководства по использованию и концептуальные объяснения. Также очень часто можно встретить отдельные вставки кода, синтаксис которых за исключением комментариев нужно сохранить на изначальном языке. В-третьих, эта документация характеризуется высокой динамикой обновления, так как программное обеспечение постоянно развивается и дополняется новыми функциями.

Гибридный перевод NMT-SMT для автоматизации перевода

Гибридный подход NMT-SMT стремится объединить нейронный и статистический подходы для получения преимуществ обоих. Существует ряд различных техник, которые позволяют интегрировать части NMT в SMT или наоборот.

Мультидвижковый (Multi-score)

Этот подход использует информацию из нескольких различных систем одновременно на этапе декодирования для генерации финального перевода. Исходный текст одновременно подается на вход нескольким системам МП. После параллельной обработки информация, полученная от каждой модели (вероятность слов, оценки качества), комбинируется в процессе декодирования. В качестве комбинирования можно использовать метод голосования, где решение выбирается путем голосования большинства или путем суммирования логитов отдельных моделей. В результате получаем более обоснованный и робастный перевод. Данный

подход имеет ряд преимуществ, например, потенциально более эффективная интеграция различных знаний моделей. Но в то же время метод обладает рядом недостатков. Во-первых, приводит к более сложной архитектуре системы и усложнению процесса обучения. Во-вторых, может возникнуть проблема несогласованности стилей и терминологий между моделями. В-третьих, разработка механизма комбинации информации из различных моделей может быть не самой тривиальной задачей. В-четвертых, данный подход приводит к большим вычислительным затратам, ведь он предполагает параллельное использование сразу нескольких систем.

Мультипроходный (Multy-pass)

Данный подход предполагает применение различным систем машинного перевода к одному и тому же исходному тексту, где выход одной системы используется в качестве входных данных или дополнительной информации для последующей модели. Благодаря подобному построению системы, получается симбиоз, где одна модель исправляет перевод предыдущей. Например, NMT может добавлять тексту, полученному из SMT, связности, а также править упущенный долгий контекст [9]. При обратном порядке, SMT модуль может делать перевод более интерпретируемым и ожидаемым. Данный подход довольно прост в реализации благодаря гибкости построения пайплайнов. Также он позволяет использовать сильные стороны различных подходов машинного перехода в случае использования и NMT, и SMT моделей. В то же время данный подход не лишен недостатков. Во-первых, качество перевода сильно зависит от первой модели, так как ошибка, полученная из первой модели, будет усугублена второй моделью, что приводит к потенциальному накоплению ошибок. Во-вторых, методы интеграции моделей довольно разнообразны и остановится на определенной реализации может быть довольно сложно, учитывая, что и сами интеграции непросты в реализации.

SMT рекомендации

Предполагает, что генерация NMT следующего токена будет основана не только на выводах самой NMT, но также на основе «рекомендации», которую дает SMT модуль. SMT модуль может быть предобучен отдельно от основного модуля. Для внедрения данных рекомендаций дополнительно используется классификатор и шлюз, которые обучаются уже внутри всей системы [10].

Изначально предобученная NMT-RNN генерирует предсказание следующего токена, где $y_{>t}$ - уже сгенерированный текст, s_t - текущее состояние декодера, y_{t-1} - предыдущее слово, c_t - вектор контекста, который считается как взвешенная сумма аннотаций исходного текста.

$$P_{nmt}(y_t|y_{<t}, x) = sof\ tmax\big(f(s_t, y_{t-1}, c_t)\big). \quad (1)$$

$$c_t = \sum_{j=1}^{T_x} \alpha_{t,j} h_j. \quad (2)$$

На основе частичного перевода $y_{<t}$ от NMT, а также на основании информации, полученной от механизма внимания, предобученный SMT модуль выдает предсказание-рекомендацию, где $h_m(y,x)$ – функция признаков, λ_m – вес модели. Признаки включают в себя двухстороннюю вероятность перевода, двухстороннюю вероятность лексического перевода, модель преобразования, штрафы за слова и словосочетания. Веса могут быть обучены путем минимизации ошибки по алгоритму MERT. Также вводится вектор покрытия для SMT $cv=[cv_i,cv_2,...,cv_x]$, где $cv_i=1$ значит, что слово x_i из изначального текста уже было переведено. Вектор покрытия обновляется на основе NMT, чтобы SMT модуль не предлагал переводы уже переведенных слов. Информация о выравнивании, чтобы SMT адаптировалась использовать веса внимания из NMT вместо использования стандартного жесткого выравнивания.

SMT-модуль генерирует слова-рекомендации y_t для следующего токена. Для их отбора и внутреннего ранжирования SMT-модуль использует оценку SMT_{score} , которая является

взвешенной суммой традиционных SMT-признаков. Архитектура, связывающая NMT модуль с SMT модулем рекомендаций, представлена на рисунке 1.

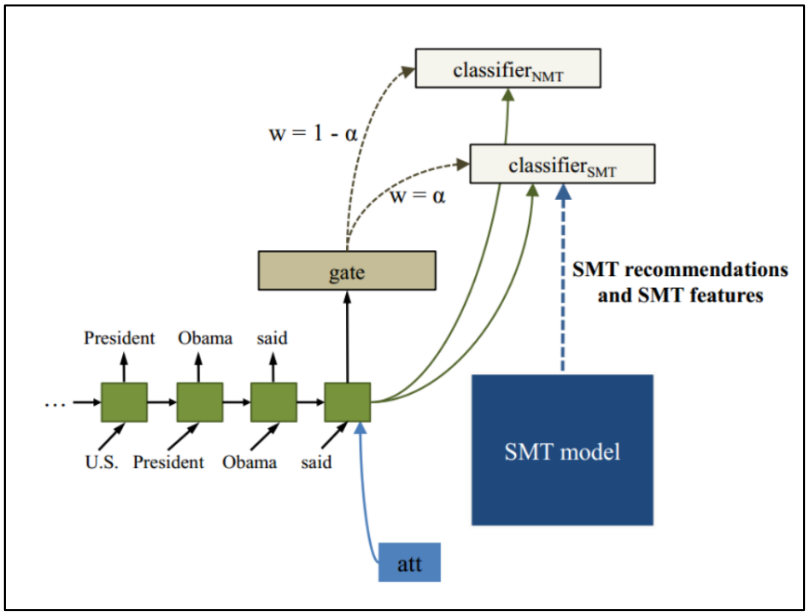


Рис. 1. Схема модели на основе рекомендаций SMT
Fig. 1. Model diagram based on SMT recommendations

Затем, выбранная SMT-рекомендация y_t вместе с текущим контекстом NMT-декодера (скрытые состояния s_t, c_t, предыдущее слово y_{t-1}) передается в отдельный нейросетевой классификатор (classifier_SMT). Этот классификатор выдает оценку $score_{smt}$ для данной рекомендации y_t в текущем NMT-контексте. После применения функции softmax к $score_{smt}$, получается вероятность p_{smt} – это оценка того, насколько данная SMT-рекомендация y_t подходит в качестве следующего слова, с точки зрения этого обученного классификатора.

$$SMT_{score}(y_t|y_{<t}, x) = \sum_{m=1}^{M} \lambda_m h_m(y_t, x_t). \quad (3)$$

$$P_{smt}(y_t|y_{<t}, x) = sof\ tmax\big(score_{smt}(y_t|y_{<t}, x)\big). \quad (4)$$

$$score_{smt}(y_t|y_{<t}, x) = g_{smt}(f_{smt}(s_t, y_{t-1}, c_t). \quad (5)$$

После того как мы получили вероятность p_nmt от основного NMT-декодера и вероятность p_smt от классификатора, возникает вопрос, как их объединить. Для этой цели вводится шлюзовой механизм.

Шлюз представляет собой небольшую нейронную сеть, которая на каждом шаге декодирования t вычисляет скалярное значение α_t, которое находится в диапазоне от 0 до 1. α_t отвечает за оценку доверия переводу NMT и рекомендации SMT. Если α_t близко к 1, модель больше полагается на SMT-рекомендацию (p_{smt}). Если α_t близко к 0, то модель больше полагается на собственный перевод (p_{nmt}). Итоговая вероятность вычисляется как взвешенная сумма предсказаний NMT и SMT моделей.

$$\alpha_t = g_{gate}\Big(f_{gate}(s_t, y_{t-1}, c_t)\Big). \quad (6)$$

$$p((y_t|y_{<t}, x) = (1-\alpha)p_{nmt}(y_t|y_{<t}, x) + \alpha p_{smt}(y_t|y_{<t}, x). \quad (7)$$

Заключение

В данной работе был проведен анализ основных подходов к машинному переводу – построенного на правилах (RBMT), статистического (SMT) и нейронного (NMT) – с анализом их преимуществ и недостатков. В результате было установлено, что ни один из этих подходов в чистом виде не является оптимальным решением для перевода технических текстов. В связи с этим гибридные подходы, сочетающие сильные стороны различных базовых методов, были определены как наиболее перспективное направление. Из самых популярных гибридных подходов особое внимание было уделено NMT-SMT подходу, основанному на SMT-рекомендациях. Последний представляет собой интеграцию в нейронную модель SMT-модуля, что потенциально улучшает точность перевода узкоспециализированных текстов.

Список источников

1. *John Hutchins*. Towards a Definition of Example-based Machine Translation. In Workshop on example-based machine translation, 2005, 63–70.
2. *Philipp Koehn, Franz J. Och, and Daniel Marcu.* Statistical Phrase-Based Translation. In Proceedings of the 2003 Human Language Technology Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics, 2003, 127-133.
3. *Franz Josef Och*. 2003. Minimum Error Rate Training in Statistical Machine Translation. In Proceedings of the 41st Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, 2003, 160–167.
4. *Och, Franz & Ney, Hermann*. Discriminative Training and Maximum Entropy Models for Statistical Machine Translation. Proc. of the 40th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, 2002, 295-302.
5. *Ilya Sutskever, Oriol Vinyals, and Quoc V. Le.* Sequence to sequence learning with neural networks. In Proceedings of the 28th International Conference on Neural Information Processing Systems, 2014, 3104–3112.
6. *Ashish Vaswani, Noam Shazeer, Niki Parmar, Jakob Uszkoreit, Llion Jones, Aidan N. Gomez, Lukasz Kaiser, Illia Polosukhin*. Attention Is All You Need. 31st Conference on Neural Information Processing Systems, 2023.
7. *Luisa Bentivogli, Arianna Bisazza, Mauro Cettolo, & Marcello Federico*. Neural versus Phrase-Based Machine Translation Quality: a Case Study. Proceedings of the 2016 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, 2016, 257-267.
8. *Vakul Goyle, Parvathy Krishnaswamy, Kannan Girija Ravikumar, Utsa Chattopadhyay, & Kartikay Goyle*. Neural Machine Translation for Low Resource Languages, 2023.
9. *Dwivedi, Ritesh & Nand, Parma & Pal, Om*. Hybrid NMT model and comparison with existing machine translation approaches. Multidisciplinary Science Journal. 7, 2024.
10. *Xing Wang, Zhengdong Lu, Zhaopeng Tu, Hang Li, Deyi Xiong, & Min Zhang*. Neural Machine Translation Advised by Statistical Machine Translation. In Proceedings of the Thirty-First AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI'17), 2016.

AUTOMATION OF TRANSLATION OF SPECIAL TEXTS USING THE EXAMPLE OF LINGUISTIC LOGISTICS OF PROGRAMMING DOCUMENTATION

E.M. Solopov [1]
Scientific Adviser – A. N. Shovgenin[2]
MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1]solopov.e.m@edu.mirea.ru, [2] shovgenin@mirea.ru

Abstract

The translation of specialized technical literature, particularly programming documentation, presents significant challenges for traditional machine translation (MT) systems. Issues include accurately rendering domain-specific terminology, handling limited training data, and preserving unique document structures and code snippets. This work aims to develop and theoretically substantiate a hybrid MT approach to enhance translation quality and accuracy for such texts.

A comprehensive analysis of existing MT paradigms – Rule-Based (RBMT), Statistical (SMT), and Neural (NMT) – reveals their individual limitations. RBMT offers predictability but lacks scalability and fluency. SMT excels at phrase translation, crucial for technical terms, but struggles with long-range dependencies and contextual coherence. NMT provides high fluency and contextual understanding through architectures like Transformers but can "hallucinate", requires extensive training data (problematic for rare domains and terminology), and offers limited interpretability. None of these approaches, in isolation, optimally address the nuances of technical translation.

Hybrid MT models, by combining the strengths of different paradigms, offer a promising solution. This paper focuses on an NMT-SMT hybrid, specifically an SMT-guided NMT architecture, to leverage NMT's fluency and SMT's precision with terminology and phrases. The proposed conceptual framework integrates an SMT module that provides "recommendations" to the NMT decoder. This SMT module, potentially pre-trained, suggests candidate translations based on its features. A neural classifier evaluates these suggestions within the NMT's current context, and a gating mechanism dynamically weights the NMT's own prediction against the SMT's recommendation for generating the final token. This method allows for explicit integration of terminological knowledge and statistical phrasal information into the NMT pipeline, aiming for improved accuracy and consistency.

The study theoretically demonstrates that such a hybrid system can offer more targeted control over the translation process, prioritizing the fidelity critical for technical documentation. The practical significance lies in advancing towards more accurate, adaptive, and controllable MT systems specifically tailored for the complexities of programming documentation and other specialized technical fields. This research contributes to developing MT solutions that better meet the demands of translating texts where precision and consistency are paramount.

Keywords

Machine translation, token, neural network, coherence, entropy, domain, corpus, parallel text, encoder, decoder, transformer, pipeline, robust, vector.

УДК 621.396.6:004.7(985)

АНАЛИЗ ПРЕДСТАВЛЕННОСТИ ИНФОРМАЦИИ ОБ АРКТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЯХ СВЯЗИ И УПРАВЛЕНИЯ НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ

А.Е. Таркинский[1], Д.В.Калинин[2]
Научный руководитель – А. Н. Шовгенин[3]
МИРЭА – Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1]tarkinskiy.a.e@edu.mirea.ru, [2]kalinin.d.v1@edu.mirea.ru, [3]shovgenin@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Арктика представляет собой уникальный вызов для современных технологий, так как существующие условия нигде более не встречаются. Вместе с тем данный регион представляется крайне интересным для освоения. К сожалению, заинтересованность Арктикой пережила длительный период охлаждения, соответственно, большинство использующихся там технологий создавалось без учёта особенности арктических условий. Англоязычные публикации демонстрируют смещение фокуса внимания на ограниченный круг технологий, оставляя без должного внимания другие перспективные направления.

Цель. В данной работе был проведён комплексный анализ англоязычных публикаций и экспертных материалов, посвящённых арктическим технологиям связи и управления для выявления существующих технологических трендов и оценки степени освещённости различных аспектов данной проблемы. Основное внимание уделяется вопросу, почему некоторые перспективные технологии остаются на периферии научного дискурса, в то время как другие получают непропорционально больше внимания исследователей.

Результаты. Анализ англоязычных публикаций выявил преобладание спутниковых систем в научном дискурсе над подводными акустическими сетями и гибридными системами, которые представлены фрагментарно. Особенно заметен дефицит исследований, посвященных адаптации оборудования к экстремальным условиям – при том, что именно этот аспект часто становиться критическим при практическом внедрении технологий. Подобный дисбаланс сохраняется на протяжении всего исследуемого период, несмотря на очевидную потребность в комплексном подходе к таким технологиям. Под исследуемым периодом подразумевается 10 последних лет.

Ключевые слова

Арктика, технологии связи, спутниковые системы, IoT (интернет вещей), экстремальные условия.

Введение

Арктика представляет собой уникальную и крайне сложную среду для внедрения технологий связи и управления (ТСУ). Экстремально низкие температуры, достигающие -50°C, оказывают серьёзное воздействие на работу стандартного электронного оборудования: литий-ионные аккумуляторы теряют значительную часть ёмкости, полупроводниковые материалы меняют свои свойства, жидкокристаллические дисплеи перестают корректно функционировать. В таких условиях обычное коммуникационное оборудование, не рассчитанное на экстремальные климатические факторы, прекращает штатное функционирование.

Кроме низких температур арктический регион характеризуется ураганными ветрами, скорость которых достигает 20 м/с и более. Такие ураганные ветра несут опасность для любых антенных систем, так как они покрываются слоем измороси, что приводит к сбоям в работе или полному отказу оборудования. В зимний период такие штормы могут длиться неделями, что приводит к невозможности проведения ремонтных работ и технического обслуживания.

Особой проблемой Арктики можно выделить её площадь. Арктический регион занимает примерно 4% площади Земли, которые до сих пор слабо исследованы. На таких расстояниях и при учёте вышеописанных факторов даже самые мощные передатчики оказываются бессильны. Расстояния между населёнными пунктами могут исчисляться сотнями километров, а отсутствие развитой сети дорог делает доставку грузов и оборудования невероятно дорогостоящей и опасной. К географическим проблемам можно добавить длину

полярной ночи, которая в некоторых районах может длиться месяцами, что лишает специалистов возможности использовать солнечную энергию.

Особое значение имеет высокая изменчивость и непредсказуемость арктической среды. Простейшим примером является таяние ледников, что может стать угрозой для уже установленных вышек связи и других построек. Иногда, оборудование, которое успешно пережило зиму, отказывает во время весенних оттепелей из-за конденсата от испарения. Таким образом, арктические условия предъявляют уникальные требования к ТСУ, что делает необходимыми разработку специализированных решений, способных обеспечить надёжную и устойчивую работу в этой суровой среде.

Методы и материалы

Анализ представленной информации по арктическим ТСУ является сложной задачей ввиду разрозненности данных, узкой специализации многих публикаций и отсутствия единого подхода в существующих исследованиях. Следует отметить, что большая часть релевантных материалов написана учёными из Швеции, Норвегии и Дании, что связано с их географической заинтересованностью в Арктике. При этом количество публикаций по арктическим ТСУ в европейском научном дискурсе остаётся относительно небольшим, а часть работ представляет собой узкоспециализированные исследования или набор графиков, иллюстрирующих отдельную технологию, не получивших широкого отклика. Кроме того, анализ показал, что в имеющихся публикациях недостаточно внимания уделяется взаимодействию с конечными пользователями – моряками, исследователями и местными жителями, что затрудняет адаптацию новых технологий к реальным условиям эксплуатации и снижает эффективность их внедрения. Для преодоления этих проблем необходимы междисциплинарные исследования и развитие инновационных решений, способных обеспечить устойчивую и безопасную работу навигационных и IoT-систем в Арктике.

Для сбора материалов использовались платформы Google Scholar, ResearchGate и Arctic Council, так как для поиска необходимых статей именно на этих ресурсах затрачивается меньше всего времени и отсутствует необходимость пролистывать все страницы поисковой выдачи. Отбор публикаций осуществлялся по ключевым словам и анализу аннотаций, связанным с арктическими ТСУ, только на английском языке. В силу лингвистических сложностей с точным переводом со шведского и норвежского языков, часть статей не принималась во внимание, делая акцент на материалы, доступные для анализа всего европейского научного сообщества, а не только жителей конкретных стран. Методология анализа включала систематизацию и качественную оценку информации по типам каналов связи, материалам, адаптационным решениям и другим ключевым характеристикам. Отсутствие единого стандарта классификации ТСУ в англоязычной литературе потребовало разработки собственного алгоритма структурирования данных.

Результаты

Анализ современных публикаций по арктическим технологиям управления и связи выявил значительный дисбаланс в освещении различных перспективных направлений исследований. К примеру, в научном дискурсе преобладает внимание к спутниковым системам, особенно к низкоорбитальным (LEO), таким как Starlink, Kuiper. При этом остаётся без должного освещения использование других видов связи, которые могли бы быть полезны в арктических условиях. В частности, не было упоминаний о тропосферной связи, которая может служить эффективным ретранслятором на расстояниях 200-250 км, что важно для создания цепочек связи в труднодоступных районах [1]. Также недостаточно внимания уделяется классической радиосвязи, которая до сих пор используется в экспедициях или на стационарных станциях преимущественно в диапазонах коротких или ультракоротких волн [2]. Мало освещены вопросы интеграции спутниковой связи с наземными сетями, включая сотовую связь и волоконно-оптические линии, которые, на данный момент, охватывают

ограниченную часть территории Арктики [3]. Вместе с тем, подводные акустические системы связи, несмотря на свою перспективность для условий Крайнего Севера, остаются практически не исследованными и не интегрированными в комплексные решения. Экспериментальные данные демонстрируют возможность стабильной передачи данных на расстояниях до 10 км при использовании отражённых от дна акустических сигналов, что особенно важно в условиях ограниченного покрытия спутниковой и наземной инфраструктуры.

Особое внимание в европейском научном дискурсе уделяется развитию систем навигации и управления, а также интеграции Интернета вещей (IoT) для повышения безопасности и эффективности функционирования в Арктике [4]. Спутниковые технологии, такие как Galileo и Copernicus, обеспечивают высокоточное позиционирование и мониторинг ледовой обстановки, что критично для судоходства и инфраструктуры в данном регионе [5, 6]. В рамках проектов ACCIBERG и Copernicus Arctic Hub создаются цифровые платформы с открытым доступом к данным, позволяющие улучшить прогнозирование дрейфа айсбергов и морского льда. Параллельно развивается направление IoT, которое использует LEO спутники, такие как SWARM, для обеспечения связи с удалёнными сенсорными узлами, например, буями, для мониторинга окружающей среды и управления ресурсами в ограниченной инфраструктуре [7, 8]. Эти технологии позволяют собирать данные с удалённых объектов и передавать их с помощью спутников, что особенно актуально в условиях Крайнего Севера из-за недоступности наземных сетей. При этом, современные исследования подчёркивают необходимость интеграции спутниковых навигационных данных с IoT-платформами для создания комплексных цифровых двойников Арктики, объединяющих спутниковые, метеорологические и локальные данные с целью повышения точности прогнозов и надёжности навигации [1]. Однако, не смотря на эти достижения остаётся ряд существенных пробелов. В частности, недостаточно проработан вопрос комплексной интеграции спутниковых данных с IoT-платформами для создания надёжных и гибких цифровых двойников Арктики, способных учитывать быстро меняющиеся климатические условия данного региона. Также существует дефицит исследований, посвящённых адаптации систем к условиям полярной ночи, сильным магнитным и ледяным бурям, так как климатические условия относительно уникальны, соответственно, по-особому влияют на вышеперечисленные системы и комплексы, ухудшая качество спутникового сигнала и нанося вред оборудованию.

Обсуждение

Результаты анализа показывают, что в европейском научном дискурсе преобладает внимание к спутниковым системам связи по сравнению с другими видами, что обусловлено широким спектром их применения и популярности технологии. Однако такой узкий фокус приводит к недостаточному вниманию к альтернативным и не менее перспективным технологиям – тропосферной и классической радиосвязи, а также подводным акустическим системам, которые могут существенно повысить надёжность коммуникаций в условиях экстремальных природных факторов и ограниченности инфраструктуры [6, 7, 8]. Кроме того, влияние климатических особенностей региона, таких как полярная ночь и сильные ветра с резким понижением температуры вплоть до -50ºС, остаётся недостаточно изученным, что создаёт риски для стабильности работы навигационных и IoT-систем [9]. Эти пробелы указывают на необходимость расширения междисциплинарных исследований и разработки адаптивных технических решений, учитывающих уникальные условия Арктики.

Также замечено отсутствие интеграции спутниковых систем с наземными сетями, включая сотовую связь и волоконно-оптические линии, которые до сих пор охватывают лишь ограниченную часть Арктики. Подводные акустические системы, несмотря на свою перспективность для морских и прибрежных районов, представлены фрагментарно и редко рассматриваются как часть комплексных коммуникационных решений, хотя

экспериментальные данные подтверждают их эффективность для передачи данных на расстояниях до 10 км в условиях отсутствия стабильного спутникового или наземного покрытия.

Нерешённой остаётся проблема интеграции спутниковых данных с IoT-платформами для создания цифровых двойников Арктики, что ограничивает возможности точного прогнозирования и управления в быстроменяющихся климатических условиях. Данные особенности, такие как полярная ночь, ураганные ветра и экстремально низкие температуры, оказывают значительное влияние на стабильность и надёжность работы навигационных и самих IoT-систем [10]. Например, длительная полярная ночь затрудняет использование солнечной энергии для питания оборудования, а обледенение антенн приводит к сбоям в работе спутниковых терминалов. Кроме того, высокая изменчивость среды затрудняет доставку грузов по морским путям в районе Арктики, усложняет жизнь людей в этом регионе [11]. Поэтому в данной интеграции заинтересованы не только учёные, но и конечные пользователи – моряки и жители Арктики, так как это поможет предсказывать погоду более точно.

В совокупности полученные данные свидетельствуют о том, что для обеспечения устойчивого и эффективного функционирования арктической инфраструктуры необходимо перейти от фрагментированных технологических подходов к комплексной интеграции спутниковых, наземных и подводных систем с учётом уникальных условий Крайнего Севера. Такой системный подход позволит повысить адаптивность и надёжность коммуникаций и навигации в условиях быстро меняющегося климата и ограниченности ресурсов.

Заключение

В настоящем исследовании проведён системный анализ европейского научного дискурса на английском языке по арктическим технологиям связи и управления. Выявлено, что несмотря на растущий интерес к спутниковым системам, многие альтернативные технологии остаются недостаточно изученными, что снижает возможность повышения надёжности и устойчивости коммуникации в регионе. Кроме того, обнаружен существенный пробел во взаимодействии с конечными пользователями, что снижает эффективность внедрения новых решений в экстремальных условиях Арктики.

Актуальные исследования подчёркивают необходимость междисциплинарного подхода и разработки инновационных адаптивных технологий, способных обеспечить устойчивую и надёжную работу навигации и IoT-систем в регионе. Комплексный подход к интеграции спутниковых, наземных и подводных систем с учётом уникальных климатических и географических особенностей Арктики является ключом к успешному развитию инфраструктуры связи и управления в этом стратегически важном регионе. Дальнейшие исследования должны быть направлены на расширение охвата тематики, углубление изучения влияния климатических факторов и разработку практических решений для повышения надёжности и безопасности арктических коммуникаций.

Список литературы

1. *Kurnikov A., et al*. Possible satellite communication links in the Arctic // Journal of Radio Electronics. 2020. Vol. 50, No. 8. P. 123–132. URL: http://jre.cplire.ru/jre/aug20/13/abstract_e.html
2. Looking to the skies to navigate icy waters // Horizon Magazine. 2024. URL: https://projects.research-and-innovation.ec.europa.eu/en/horizon-magazine/looking-skies-navigate-icy-waters
3. Low-Cost IoT Communication in the Arctic Region // MDPI. 2024. URL: https://www.mdpi.com/2226-4310/12/2/130
4. *Johnson M., et al*. Satellite to buoy IoT communications in the Arctic Ocean // Frontiers in Marine Science. 2023. Vol. 10, Article 1153798. URL: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2023.1153798/full
5. Арктика: развитие спутниковой связи и интеграция с наземными сетями // Arctic-Russia.ru. 2025. URL: https://arctic-russia.ru/news/razvitie-sputnikovoy-svyazi-v-arktike-plan-roskosmosa-do-2027-goda/
6. *Кулешов И. А., Солозобов С. А., Шевченко В. В.* Предложения по созданию территориально распределенной системы связи в Арктике // Инновации. 2018. №11 (241). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/predlozheniya-po-sozdaniyu-territorialno-raspredelennoy-sistemy-svyazi-v-arktike

7. *Папырин В. В., Сидоров В. К.* Радиосвязь в Арктике: история и современность // Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. 2018. №3. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/radiosvyaz-v-arktike-istoriya-i-sovremennost
8. Satellite to buoy IoT communications in the Arctic Ocean // Frontiers in Marine Science. 2023. URL: https://www.frontiersin.org/journals/marine-science/articles/10.3389/fmars.2023.1153798/full
9. *Smith J., et al*. Low-Cost IoT Communication in the Arctic Region // Aerospace. 2023. Vol. 12, No. 2, Article 130. URL: https://www.mdpi.com/2226-4310/12/2/130
10. Влияние климатических условий Арктики на состояние военной специальной техники материального обеспечения / А. А. Евдокимов, И. М. Трофимов, А. С. Золотарев, М. В. Кузьмин // Современное состояние безопасности на транспорте и перспективы ее совершенствования: Материалы межвузовской научно-практической конференции, Санкт-Петербург, Петергоф, 20 апреля 2022 года. – Санкт-Петербург, Петергоф: Военный институт (инженерно-технический) - структурное подразделение Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования "Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В.Хрулева" министерства обороны Российской федерации, 2022. – С. 38-46. – EDN HVVZIO.
11. *Plass S., Bekkadal F., Clazzer F.* Satellite Communication Development in Arctic Region // International Journal of Engineering Research and Technology. 2016. Vol. 5, Issue 3. P. 1–7. URL: https://www.ijert.org/satellite-communication-development-in-arctic-region
12. European Commission Joint Research Centre. Europe’s Earth Observation, Satellite Navigation and Communications in the Arctic. 2019. URL: https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC121206/jrc_technicalreport_print_arctc_final_1.pdf
13. European Commission Joint Research Centre. Europe’s space capabilities for the benefit of the Arctic. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2021. 56 p. URL: https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC118965/europes_space_capabilities_arctic_final_online_1.pdf
14. Arctic PASSION – Pan-Arctic observing System of Systems. EU H2020 project (2021–2025). URL: https://www.eu4oceanobs.eu/regional_initiatives/arctic/

ANALYSIS OF THE REPRESENTATION OF INFORMATION ON ARCTIC COMMUNICATION AND CONTROL TECHNOLOGIES IN ENGLISH-LANGUAGE SOURCES

A.E. Tarkinskiy[1], **D.V. Kalinin**[2]
Scientific Adviser – A. N. Shovgenin[3]
MIREA – Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1]tarkinskiy.a.e@edu.mirea.ru, [2]kalinin.d.v1@edu.mirea.ru, [3] shovgenin@mirea.ru

Abstract

The Arctic presents a unique challenge for modern technologies, with environmental conditions unmatched elsewhere. Despite growing interest, most technologies used in the region were developed without consideration for its specific demands. Analysis of English-language publications shows a strong focus on satellite systems, while other promising solutions—such as underwater acoustic and hybrid networks—remain underrepresented. There is a notable lack of research on adapting equipment to extreme Arctic conditions, even though this is often critical for practical implementation. This imbalance has persisted over the past decade, highlighting the need for a comprehensive, interdisciplinary approach to Arctic communication and control technologies.

Keywords

Arctic, communication technologies, satellite systems, IoT (Internet of Things), extreme conditions

УДК 001.4:004.94

МОДЕЛИРОВАНИЕ И СИМУЛЯЦИЯ В АСПЕКТЕ КРОСС-ДИСЦИПЛИНАРНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕРМИНОЛОГИИ

Н.А. Тишин[1]
Научный руководитель – А. Н. Шовгенин[2]
МИРЭА — Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] tishin.n.a@edu.mirea.ru, [2] shovgenin@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. В современном мире процессы моделирования и симуляции находят все большее применение в различных областях, таких как ракетостроение, химия, робототехника, однако, по мере возрастания количества внимания, уделяемого данной теме, также возникают терминологические проблемы, связанные с неоднозначной трактовкой или низкой распространенностью тех или иных терминов.

Цель. Разработать подход к составлению тезауруса терминов, используемых в области моделирования и симуляции в различных научных работах.

Результаты. Составлены несколько статей тезауруса терминов, использующихся в области моделирования и симуляции. Представленный лексикографический материал включает 10 терминов, отобранных из 30 научных работ.

Практическая значимость. Полученные результаты предлагают модель трактовки терминов при изучении и написании научных работ, а также могут быть использованы для улучшения качества систем автоматического перевода специализированных текстов.

Ключевые слова

Моделирование, симуляция, термин, тезаурус, синоним, гипероним, терминология, кросс-дисциплинарность.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

По мере увеличения сложности, дороговизны, разнообразия и масштабности объектов исследований и проектирования все большую популярность приобретают моделирование и симуляция процессов. Они предлагают перспективную альтернативу традиционным методам тестирования, позволяя создавать виртуальные среды, имитирующие реальные условия [1].

Основным подходом к проверке модели является сравнение поведения, генерируемого моделью, и исходной системы, которую она представляет, в заданной экспериментальной системе, поэтому задача создания соответствующей системы требует комплексного анализа используемых методов, имеющихся возможностей и ограничений систем моделирования [2]. При этом зачастую возникает проблема неоднозначности интерпретации изучаемых материалов, в том числе связанная с быстрым развитием и преобразованием данной области. В связи с этим возникает необходимость отслеживать развитие системы терминов и понятий в области моделирования и симуляции.

Цель работы — разработать подход к составлению тезауруса терминов, используемых в области моделирования и симуляции в различных научных работах, который может использоваться, как адекватный способ систематизации знаний [3]. С учетом того, что терминология при кросс-дисциплинарном использовании привносит элементы значения из одних дисциплин в другие подобно заимствованиям из одного языка в другой, уместно предположение о схожести семантики каждой терминологической единицы во всех рассматриваемых дисциплинах [4].

Материалы и методы

Для достижения цели исследования проводился тщательный отбор текстов для анализа. Корпус исследования формировался из научных статей, опубликованных в рецензируемых журналах и материалах конференций. Отбор производился по таким активно использующим

моделирование и симуляцию ключевым предметным областям как физика, астрономия, биология и экономика. Также использовались уже существующие сборники терминов в данной предметной области.

Сбор анализируемых материалов осуществлялся с помощью Scopus, Web of Science и Mendeley по ключевым словам “modeling” и “simulation”. Подходящие англоязычные статьи были отсортированы по релевантности, после чего для расширенного анализа было отобрано 30 наиболее подходящих.

При решении задачи выявления терминов могут возникнуть некоторые проблемы. Существует множество подходов к их решению. За последние 50 лет автоматическое извлечение терминологии из научных текстов сформировалось как отдельная отрасль разработки алгоритмов и ПО в рамках компьютерной лингвистики, и в ней были получены значимые результаты [5]. Для первоначального выявления потенциальных терминов использовался инструмент TerMine предназначенный для автоматического извлечения многословных терминов на основе статистических и лингвистических критериев. Такой выбор был сделан, поскольку TerMine – это свободно доступный ресурс из академической области, сочетающий высокий уровень доступности и качества работы с контекстом [6].

Текст публикации извлекался в формат .txt, после чего загружался в TerMine, запускалась обработка, а затем в режиме таблицы анализировались первые 30—50 терминов по параметру Score. Далее отбор проводился вручную.

Полученный список был подвергнут проверке для выбора наиболее часто встречающихся, актуальных и имеющих фундаментальное значение в изучении и освоении дисциплины терминов, которые и легли в основу модели тезауруса. В результате отбора для настоящей работы было оставлено 10 терминологических единиц, использующихся в таких областях как урбанистика, промышленное производство, биология, медицина, экология, бизнес, физика и химия.

При выборе эквивалентов исходных терминов на русском языке для формирования тезауруса использовались специализированные терминологические словари, что обеспечило точность перевода [7, 8, 9].

Для представления кросс-дисциплинарных связей была выбрана комбинированная модель тезауруса, включающая иерархические, эквивалентные (синонимия) и ассоциативные связи. Иерархическая структура позволяет организовать термины по уровням абстракции, эквивалентные связи объединяют синонимичные, а ассоциативные связи отражают междисциплинарные отношения и смежные понятия.

В тезаурусе были выделены следующие типы семантических отношений:

- Синонимы (SYN): Термины, имеющие схожее значение в определенном контексте (с указанием дисциплинарной специфики, если есть).
- Гипероним (HYP): Более общий термин, включающий данный термин как свой вид.
- Ассоциативный термин (RT — Related Term): Термин, семантически связанный с данным, но не находящийся в отношениях синонимии или иерархии (часто отражает междисциплинарные связи или смежные понятия).
- Замечание о кросс-дисциплинарности (CDN — Cross-Disciplinary Note)

Каждая словарная статья в тезаурусе включает:

- Основной термин.
- Краткое определение.
- Синонимы (SYN).
- Гиперонимы (HYP).
- Ассоциативные термины (RT).
- Замечание о кросс-дисциплинарности (CDN— Cross-Disciplinary Note)

Результаты

Ниже представлены составленные в ходе работы словарные статьи тезауруса, включающие ключевые термины предметной области. Использовался алфавитный порядок англоязычных версий терминов.

Точность (Accuracy)

- Определение: Близость измеренного или смоделированного/вычисленного значения к его «истинному» значению.
- SYN: Правильность, Достоверность, Близость к истинному значению
- HYP: Характеристика качества (Quality characteristic), Метрика оценки (Evaluation metric)
- RT:
    - Валидность (Validity)
    - Верификация (Verification)
    - Ошибка (Error)
    - Погрешность (Bias)
    - Калибровка (Calibration)
    - Истинное значение (True value)
    - Моделирование (Modeling)
- CDN: в областях, которым свойственны строго определенные законы (физика, химия) точность определяется соответствием результата известным законам, в то время как в других рассматриваемых дисциплинах она характеризуется степенью соответствия реальным трендам или стандартам

Агент (Agent)

- Определение: Автономная сущность с определенным набором характеристик и правил поведения, способная взаимодействовать с окружающей средой и другими агентами.
- SYN: Автономный агент (Autonomous agent), Индивидуальный агент (Individual agent), Entity (в контексте дискретно-событийного моделирования), Particle (в физических симуляциях), Individual (в социальных симуляциях), Actuator (в промышленности)
- HYP: Объект моделирования (Modeling Object), Сущность (Entity)
- RT:
    - Агент-ориентированное моделирование (Agent-Based Modeling)
    - Взаимодействие агентов (Agent Interaction)
    - Поведение агента (Agent Behavior)
    - Многоагентная система (Multi-Agent System)
    - Эмерджентность (Emergence)
    - Автоматизация (Automation) (в промышленности)
    - Сенсор (Sensor) (в промышленности, как источник информации для агента)
- CDN: В социальных науках/урбанистике — индивидуум/организация с поведением, в биологии/экологии — организм/молекула, в информатике — программная сущность, в промышленности — автономный элемент системы, в физике/химии — частица/молекула, в медицине — человек/клетка.

Динамика (Dynamics)

Определение: Изменение состояния системы во времени под воздействием внутренних и внешних факторов.

SYN: Развитие (Development), Изменение (Change), Эволюция (Evolution), Процесс (Process)

HYP: Изменение (Change), Процесс (Process)

RT:

Система (System)

Время (Time)

Состояние (State)
Фактор (Factor)
Модель (Model)
Уравнения движения (Equations of motion)

CDN: В физике «динамика» описывает движение тел под действием сил. В биологии — динамику популяций или эволюционные процессы. В социальных науках — динамику социальных групп или экономических систем. В экологии — динамику экосистем или распространение видов. В промышленности — динамику производственных процессов или поведение рынка. В урбанистике — динамику роста городов или транспортных потоков. В медицине — динамику развития заболевания. В химии — химическую кинетику и динамику реакций.

Концептуальная модель (Conceptual Model)

Определение: Гипотеза относительно важных факторов, которые управляют поведением интересующего объекта или процесса. Это может быть интерпретация или рабочее описание характеристик и динамики физической системы.

SYN: Гипотеза о факторах (Hypothesis of factors), Рабочее описание (Working description), Интерпретация системы (System interpretation), Ментальная модель (Mental model)

HYP: Модель (Model), Гипотеза (Hypothesis), Описание (Description), Представление (Representation)

RT:
Фактор (Factor)
Физическая система (Physical system)
Абстракция (Abstraction)
Упрощение (Simplification)
Формализация (Formalization)
Параметр (Parameter)
Переменная (Variable)

CDN: В физике/химии — основанные на теориях, в медицине — описание болезней/систем, в биологии — гипотезы о взаимодействиях, в экологии — описание факторов экосистем, в урбанистике — описание факторов городской среды, в промышленности — описание производственных процессов.

Связь (Connection / Link)

Определение: Отношение или взаимодействие между двумя или более элементами системы.

SYN: Взаимодействие (Interaction), Соединение (Junction), Зависимость (Dependency), Отношение (Relation)

HYP: Отношение (Relation), Взаимодействие (Interaction)

RT:
Система (System)
Элемент (Element)
Модель (Model)
Структура (Structure)
Сеть (Network)

CDN: В физике «связь» может означать физическое соединение или взаимодействие сил. В биологии — взаимодействие между генами, белками или организмами в пищевой цепи. В социальных науках — отношения между индивидами или социальными группами. В экологии — потоки энергии и вещества между компонентами экосистемы. В промышленности — соединение деталей механизма или связь в производственной цепочке. В урбанистике — транспортные связи между районами города или социальные связи между жителями. В медицине — связь между симптомами и болезнью или взаимодействие лекарств.

Верификация данных (Data Verification)

- Определение: Процесс проверки точности, полноты, согласованности и надежности входных данных, используемых в моделировании или симуляции.
- SYN: Проверка данных (Data checking), Контроль качества данных (Data quality control), Аудит данных (Data audit)
- HYP: Проверка (Verification), Контроль качества (Quality control)
- RT:
    - Входные данные (Input data)
    - Точность (Accuracy)
    - Полнота (Completeness)
    - Согласованность (Consistency)
    - Надежность (Reliability)
    - Качество данных (Data quality)

Поток (Flow / Flux)

Определение: Количество вещества, энергии, информации или других сущностей, перемещающихся через определенную границу или область в единицу времени.

SYN: Поток (Stream), Перенос (Transfer), Интенсивность (Intensity), Производительность (Throughput)

HYP: Перемещение (Movement), Процесс (Process)

RT:

Система (System)

Граница (Boundary)

Количество (Quantity)

Время (Time)

Энергия (Energy)

Вещество (Substance)

Информация (Information)

CDN: В физике «поток» может означать поток жидкости, газа, тепла или электромагнитного излучения. В биологии — поток энергии в пищевой цепи или поток генетической информации. В социальных науках — миграционные потоки или потоки товаров и услуг. В экологии — потоки питательных веществ или энергии через экосистему. В промышленности — поток материалов на производственной линии или денежный поток. В урбанистике — транспортные потоки или поток населения. В медицине — кровоток или лимфоток. В химии — поток вещества в химической реакции.

Сценарий (Scenario)

- Определение: Воображаемая, но правдоподобная последовательность действий и вытекающих из них событий, которые могут произойти в будущем с исследуемой системой; модель будущего после принятия решения, представленная до его принятия
- SYN: Вариант (Variant), Прогон (Run), Настройка (Configuration), Условие (Condition)
- HYP: Набор данных (Dataset), Входные данные (Input data)
- RT:
    - Входные параметры (Input parameters)
    - Начальные условия (Initial conditions)
    - Прогон модели (Model run)
    - Анализ сценариев (Scenario analysis)
    - Чувствительность (Sensitivity)
    - Прогнозирование (Forecasting)
- CDN: В промышленности сценарии могут моделировать различные режимы работы оборудования или сбои. В медицине — различные варианты развития болезни или реакции на лечение. В биологии и экологии — изменения климата или воздействия антропогенных

факторов. В урбанистике — различные стратегии городского планирования или последствия стихийных бедствий. В физике и химии — различные условия эксперимента или протекания реакции.

Решение (Solution)

Определение: Результат решения проблемы или задачи, часто представленный в виде набора значений переменных или стратегии действий.

SYN: Ответ (Answer), Результат (Result), Выход (Output), Разрешение (Resolution)

HYP: Результат (Result), Выход (Output)

RT:

Проблема (Problem)

Задача (Task)

Алгоритм (Algorithm)

Модель (Model)

Переменная (Variable)

Оптимизация (Optimization)

CDN: В математике и физике «решение» может быть аналитической формулой или численным результатом уравнения. В информатике — корректно выполненная программа или найденный путь в графе. В биологии — эволюционно выгодная стратегия или способ адаптации организма. В социальных науках — способ разрешения социального конфликта или экономическая политика. В экологии — способ управления ресурсами или сохранения биоразнообразия. В промышленности — оптимизированный план производства или способ устранения неисправности. В урбанистике — план развития города или решение транспортной проблемы. В медицине — способ лечения болезни. В химии — растворение вещества или продукт реакции.

Состояние (State)

Определение: Набор характеристик системы в определенный момент времени, описывающий ее текущее положение или условия.

SYN: Положение (Position), Условие (Condition), Фаза (Phase), Статус (Status)

HYP: Характеристика (Characteristic), Условие (Condition)

RT:

Система (System)

Время (Time)

Переменная (Variable)

Параметр (Parameter)

Переход (Transition)

Пространство состояний (State space)

CDN: В физике «состояние» может описываться положением и скоростью частиц или термодинамическими параметрами. В биологии — физиологическое состояние организма или стадия клеточного цикла. В социальных науках — социальный статус индивида или состояние экономики. В экологии — состояние экосистемы (например, популяции видов). В промышленности — состояние оборудования (работает, сломано) или стадия производственного процесса. В урбанистике — состояние городской инфраструктуры или социально-экономическое состояние района. В медицине — состояние здоровья пациента. В химии — фазовое состояние вещества или стадия химической реакции.

Заключение

В данной работе выявлена и систематизирована кросс-дисциплинарная терминология моделирования и симуляции в различных областях (урбанистика, промышленность, медицина, биология, экология, физика, химия). Результатом стал ряд словарных статей тезауруса. Анализ показал, что термины демонстрируют явный общий элемент значения, сохраняющийся сквозь дисциплины, что подтвердило выдвинутое ранее предположение. Это

может позволить в дальнейшем разработать кросс-дисциплинарные методы и подходы к изучению и описанию, выявить кросс-дисциплинарную применимость алгоритмов и уравнений, используемых ранее лишь в отдельных областях при моделировании и симуляции. Таким образом дальнейшие исследования могут расширить охват и практическое применение тезауруса.

Список источников

1. *Коледачкин А. А. Использование моделирования и симуляций в тестировании: перспективы с применением ИИ // Вестник науки. 2024. №9 (78). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-modelirovaniya-i-simulyatsiy-v-testirovanii-perspektivy-s-primeneniem-ii (дата обращения: 24.05.2025).*
2. *Баринова Ирина Александровна, Вайсман Александра Олеговна О структуре словаря тезаурусного типа // Вестник ВятГУ. 2014. №2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/o-strukture-slovarya-tezaurusnogo-tipa (дата обращения: 24.05.2025).*
3. *Иванченко, Я. И. проблемы моделирования и симуляции / Я. И. Иванченко // StudNet. – 2022. – Т. 5, № 5. – С. 100. – EDN TMGWIT.*
4. Шамне, Н. Л. Эколингвистика : учебное пособие / Н. Л. Шамне, А. Н. Шовгенин ; Н. Л. Шамне, А. Н. Шовгенин ; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования "Волгоградский гос. ун-т", Ин-т филологии и межкультурной коммуникации, Научно-образовательный центр "Дискурсивная орг. современного информ. пространства региона". – Волгоград : Изд-во Волгоградского гос. ун-та, 2011. – 91 с. – ISBN 978-5-9669-0936-9. – EDN QWUYLB.
5. *Батура, Т. В. Извлечение терминов из текстов научных статей / Т. В. Батура, Е. П. Бручес, Я. Ю. Дементьева // Программные продукты и системы. – 2022. – № 4. – С. 689-697. – DOI 10.15827/0236-235X.140.689-697. – EDN VMOELD.*
6. *Гацук Екатерина Юрьевна Выбор терминологических экстракторов для выявления номинаций понятий языковой политики в текстах официальных документов Европейского Союза // Terra Linguistica. 2021. №4. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vybor-terminologicheskih-ekstraktorov-dlya-vyyavleniya-nominatsiy-ponyatiy-yazykovoy-politiki-v-tekstah-ofitsialnyh-dokumentov (дата обращения: 24.05.2025).*
7. *MacAl, C. M., M. J. North*. Tutorial on Agent-Based Modelling and Simulation. Journal of Simulation, 2010. 151–162 с.
8. Serena, L., Marzolla, M., D'Angelo, G., Ferretti, S. A review of multilevel modeling and simulation for human mobility and behavior. Simulation Modelling Practice and Theory, 2023.
9. *H. Lin.* VGEs as a New Platform for Urban Modeling and Simulation. Sustainability 2022.
10. *Grznár, P.* Modeling and simulation of processes in a factory of the future. Applied Sciences 2020.
11. *S. R. Subramanian, T. Gundersen, T. A. Adams*. Modeling and simulation of energy systems: A review. Processes, 2018)
12. *N. A. Mashudi, H. M. Kaidi, S. Sarip, L. A. Latiff*. The modelling and simulation of iot system in healthcare applications. International Journal of Advanced Technology and Engineering Exploration, 2021, 167–177 с.
13. *K. O. Yoro, M. O. Daramola, P. T. Sekoai, U. N. Wilson, O. Eterigho-Ikelegbe*. Update on current approaches, challenges, and prospects of modeling and simulation in renewable and sustainable energy systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2021.
14. *S. Gorecki, J. Possik, G. Zacharewicz, Y. Ducq, N. Perry*. A multicomponent distributed framework for smart production system modeling and simulation. Sustainability, 2020.
15. *C. M. Macal*. Everything you need to know about agent-based modelling and simulation. Journal of Simulation, 2016. 144–156 с.
16. *D. Stieler*. Agent-based modeling and simulation in architecture. Automation in Construction, 2022.
17. *M. A. R. Bak*. Computing fairness: ethics of modeling and simulation in public health. Simulation, 2022. 103–111 с.
18. *G. Tosello, G. Bissacco, J. Cao, D. Axinte*. Modeling and simulation of surface generation in manufacturing. CIRP Annals, 2023. 753–779 с.
19. *X. Shi, F. Tian*. Multiscale Modeling and Simulation of Nano-Carriers Delivery through Biological Barriers—A Review. Advanced Theory and Simulations, 2019.
20. *L. Zhang, L. Zhou, L. Ren, Y. Laili*. Modeling and simulation in intelligent manufacturing. Computers in Industry, 2019.
21. *T. E. Gartner, A. Jayaraman*. Modeling and Simulations of Polymers: A Roadmap. Macromolecules, 2019. 755–786 с.
22. *B. Zhang*. An online participatory system for SWMM-based flood modeling and simulation. Environmental Science and Pollution Research, 2022. 7322–7343 с.
23. *V. Nabaei, R. Chandrawati, H. Heidari*. Magnetic biosensors: Modelling and simulation. Biosensors and Bioelectronics, 2018. 69–86 с.

i. *C. Esan.* Modeling and Simulation of Flow Batteries. Advanced Energy Materials, 2020.

24. *M. Shahin, M. A. Babar, M. A. Chauhan*. Architectural Design Space for Modelling and Simulation as a Service: A Review. Journal of Systems and Software, 2020.
25. *M. K. Traoré, G. Zacharewicz, R. Duboz, B. Zeigler*. Modeling and simulation framework for value-based healthcare systems. Simulation, 2019. 481–497 с.

26. *L. Zhang.* An Integrated Intelligent Modeling and Simulation Language for Model-based Systems Engineering. Journal of Industrial Information Integration, 2022.
27. *B. S. Kim, B. G. Kang, S. H. Choi, T. G. Kim*. Data modeling versus simulation modeling in the big data era: Case study of a greenhouse control system. Simulation, 2017. 579–594 с.
28. *S. Bandini, S. Manzoni, G. Vizzari*. Agent based modeling and simulation: An informatics perspective. JASSS, 2009.
29. *H. He, D. Yuan, Y. Wu, Y. Cao*. Pharmacokinetics and pharmacodynamics modeling and simulation systems to support the development and regulation of liposomal drugs. Pharmaceutics, 2019.
30. *Erdemir, A.* Credible practice of modeling and simulation in healthcare: Ten rules from a multidisciplinary perspective. Journal of Translational Medicine, 2020.
31. *G. H. Lu, H. B. Zhou, C. S. Becquart*. A review of modelling and simulation of hydrogen behaviour in tungsten at different scales. Nuclear Fusion. 2014.
32. *W. L. Oberkampf, S. M. DeLand, B. M. Rutherford, K. V. Diegert, K. F. Alvin*. Error and uncertainty in modeling and simulation. Reliability Engineering and System Safety, 2002, 333–357 с.
33. *M. Halaška, R. Šperka*. Is there a Need for Agent-based Modelling and Simulation in Business Process Management? Organizacija, 2018. 255–269 с.
34. *M. A. Bhatti, L. C. Xi, Y. Lin*. Modeling and simulation of dynamic systems. Journal of Applied Sciences, 2006. 950–954 с.

MODELING AND SIMULATION IN THE CONTEXT OF CROSS-DISCIPLINARY TERMINOLOGY

N.A. Tishin[1]
Scientific Adviser – A. N. Shovgenin[2]
MIREA — Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] tishin.n.a@edu.mirea.ru, [2] shovgenin@mirea.ru

Abstract

This study investigates the cross-disciplinary functioning of terminology within the fields of modeling and simulation across various scientific and applied domains, including urban planning, industry, medicine, biology, ecology, physics, and chemistry. The research addresses the challenges posed by the varied interpretations and uses of key terms across these disciplines, hindering effective interdisciplinary communication and collaboration. The primary outcome of this work is the development of an approach to formation of a thesaurus of terms related to modeling and simulation. This thesaurus provides definitions, identifies synonyms, hypernyms, and highlights cross-disciplinary nuances for core terms within the subject area. The analysis reveals significant terminological variations between disciplines, underscoring the need for a structured resource to facilitate a more consistent and shared understanding. This thesaurus serves as a valuable tool for researchers working at the intersection of different fields, aiming to improve clarity and promote effective communication in the application of modeling and simulation methodologies.

Keywords

Modeling, simulation, term, thesaurus, synonym, hypernym, terminology, cross-disciplinarity.

УДК 81’33

ЛОКАЛИЗАЦИЯ И ПЕРЕВОД ИНОЯЗЫЧНОГО САЙТА ВУЗА (НА ПРИМЕРЕ САЙТОВ КИТАЙСКОЙ ВЕРСИИ МГУ И СПБГУ)

У Цюаньмин[1]
[1] Волгоградский государственный университет (Волгоград, Россия)
[1] wqm1022@mail.ru

Аннотация

В условиях глобализации и возрастающей потребности в экспорте российского образования, локализация и перевод мультиязычных сайтов высших учебных заведений приобретают критически важное значение. Настоящая работа посвящена анализу и сравнению специфики локализации и перевода официальных сайтов китайской версии Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (МГУ) и Санкт-Петербургского государственного университета (СПбГУ). В данной работе в качестве объекта исследования выбраны официальные сайты китайской версии МГУ и СПбГУ, а предметом являются навигации главной страницы, содержание и методы перевода текстовой информации на этих сайтах. Цель заключается в выяснении особенностей локализации и перевода этих сайтов для китайской аудитории, оценивании их качества и предложении по оптимизации локализованных версий на китайский язык. Результаты исследования демонстрируют, что локализация представляет собой комплексную задачу, включающую не только перевод текстовых материалов, но и адаптацию дизайна главной страницы сайта к культурным особенностям целевой аудитории. Устанавливается, что локализация и перевод китайских версий сайтов МГУ и СПбГУ имеют свои уникальные черты и методы. Наиболее часто используются следующие приемы перевода: подбор китайских аналогов, лексические дополнения, грамматические или лексические замены, компрессия и перефразирование текстов. А транскрипция русских слов на китайский язык применяется редко ввиду различий в языковых системах. Полученные результаты и выводы исследования позволяют оценить качество локализации и перевода иноязычных сайтов высших учебных заведений и внести рекомендации по их улучшению.

Ключевые слова

Локализация, перевод, веб-сайт, иноязычный сайт вуза, адаптация, переводческие трансформации.

Введение

В нынешнюю эпоху глобализации в целях повышения привлекательности и конкурентоспособности российского образования на международном рынке образовательных услуг в период с мая 2017 года по ноябрь 2025 года реализуется приоритетный проект «Развитие экспортного потенциала российской системы образования» [1]. Интернационализация уже стала неотъемлемой частью высшего образования и ведущей тенденцией его развития. Официальный мультиязычный сайт вуза является «инструментом реализации ряда задач, а именно: информационной поддержки деятельности вуза (образовательной, научной, общественной, культурной и др.); формирования имиджа учебного заведения; обеспечения коммуникаций с субъектами рынка; проведения приемной кампании; реализации маркетинговых программ и др.» [2, с. 38]. Таким образом, не менее актуальным стало проведение локализации и перевода иноязычного сайта вуза.

Локализация является одним из актуальных направлений в современном переводоведении и лингвистике. Локализация и перевод разнообразных веб-сайтов и дискурсов привлекли внимание многочисленных исследователей.

В работах Кочневой Ю.Е. [3] и Тараскиной Я.В. [4] рассмотрены особенности локализации университетских сайтов исходной русскоязычной и локализованной на английский версий, проведен анализ контента и структуры сайтов. На основании русскоязычной, англоязычной и немецкоязычной версий веб-сайтов Apple и Samsung Захаровой-Дехамнией В.В. [5] выявлены лингвокультурологические и переводческие характерные черты локализации маркетингового дискурса. В своих исследованиях Иксарова М.В. [6, 7] провела анализ стратегий локализации веб-сайтов китайских корпораций Huawei и Lenovo, осуществляя сравнительное исследование оригинальных версий сайтов с их локализованными версиями на английский и

русский языки. Некоторые исследователи также сосредотачиваются на изучении особенностей локализации других различных типов дискурсов, в частности, туристического [8, 9], видеоигрового [10, 11] и культурного [12, 13].

В рамках нашего исследования мы рассмотрим китайские версии официальных сайтов Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (МГУ) [14] и Санкт-Петербургского государственного университета (СПбГУ) [15] в качестве кейса. Будут проведены анализ и сравнение специфики локализации этих сайтов. Проводится анализ навигации главной страницы, содержания и методов перевода текстовой информации на китайских версиях сайтов МГУ и СПбГУ в сравнении с исходными русскоязычными версиями. По результатам исследования будут сформулированы оценки и предложения по оптимизации локализованных версий на китайский язык.

Результаты и обсуждение

На официальном сайте МГУ, адаптированном для пользователей из Китая, не все разделы главной страницы русской версии сайта были сохранены в полном объёме. Доступны следующие разделы: «Сведения об университете», «Порядок поступления», «Институты и факультеты», «Международная деятельность», «Научные исследования» и т.д. Отсутствуют вкладки, характерные для русской версии сайта: «Новости», «МГУ в цифрах», «Поиск», «Анонсы» и др. При локализации китайской версии сайта не было осуществлено полное дублирование структуры и перевода текстовой информации. На главной странице китайской версии сайта вместо привычной вкладки «Новости» размещена ссылка на информацию о дне открытых дверей для иностранных студентов, проведенном 27 апреля 2025 года. Скорее всего, данный гипертекстовый элемент призван обозначить наличие детальной и структурированной информации, касающейся процедуры поступления, которая является важной для абитуриентов.

Структура главной страницы официального сайта СПбГУ на китайском языке во многом схожа с его русскоязычным оригиналом и включает разделы «Сведения о СПбГУ», «Поступление», «Образование», «Научные исследования», «Новости и события», «Баннеры», «СПбГУ в цифрах» и др., каждый из которых подразделяется на более мелкие категории. В сравнении с китайской версией сайта МГУ, сайт СПбГУ на китайском языке предоставляет более полную информацию, и его структура лучше соответствует стандартам китайских университетских сайтов. Кроме того, сайт СПбГУ на китайском языке регулярно обновляется актуальными новостями и событиями, с особым вниманием к тематике, связанной с Азией и Китаем или значительными мероприятиями. Например, на главной странице размещены баннеры с информацией о визите председателя Китайской Народной Республики Си Цзиньпина в СПбГУ в 2019 году. Для удобства поиска информации, под новостями и событиями добавлены соответствующие теги, позволяющие китайским студентам быстро найти интересующие их материалы.

Проведенный анализ дизайна навигации главной страницы и контента на сайтах китайской версии МГУ и СПбГУ показал, что процесс локализации для каждого вуза имеет свои специфические черты и приоритетные направления. МГУ в своей стратегии локализации фокусируется на предоставлении китайской аудитории максимального объема полезной информации посредством простых и интуитивно понятных навигационных меню и текстовых материалов. В свою очередь, СПбГУ стремится предоставить на своем сайте максимально полную информацию из русскоязычной версии для того, чтобы китайские абитуриенты могли получить исчерпывающее представление об университете.

В ходе исследования методов перевода текстов нами был проведен анализ примеров, представленных на веб-сайтах указанных выше учебных заведений.

При обработке больших объемов текста используются переводческие трансформации, в частности приемы **компрессии** и **переоформления текстов** с соблюдением принципов простоты и ясности. В качестве примера можно привести раздел «МГУ в рейтингах», где

графические изображения преобразованы в текстовую форму. Также на сайте китайской версии СПбГУ подраздел «Целевое обучение и стипендии» демонстрирует иной подход: вместо прямого перевода текстов с русскоязычной версии, была обобщена информация о различных конкурсах, олимпиадах, стипендиях, условиях участия и необходимых документах.

Приводится пример использования приема **лексических дополнений** при переводе навигационного меню «Университет» и «Наука» на китайский язык. Так, для МГУ используются выражения «学校概况» («Общие сведения об университете») и «科学研究» («Научные исследования»); для СПбГУ применяются аналогичные по смыслу, но с учетом специфики университета «圣大概况» («Общие сведения о СПбГУ») и «科研» («Научные исследования (сокращенный)»). Применение лексических дополнений позволяет сделать перевод более естественным и соответствующим нормам китайского языка.

В процессе перевода также используются **грамматические и лексические замены**. Например, термин «Поступающим» на исходных сайтах переводится на китайский язык как «入学条件» («Порядок поступления») и «入学» («Поступление»). При этом причастия заменяются существительными. На китайской версии сайта МГУ вкладка «莫大的排名» («рейтинги МГУ») локализована из русскоязычной версии «МГУ в рейтингах». Здесь конструкция «существительное + предложно-именное сочетание» заменена на «прилагательное + существительное», что обусловлено отсутствием предлога в китайском языке. И в данном случае акцент смещается на понятие «рейтинги». На сайте СПбГУ «Учебно-научные подразделения» переводятся как «院系设置» («Учреждение институтов и факультетов»), что является привычным обозначением на сайтах китайских вузов. В этом примере используется совершенно иное словосочетание.

При локализации китайских версий сайтов МГУ и СПбГУ наблюдается преобладание метода адаптации, при котором русские термины часто заменяются **аналогичными** китайскими. Например, «Международная деятельность» переводится как «国际活动», «Филологический факультет» – «语文系», «Научный парк» – «科技园», «Центр языкового тестирования» – «语言测试中心» и др. В редких случаях применяется **транскрипция**, то есть передача звучания русского слова китайскими иероглифами. Этот метод чаще всего используется при переводе имен собственных. Так, ректор СПбГУ Николай Михайлович Кропачев переводится как 尼古拉·克罗帕切夫, при этом отчество опускается, так как оно не свойственно китайской культуре. Ректор МГУ Виктор Антонович Садовничий переводится как 维·安·萨多夫尼奇. В этом случае использование транскрипции в переводе имен основано на стандартных правилах, при которых имя и отчество передаются с использованием первого звука.

Заключение

В результате проведенного исследования установлено, что локализация и перевод иноязычного сайта вуза является комплексным процессом, требующим тесного взаимодействия специалистов в области перевода, программирования и локализации. Анализ локализованных версий сайтов МГУ и СПбГУ на китайском языке выявил наличие у них индивидуальных стратегий и особенностей. Сайт МГУ на китайском языке отличается простотой и ясностью в передаче необходимой информации для китайской аудитории, не полностью копируя структуру главной страницы русской версии. Навигация главной страницы сайта СПбГУ на китайском близка к структуре исходной версии и соответствует типичному формату сайтов китайских вузов. В процессе перевода текстов на обоих сайтах активно используются китайские аналоги, а также приемы лексических дополнений, грамматических или лексических замен, компрессии и переоформления текстов, что позволяет

обеспечить понятность, точность перевода и соответствие специфике китайской культуры. Транскрипция русских слов на китайский язык применяется редко ввиду существенных различий между системами этих языков.

Следует подчеркнуть, что локализованная версия сайта СПбГУ на китайском языке, на наш взгляд, более адекватна китайской аудитории, а качество перевода текстов выше, чем в версии МГУ. Но, несомненно, в переводе могут присутствовать незначительные неточности или ошибки из-за недостаточной внимательности специалистов, дефицита кадров и других факторов. Возможна недоступность на китайском языке некоторых ссылок или страниц.

Таким образом, в ходе локализации и перевода китайской версии веб-сайта вуза для обеспечения эффективной адаптации к китайской целевой аудитории необходимо уделить особое внимание следующим аспектам:

1. Анализ сайтов китайских вузов. Проведение детального изучения структуры, дизайна и контента сайтов ведущих китайских университетов позволит определить актуальные тренды и ожидания целевой аудитории.

2. Сотрудничество переводчиков и программистов. Тесное взаимодействие между специалистами по переводу и разработчиками сайта обеспечит корректную интеграцию переведенного контента в систему сайта и его адаптацию к специфическим техническим требованиям.

3. Выбор квалифицированных специалистов-переводчиков. Для достижения наилучшего качества перевода необходимо привлечь переводчиков с высоким уровнем владения китайским языком и опытом работы в сфере образования.

4. Вторичная корректура экспертами-носителями языка. Проведение дополнительной проверки переведенного текста носителями китайского языка позволит устранить любые оставшиеся неточности и гарантировать его соответствие языковым и культурным нормам.

Список источников

1. Паспорт приоритетного проекта «Развитие экспортного потенциала российской системы образования» в редакции протокола от 30 мая 2017 года №6. URL: http://government.ru/news/28013/.
2. *Иноземцева А.В., Кочеева А.И., Пестунов А.И., Черникова Е.В., Шадрина Л.Ю.* Анализ иноязычных версий сайтов российских вузов как инструмента привлечения абитуриентов. Вестник НГУЭУ. – 2021. – № 3. – 37-49 с.
3. *Кочнева Ю.Е., Пастухова О.Д., Титова Е.А.* Особенности локализации русскоязычного сайта ЧелГУ. Мир науки, культуры, образования. – 2022. – № 5 (96). – 279-281 с.
4. *Тараскина Я.В., Цыремпилон А.О., Платицина Т.В.* Локализация веб-сайта университета: переводческий аспект. Филология: научные исследования. – 2020. – № 3. – 22-31 с.
5. *Захарова-Дехамния В.В.* Переводческий аспект локализации (на примере вебсайтов компаний Apple и Samsung). DIDACTICA TRANSLATORICA. – 2022. – № 1. – 30-35 с.
6. *Иксарова М.В.* Опыт локализации официальных веб-сайтов китайских компаний на примере бренда LENOVO (联想). Научный результат. Вопросы теоретической и прикладной лингвистики. – 2020. – Т. 6, № 4. – 92-105 с.
7. *Иксарова М.В.* Сравнительно-сопоставительный анализ официальных веб-сайтов китайских компаний на предмет локализации: на примере брена Хуавей (华为). Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Филологические науки. – 2021. – № 1. – 72-85 с.
8. *Ромадина И.Д.* Прагматическая адаптация контента многоязычного туристического сайта. Russian Journal of Education and Psychology. – 2015. – № 6 (50). – 152-168 с.
9. *Шамне Н.Л., Шеповский О.Е.* Лингвистический аспект глобализации веб-ресурса. Мир науки, культуры, образования. – 2024. – № 3 (106). – 519-522 с.
10. *Коптелова С.А., Руцкая Е.А.* Лингвистические аспекты локализации видеоигр. Вестник Пермского университета. Российская и зарубежная филология. – 2022. – Т. 14, № 3. – 16-25 с.
11. *Борисова И.В.* Выбор переводческих решений при локализации видеоигр. Российский социально-гуманитарный журнал. – 2024. – № 3.
12. *Тульнова М.А.* О способах локализации текстов глобальной культуры. Известия ВГПУ. – 2013. – № 1 (76). – 4-7 с.
13. *Иванова В.И., Евсина М.В.* Особенности перевода сайта музея (на материале сайта третьяковской галереи). Теория языка и межкультурная коммуникация. – 2020. – № 2 (37). – 131-140 с.
14. Официальный сайт китайской версии МГУ. URL: https://msu.ru/ch/
15. Официальный сайт китайской версии СПбГУ. URL: https://chinese.spbu.ru/

LOCALIZATION AND TRANSLATION OF THE UNIVERSITY FOREIGN LANGUAGE WEBSITE (ON THE EXAMPLE OF THE MSU AND SPBU WEBSITES OF THE CHINESE VERSION)

Wu Quanming [1]
Volgograd State University (Volgograd, Russia)
[1] wqm1022@mail.ru

Abstract

In the context of globalization and increasing demand for the export of Russian education, the localization and optimization of the multilingual sites of higher education acquired critical importance. The article is dedicated to the analysis and comparison of the localization and the translation of the official sites of the Lomonosov Moscow State University (MSU) and the St Petersburg University (SPbU). In this paper as the subject of the study are chosen the official sites of the Chinese version of MSU and SPbU, and the analysis of the navigation of the main page, the content and methods of translation of text information on these sites is carried out. The aim is to identify the characteristics of the localization and translation of these sites to the Chinese audience, to evaluate their quality and to offer optimization of localized versions in Chinese. The results of the study show that localization is a comprehensive task that includes not only the translation of text materials, but also the adaptation of the main page design to the cultural features of the target audience. It is established that the localization and translation of the Chinese versions of the MGU and SPbU websites have their own unique features and methods. The website of the MSU in Chinese is distinguished by the simplicity and clarity in the transmission of the necessary information to the Chinese audience, not completely copying the structure of the main page of the Russian version. The navigation of the main page of the SPbU site in Chinese is close to the structure of the original Russian version and corresponds to the typical format of the sites of the Chinese universities. The following methods are most commonly used: selection of Chinese analogues, lexical additions, grammar or lexical replacement, compression and refrigeration of texts. The transcription of Russian words into Chinese is used relatively rarely due to substantial differences between the two languages systems. This method is most often used when translating person names. The results and findings of the study allow us to evaluate the quality of the localization and translation of foreign-language websites of higher education institutions and make recommendations on their improvement.

Keywords

Localization, translation, website, foreign language website, adaptation, translation transformations.

УДК 378

ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА В СИСТЕМЕ НЕПРЕРЫВНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Н.В. Уварина[1], **Ю.В. Корчемкина**[2], **О.Ю. Леушканова**[3]
[1-2] Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет (Челябинск, Россия)
[3] Магнитогорский педагогический колледж (Магнитогорск, Россия)
[1] nuvarina@yandex.ru, [2] kjv_intser@mail.ru, [3] leushkan62@mail.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Внедрение технологий искусственного интеллекта в систему непрерывного образования обеспечивает возможность автоматизации ряда процессов, связанных с оценкой уровня компетентности учащихся, разработкой индивидуальных маршрутов обучения, созданием адаптивных электронных курсов и интерактивных платформ дистанционного обучения, что способствует формированию индивидуального подхода к каждому обучающемуся, позволяя учитывать особенности восприятия и способности каждого индивида.

Цель. Обосновать необходимость интегрированного применения бережливых технологий и технологий искусственного интеллекта в системе непрерывного образования.

Результаты. В работе предпринята попытка комплексного изучения возможностей и перспектив внедрения технологий искусственного интеллекта и принципов бережливого производства в систему непрерывного образования. Представлены теоретические аспекты, позволяющие интегрировать данные методы в образовательные программы и процессы, повышая качество подготовки специалистов и эффективность функционирования образовательных учреждений.

Практическая значимость. Методология бережливого производства направлена на выявление и устранение неэффективных действий, излишних расходов и потерь ресурсов. Ее принципы применимы не только в промышленном секторе, но и в сфере образования, помогая сократить избыточные затраты, уменьшить временные задержки и оптимизировать работу профессорско-преподавательского состава и администрации учебных заведений. Особого внимания заслуживает процесс влияния новой парадигмы образования на подготовку будущих профессионалов, способствуя воспитанию специалиста XXI века, готового к постоянному обучению, принятию ответственности за свое профессиональное развитие и эффективному использованию новейших информационных технологий в практической деятельности.

Ключевые слова

Система непрерывного образования, искусственный интеллект, бережливое производство, образовательный процесс, субъекты образовательной деятельности, персонализация обучения, цифровой контент

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

В настоящее время современная эпоха социализации общества обусловлена развитием технологий и глобализацией экономики, что предъявляет новые требования, к качеству профессионального образования и уровню подготовки будущих специалистов. Трансформация внешней среды и жесткая конкуренция обусловливает острую необходимость в выстраивании собственных концепций развития и направлений деятельности учебных заведений с учетом применения эффективных технологий. С учетом постоянно обновляющихся потребностей работодателей и динамично меняющегося рынка труда, концепция системы непрерывного образования приобретает особую значимость. Чтобы соответствовать данным вызовам, образовательные учреждения вынуждены применять современные технологии и прогрессивные подходы к управлению качеством обучения. Наиболее эффективными средствами решения этих задач являются технологии искусственного интеллекта и принципы бережливого производства. Одна из наиболее перспективных технологий фундаментально базируется на идее использования концепции «бережливого производства», созданной на основе «гибких» методологий, принципов целесообразного управления ресурсами, результативного использования собственного

интеллектуального потенциала [1]. Применение бережливых технологий в системе непрерывного образования предоставляет возможность выстроить структурированную модель целенаправленного вхождения субъектов образовательного процесса в пространство образовательных ресурсов, способствуя осознанию обучающимися необходимости использования технологий в целях повышения мотивации внедрения бережливых технологий в образовательный процесс.

Цель исследования – обоснование необходимости интегрированного применения бережливых технологий и технологий искусственного интеллекта в системе непрерывного образования.

Материалы и методы исследования

Для более эффективного изучения вопроса применения технологий бережного производства, рассмотрим определение данного термина. О.Ю. Леушканова, проведя в своем исследовании анализ мнений ученых, под «бережливым производством» понимает методологию, в основе которой лежит идея устранения отходов, лишних трат и оптимизации процесса производства [5]. Под технологиями бережливого производства понимают технологии, которые приводя к получению максимальной ценности (услуги) с минимальными ресурсными, финансовыми и временными затратами [4; 9]. А.М. Егорова, в своем исследовании, под понятием «бережливые технологии» понимает эффективную управленческую методику, позволяющую «создать» учителя-результата [2]. Мы соглашаемся с Т.А. Шабалиной, утверждающей, что высшие учебные заведения должны ориентироваться не только на текущие потребности и запросы страны, но, что самое сложное, работать во имя долгосрочной стратегии и новых непредсказуемых вызовов со стороны мирового сообщества. Понимая под концепцией бережливого производства перспективный подход, автор поясняет, что именно он ориентирован на перспективные потребности в условиях крайне динамичной и постоянно усложняющейся среды функционирования образовательной системы [8].

Использование инструментов бережливого производства в образовательной организации помогает: улучшить учебный процесс, оптимизировать работу; улучшить качество образования; обеспечить стандартизацию и визуализацию учебного процесса; сократить временные и финансовые потери; повысить работоспособность и сохранение человеческих ресурсов; развитию образовательной организации [6].

Идеи бережливого производства, изначально возникшие в индустрии, нашли своё отражение и в образовательной среде, став инструментом для оптимизации учебного процесса, повышения его эффективности и улучшения качества подготовки специалистов. Рассмотрим подробнее, как принципы бережливого производства могут применяться в системе непрерывного образования:

1. Ориентация на ценность обучающегося. Основная идея бережливого производства заключается в ориентации на удовлетворение нужд потребителя. Применительно к системе непрерывного образования это означает, что весь образовательный процесс должен быть направлен на достижение максимальной пользы для обучающихся. Для этого важно чётко определить, какая информация и навыки действительно необходимы обучающимся, какова реальная потребность в знаниях и опыте, какие формы подачи материала воспринимаются лучше всего;

2. Борьба с потерями (потраченными ресурсами, невостребованными знаниями). Основной проблемой традиционного образования часто становится наличие большого количества необязательной информации, перегружающей программу лишними деталями, которыми обучающиеся редко пользуются в дальнейшем. Исходя из принципа бережливого производства, задача состоит в том, чтобы избавиться от ненужных частей программы, оставить лишь самое важное и ценное;

3. Принцип постоянного совершенствования. В системе непрерывного образования важен постоянный цикл внесения мелких улучшений, которые накапливаются и приводят к

существенным качественным изменениям. Например, профессорско-преподавательский состав регулярно получает обратную связь от обучающихся и вносит изменения в учебную программу, добавляют новые модули, меняют форму подачи материала, внедряют новые методики преподавания;

4. Стандартизация учебного процесса. Необходимость в стандартах возникает, когда нужно добиться согласованности и последовательности преподавания на протяжении всей образовательной системы. К примеру, определённые стандарты помогают избежать ситуаций, когда одни и те же предметы преподаются разными способами, затрудняя восприятие обучающимися материала;

5. Укрепление командного духа и уважение к участникам процесса. Учёба — это коллективный труд профессорско-преподавательского состава и обучающихся, направленный на получение качественного результата. Важным элементом бережливого производства является взаимодействие и сотрудничество всех членов команды. Преподаватели, администраторы и сами обучающиеся выступают единой командой, нацеленной на единый результат – качественное образование;

6. Гибкость и стремление к равновесию загрузки. В бережливом подходе важная роль отводится достижению баланса между нагрузкой и возможностями сотрудников. Чрезмерная нагрузка вызывает стресс и усталость, ухудшает качество преподавания и усвоения материала обучающимися. Напротив, балансируя нагрузку и распределяя её равномерно, можно значительно повысить эффективность занятий и заинтересованность слушателей.

Таким образом, применяя теорию бережливого производства в системе непрерывного образования, мы получаем мощный инструмент для повышения качества и эффективности подготовки специалистов. Устраняя потери, улучшая организацию пространства и используя принципы регулярного совершенствования, удаётся подготовить выпускников, соответствующих современным требованиям рынка труда, с глубокими профессиональными знаниями и необходимыми навыками. Интеграция принципов бережливого производства становится важным фактором успешного функционирования системы непрерывного образования в современных реалиях.

Рассмотрим процесс использования технологий искусственного интеллекта в образовательном процессе. В настоящее время, одним из актуальных вопросов сферы образования выступает эффективность, масштабируемость и дешевизна систем дистанционного и смешанного образования. Важным аспектом подобных моделей является внедрение в учебный процесс больших информационных моделей, упрощенно называемых «искусственным интеллектом» [7; 10; 11]. О.П. Ильина в своем исследовании под термином «искусственный интеллект» понимает комплекс технологических решений, позволяющий имитировать когнитивные функции человека (включая поиск решений без заранее заданного алгоритма) и получать при выполнении конкретных задач результаты, сопоставимые с результатами интеллектуальной деятельности человека или превосходящие их [3].

Искусственный интеллект основан на следующих фундаментальных элементах:

1. Обработка и анализ данных. Способность собирать, обрабатывать и интерпретировать огромные массивы данных, выделяя закономерности и создавая полезные прогнозы.

2. Логика и рассуждение. Возможность решать сложные логические задачи, выводить умозаключения, строить планы и выбирать оптимальное решение.

3. Способность воспринимать окружающую действительность. Включает распознавание речи, изображений, жестов и иных сигналов окружающей среды.

4. Реакция на внешние стимулы. Система должна адекватно отвечать на изменения окружающей среды, будь то климатические условия, предпочтения пользователей или технические сбои.

Эти составляющие определяют уникальность и полезность искусственного интеллекта в решении широкого спектра задач, включая сферу непрерывного образования.

В контексте образовательной деятельности рассматриваемые нами феномены приобретают особое значение, поскольку именно система непрерывного образования играет ключевую роль в подготовке квалифицированных кадров, способствующих развитию конкурентоспособности государства на международной арене. Непрерывность образовательного процесса позволяет своевременно реагировать на изменения профессиональных требований, поддерживать высокий уровень квалификации специалистов и обеспечивать адаптацию работников к новым условиям труда.

Искусственный интеллект представляет собой совокупность методов и алгоритмов, позволяющих создавать интеллектуальные системы, способные решать сложные задачи путем анализа больших объемов данных, распознавания образов, обработки естественного языка и других функций. Применение технологий искусственного интеллекта в образовании способствует созданию персонализированных учебных траекторий, автоматизации оценки знаний, поддержки обучающихся в процессе усвоения материала и даже виртуальному сопровождению учебного процесса.

Параллельно с этим концепция бережливого производства ориентирована на минимизацию потерь, рациональное использование ресурсов и постоянное улучшение всех бизнес-процессов предприятия.

Тенденция совместного применения технологий искусственного интеллекта и концепции бережливого производства обеспечивает формирование нового подхода к обучению и развитию человеческих ресурсов. Интегративный подход подразумевает объединение различных методов и технологий для достижения общей цели. В представленной работе речь идет о сочетании технологий искусственного интеллекта и принципов бережливого производства в образовательной среде. Суть данного подхода заключается в создании целостной экосистемы, объединяющей технологии и методы, усиливающие друг друга и повышающие эффективность обучения. Традиционная образовательная система испытывает серьезные сложности в связи с резким увеличением объема информации, высокими темпами появления новых технологий и постоянным изменением профессиональных требований. Старомодные способы передачи знаний оказываются недостаточно эффективными и теряют свою привлекательность для молодых поколений, привыкших получать нужную информацию мгновенно и качественно.

Здесь приходит на помощь искусственный интеллект, предлагающий новые инструменты для аналитики данных, автоматизации процессов, индивидуальной настройки учебного процесса и мониторинга успеваемости. Но одна технология сама по себе не способна решить все возникающие проблемы. Она нуждается в гармоничном дополнении методами бережливого производства, такими как идентификация и устранение потерь, постоянная оптимизация и улучшение процессов, обеспечение дисциплины и соблюдения стандартов. Совместное использование этих двух подходов создает уникальную возможность кардинально преобразовать образовательный процесс, сделав его более эффективным, удобным и доступным.

Обсуждение полученных результатов

Рассмотрим основные преимущества интегративного подхода:

1. Индивидуализация обучения. Технология искусственного интеллекта позволяет построить индивидуальные маршруты обучения, исходя из способностей, предпочтений и потребностей конкретного обучающегося. Используя алгоритмы машинного обучения, можно автоматически подбирать подходящий контент, устанавливать оптимальный темп освоения материала и давать персональные советы по коррекции учебы.

При этом берётся во внимание не только объективные показатели успеваемости, но и субъективные факторы, такие как эмоциональное состояние, мотивация и интерес к изучаемой

дисциплине. Всё это возможно реализовать с использованием методов бережливого производства, организующих учебный процесс в формате коротких итераций с минимальной задержкой и максимумом персональной отдачи.

2. Увеличение доступности и мобильности. Благодаря искусственному интеллекту создаются цифровые платформы, доступные в любое время и из любой точки планеты. Обучающиеся могут учиться в удобном для себя ритме, а преподаватель получает мгновенный доступ к прогрессу каждого индивида независимо от физического расстояния.

Методы бережливого производства помогают снизить накладные расходы на инфраструктуру, распределять рабочую нагрузку равномерно и избегать длительных периодов простоя или перезагрузки преподавателей и технической аппаратуры.

3. Экономичность и устойчивость. Одна из целей бережливого производства – уменьшение финансовых и временных затрат. Искусственный интеллект позволяет снижать расходы на персонал путём автоматизации административных задач, сокращения бумажной документации и увеличения точности расчетов.

Заключение

Объединение технологий искусственного интеллекта и бережливых подходов в системе непрерывного образования демонстрирует огромный потенциал для кардинального улучшения качества обучения, повышения привлекательности вузов и центров дополнительного образования, уменьшения административных издержек и повышения конкурентоспособности выпускников на рынке труда.

Однако стоит отметить, что переход к новому интегративному подходу требует значительных усилий и координации на уровне высшего руководства университетов и правительственных ведомств. Следует наладить тесное взаимодействие между представителями образовательных учреждений и организациями, специализирующимися на бережливом производстве, чтобы выработать единую стратегию перехода и постепенно внедрить необходимые изменения.

Таким образом, будущее системы непрерывного образования тесно связано с новыми технологиями и методиками, способствующими лучшему пониманию, осмыслению и усвоению знаний.

Список источников

1. *Гайворонская, С.А.* Практика внедрения бережливых технологий в систему управления вузом: проектный подход // Университетское управление: практика и анализ. 2019. Т. 23, № 4. С. 104-115.
2. *Егорова, А.М.* Проблема необходимости внедрения технологий бережного производства в организацию учебно-воспитательного процесса в современных условиях // Бережливые технологии и безопасность жизнедеятельности: стратегии и практика : материалы Всероссийской научно-практической конференции, Новокубанск, 27 марта 2024 года. Армавир: ИП Шурыгин Виталий Евгеньевич, 2024. С. 20-23.
3. *Ильина, О.П.* Искусственный интеллект как компонент системы образования // Трансформация экономики евразийских стран в условиях неопределенности: Сборник научных статей. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 2024. С. 130-135.
2. *Исакова, А.В.* Актуальность применения технологий бережливого производства в деятельности организаций дополнительного образования // Бережливое производство как инструмент развития кооперационных связей в предпринимательстве: Материалы международной научно-практической конференции, Липецк, 18 декабря 2020 года. Воронеж: Автономная некоммерческая организация по оказанию издательских и полиграфических услуг "НАУКА-ЮНИПРЕСС", 2020.С. 35-38.
3. *Леушканова, О.Ю.* Теория и практика реализации бережливых технологий в системе среднего профессионального образования // Современная высшая школа: инновационный аспект. 2024. Т. 16, № 1(63). С. 28-43.
4. *Мадикова, Е.Д.* Бережливые технологии в профессиональном образовании:5S - пять шагов к идеальному рабочему месту // Результативность процесса непрерывной профессионализации в полифункциональной образовательной модели педагогического колледжа: сборник материалов по результатам работы региональной инновационной площадки. Челябинск: Государственное бюджетное учреждение дополнительного профессионального образования "Челябинский институт развития профессионального образования", 2024. С. 63-65.
5. *Терещенко, А.Ю, Морозов, А.В.* Влияние технологий искусственного интеллекта на современное образование // Человеческий капитал. 2024. № 4(184). С. 104-110.

6. *Шабалина, Т.А.* Технологии бережливого производства в системе высшего образования России // Социально-экономическое развитие России: проблемы и перспективы : Сборник по материалам Всероссийской научно-практической конференции, Елец, 28 ноября 2024 года. Елец: Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, 2024. С. 113-119.
7. *Шибанов, К.С.* Обзор технологии бережливого производства // Интеграция наук. 2019. № 1(24). С. 222-223.
8. *Яковлева, Е.А., Киргизбаев, С.П., Киргизбаев, В.П*, Современный мир во власти искусственного интеллекта: сможет ли искусственный интеллект «взломать» человеческую цивилизацию? // Культура. Наука. Образование. 2024. № 2(71). С. 86-95.
9. Samusenko, A.V., Shirshova, V.O. Artificial intelligence in education // Молодежь. Общество. Современная наука, техника и инновации. 2023. No. 22. P. 60-61.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND LEAN MANUFACTURING TECHNOLOGIES IN THE CONTINUOUS EDUCATION SYSTEM

N.V. Uvarina[1], Yu.V. Korchemkina[2], O.Yu. Leushkanova[3]
[1-2] South Ural State Humanitarian Pedagogical University (Chelyabinsk, Russia)
[3] Magnitogorsk Pedagogical College (Magnitogorsk, Russia)
[1] nuvarina@yandex.ru, [2] kjv_intser@mail.ru, [3] leushkan62@mail.ru

Abstract

Statement of the problem. The introduction of artificial intelligence technologies into the continuous education system provides the opportunity to automate a number of processes related to assessing the level of students' competence, developing individual learning routes, creating adaptive e-courses and interactive distance learning platforms, which contributes to the formation of an individual approach to each student, allowing us to take into account the peculiarities of perception and abilities of each individual.

Objective. To justify the need for the integrated use of lean technologies and artificial intelligence technologies in the continuous education system.

Results. The paper attempts to comprehensively study the possibilities and prospects for introducing artificial intelligence technologies and lean manufacturing principles into the continuous education system. Theoretical aspects are presented that allow integrating these methods into educational programs and processes, improving the quality of training specialists and the efficiency of educational institutions.

Practical significance. The lean manufacturing methodology is aimed at identifying and eliminating ineffective actions, unnecessary costs and resource losses. Its principles are applicable not only in the industrial sector, but also in the field of education, helping to reduce excess costs, reduce time delays and optimize the work of the teaching staff and administration of educational institutions. Particular attention should be paid to the process of influence of the new educational paradigm on the training of future professionals, contributing to the education of a specialist of the 21st century, ready for continuous learning, taking responsibility for their professional development and the effective use of the latest information technologies in practical activities.

Keywords

Continuous education system, artificial intelligence, lean manufacturing, educational process, subjects of educational activity, personalization of learning, digital content

УДК 1174

МАРШРУТИЗАЦИЯ ПЕДАГОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРИ ОБУЧЕНИИ ЯЗЫКУ ДОКУМЕНТАЦИИ ИНОСТРАННЫХ СТУДЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ВУЗА

Э.Ф. Ульянова[1]
[1]МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] ulyanova@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Ежегодное увеличение количества иностранных обучающихся в вузах делает невозможным игнорирование их индивидуальных потребностей и стимулирует преподавателей к поиску новых форм работы на занятиях с целью адаптации обучающего материала. Одним из эффективных способов такой адаптации является маршрутизация педагогического процесса, или создание индивидуальных образовательных маршрутов.

Цель. Оценить эффективность маршрутизации педагогического процесса при организации работы в группе иностранных студентов, изучающих специфику русского языка документации.

Результаты. Установлена эффективность применения индивидуальных образовательных маршрутов для иностранных студентов при обучении их основам языка документации. Дано обоснование использованию дифференцированного подхода к обучению иностранных обучающихся разноуровневой группы. Определены основные андрагогические принципы, лежащие в основе маршрутизации педагогического процесса.

Практическая значимость. Полученные результаты могут быть использованы при составлении индивидуальных маршрутов для иностранных студентов технологического вуза.

Ключевые слова

Маршрутизация педагогического процесса, индивидуальный образовательный маршрут, русский язык как иностранный, обучение языку документации.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

В связи с растущей потребностью общества в высококвалифицированных кадрах, не только обладающих определенными знаниями и умениям, но и способных адаптироваться к изменяющейся профессиональной среде, все более популярным становится маршрутизация педагогического процесса, заключающаяся в создании индивидуальных образовательных маршрутов, учитывающих частные потребности и запросы обучающихся на определенный образовательный контент. Одним из направлений индивидуализированного обучения является обучение иностранных студентов, развитие адаптивности которых сопряжено с дополнительными трудностями, вызванными языковым барьером. Ежегодное увеличение количества иностранных обучающихся в вузах делает невозможным игнорирование их индивидуальных потребностей и стимулирует преподавателей к поиску новых форм работы на занятиях с целью адаптации обучающего материала. При этом точечная адаптация (объяснение отдельных тем, терминов, фрагментов образовательного материала более простым языком), как правило, не приносит положительных результатов ввиду своей фрагментарности и бессистемности, что актуализирует потребность вузов в создании системно организованных индивидуальных образовательных маршрутов для иностранных студентов.

Ц е л ь р а б о т ы – оценить эффективность маршрутизации педагогического процесса при организации работы в группе иностранных студентов, изучающих специфику русского языка документации.

Методы решения

Понятие индивидуального образовательного маршрута в научной литературе имеет различные трактовки. В исследовательских трудах С. В. Воробьевой, В. Г. Рындака, А. П.

Тряпицына, М. Б. Утепова и др. индивидуальный образовательный маршрут определяется как целенаправленно разработанная дифференцированная образовательная программа. А. П. Тряпицына подчёркивает, что индивидуальная образовательная программа, представляющая собой инструмент реализации социального запроса, должна отражать интересы и потребности обучающегося, исходя его возраста и способностей [1].

А. В. Хуторской трактует индивидуальную образовательную траекторию как уникальный путь реализации личностного потенциала каждого обучающегося, как средство саморазвития и самосовершенствования [2].

По мнению М.А. Кунаш, создание индивидуального образовательного маршрута заключается в разработке педагогами и обучающимися интегрированной модели индивидуального образовательного пространства, основной целью которого является активизация, самораскрытие и саморазвитие личностных возможностей [3].

С позиции Т. М. Ковалёвой, индивидуальная траектория представляет собой путь образовательного развития обучающегося, основанный на его опыте и достижениях. При таком подходе педагогу отводится роль тьютора, осуществляющего сопровождение и прогнозирование дальнейшего развития студента [4].

О.В. Запятая и В.Б. Лебединцев основным условием эффективности индивидуального образовательного маршрута считают включенность каждого обучающегося в управление образовательным процессом [5].

Обобщая вышеперечисленные взгляды на специфику индивидуальных образовательных маршрутов, можно сделать вывод о том, что при создании таких маршрутов важную роль играет не только личность педагога, его творческий потенциал и способность создать многоаспектную вариативную систему освоения программы той или иной дисциплины, но и достаточная степень сформированности и зрелости личности самого обучающегося, способного распознать свои интересы и потребности, приложить имеющийся опыт и достижения к новым образовательным задачам. В связи с этим уместно говорить о применении основных принципов обучения взрослых, или принципов андрагогики [6], [7], при маршрутизации педагогического процесса, а именно:

1. Индивидуализация обучения. Использование индивидуальных образовательных маршрутов позволяет обучающимся развиваться в рамках приемлемой для них траектории.

2. Опора на самостоятельность в обучении. При индивидуализированном обучении ответственность за результат образовательного процесса ложится не только на педагога, но и на студента, который, осознавая собственные потребности, может регулировать содержание программы и скорость ее освоения. При групповой работе самостоятельность в освоении индивидуального образовательного маршрута становится ключевым фактором успешности обучения, поскольку один педагог физически не способен контролировать все этапы освоения индивидуальной программы каждым студентом в отдельности.

3. Ориентация на личный опыт студента как основной источник самообучения. Данный принцип предполагает наличие у обучающихся навыков рефлексии и экстраполяции (прогнозирования), позволяющих адекватно категоризировать изучаемые явления и процессы и найти им применение в профессиональной жизни.

4. Контекстное обучение. Обучение производится с опорой на профессиональный контекст студентов, который определяет их потребности и интересы.

5. Системность обучения. Разработанный образовательный маршрут должен быть системно организован и подчинен понятной для студента логике.

6. Осознанность обучения, исходящая из потребностей обучаемого и его понимания причинно-следственных связей между выполняемыми заданиями и желаемыми результатами.

7. Принцип развития образовательных потребностей. Применение индивидуального образовательного маршрута обеспечивает поэтапное движение к образовательной цели по принципу «от простого к сложному». При этом образовательная цель не должна быть

конечной точкой развития обучающихся, а открывать дальнейшие перспективы профессионального роста.

Результаты и обсуждение полученных результатов

В данной статье мы рассмотрим опыт создания образовательного маршрута для иностранных студентов, изучающих дисциплину «Документная лингвистика».

В исследовании принимала участие монолингвальная группа иностранных студентов 1 курса «МИРЭА – Российский технологический университет» направления «Документоведение и архивоведение».

Разработка индивидуального маршрута включала несколько этапов:

1. Подготовительный – этап разработки плана проведения исследования и оценочных материалов;

2. Оценочный – этап проведения тестирования на определение степени развитости у студентов речевых навыков в области русского языка в целом и в области языка документов в частности;

3. Оперативный – этап разработки и реализации образовательных маршрутов;

4. Рефлексивно-корректировочный – этап оценки полученных результатов, определение сильных и слабых сторон образовательных маршрутов, корректировка содержания и стратегии обучения.

5. При оценке входных данных было выявлено следующее:

6. Состав группы отличался разнородностью как с социальной точки зрения (возраст от 18 до 34 лет, разный статус, разный опыт профессиональной деятельности), так и с точки зрения уровня языка;

7. В группе из 28 человек только 4 студента имели развитые речевые навыки устного общения, из них 2 студента владели навыком письменной речи. Речь остальных членов группы была фрагментарной и несвязной;

8. 80,3 % группы не имело представления о грамматической системе русского языка, используя формы слов интуитивно;

9. Никто из студентов не имел представления о стилистических различиях русского языка, в частности, об особенностях официально-делового стиля.

В соответствии с представленными входными данными были разработаны индивидуальные образовательные маршруты по краткосрочному изучению русского языка как иностранного и языка русской документации, рассчитанному на 48 академических часов. Разработанные маршруты включали дифференцированное изучение падежной системы существительных, прилагательных и местоимений, системы русского глагола (время, вид, специфика глаголов движения), принципов организации русского предложения, а также разницы между грамматикой и лексикой разговорной и официально-деловой речи. Дифференцированность разработанных маршрутов заключалась в адаптации материала с учетом разноуровневого и разновозрастного характера группы. Ввиду ограниченного количества часов, выделенных на обучение, большая роль отводилась самостоятельной работе студентов, выполнению дифференцированного домашнего задания и применения полученных знаний в реальной жизни.

В результате проведенного обучения мы получили следующие данные:

1. 52% группы показало прогресс в овладении падежной системой русского языка и системой русского глагола. Студенты делали в среднем на 15 % меньше ошибок при выборе падежного окончания и формы глагола, при указании на ошибку студенты распознавали причину ее возникновения. Остальные 48% студентов посещали занятия нерегулярно, вследствие чего не освоили программу или освоили ее фрагментарно.

2. Студенты, чьи речевые навыки были развиты сильнее, чем у остальных членов группы, получили представление об особенностях официально-делового стиля, изучили специфику падежного управления при использовании производных предлогов в языке

документов, ознакомились с наиболее частотными клише официально-делового стиля, научились трансформировать глаголы в отглагольные существительные и составлять из них «цепочки родительного падежа» (несколько существительных родительного падежа, расположенных друг за другом) и наметили дальнейшую траекторию развития в этой области.

3. Студенты с низким уровнем языка были сосредоточены на овладении основами грамматики и лексики базового русского языка и успели ознакомиться со стилевой вариативностью русского языка только в теории.

Заключение

Таким образом, маршрутизация педагогического процесса, или создание индивидуальных образовательных маршрутов, является необходимым условием эффективного обучения в случае, когда индивидуальные потребности членов учебной группы существенно разнятся ввиду их принадлежности к разным социальным группам, наличия разного социального статуса, разного уровня компетентности в изучаемой области.

При применении индивидуальных образовательных маршрутов, в основе которых лежит дифференцированный подход к процессу обучения, к формам и методам работы на занятиях, к подбору материала для самостоятельной работы и пр., результаты у студентов также будут дифференцированными.

Результативность применения индивидуальных образовательных маршрутов зависит от степени вовлеченности студентов в процесс обучения, от их способности к самоорганизации и самостоятельному развитию в рамках предложенного маршрута.

Список источников

1. *Тряпицина А. П.* Образовательная программа - маршрут ученика / Под ред. А. П. Тряпицыной. СПб.: ЮИПК, 1998. – 228 с.
2. *Хуторской А. В.* Методика личностно-ориентированного обучения. Как обучать всех по-разному? Пособие для учителя / А. В. Хуторской. М.: Изд-во ВЛАДОС-ПРЕСС, 2005. – 383 с.
3. *Кунаш М. А.* Педагогические условия реализации индивидуальных образовательных маршрутов старших подростков // Академический вестник Института образования взрослых российской академии образования. Человек и образование. – 2011. – № 3 (28). – С. 109-113.
4. *Ковалёва Т. М.* Профессия «тьютор». Тверь: «СФК - офис», 2012. – 246 с.
5. *Лебединцев В.Б., Запятая О.В.* Индивидуальные образовательные программы школьников // Народное образование. – 2010. – № 6. – С. 189-197
6. *Змеев С.И.* Андрагогика: основы теории и технологии обучения взрослых [Текст] : монография / С. И. Змеев. – Москва: Per Se, 2003. – 207 с.
7. *Громкова М.Т.* Андрагогика: теория и практика образования взрослых: Учеб. пособие для системы доп. проф. образования; учеб. пособие для студентов вузов / М.Т. Громкова. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2012. – 495 с.
8. *Ушева Т.Ф., Молокова О.А*. Психолого-педагогические особенности студентов как основа создания индивидуальных образовательных программ // Высшее образование сегодня. – 2013. – №2. – С.51-54.
9. *Лучникова Е.В*. Современное состояние изучения индивидуальных образовательных маршрутов // Гуманитарные исследования. Педагогика и психология. – 2020. – №2. – С. 46-52.
10. *Фролова С. В.* Технология создания индивидуального образовательного маршрута внеучебной деятельности студентов // Нижегородское образование. – 2013. – №4. – С. 79-85.

ROUTING OF THE PEDAGOGICAL PROCESS IN TEACHING THE LANGUAGE OF DOCUMENTATION TO FOREIGN STUDENTS OF A TECHNOLOGICAL UNIVERSITY

E.F. Ulyanova[1]
[1]MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] ulyanova@mirea.ru

Abstract

The article considers the problem of routing the pedagogical process in the context of teaching foreign students, caused by the need to individualize educational strategies in the conditions of multi-level and multi-age study groups. The annual increase in the number of foreign students in universities makes it impossible to ignore their individual needs and encourages teachers to search for new forms of work in the classroom in order to adapt the teaching material. One of the effective ways of such adaptation is the routing of the pedagogical process, or the creation of individual educational routes. The purpose of the study is to evaluate the effectiveness of the routing of the pedagogical process when organizing work in a group of foreign students studying the specifics of the Russian language of documentation. As a result, the effectiveness of using individual educational routes for foreign students in teaching them the basics of the language of documentation was established. A rationale for using a differentiated approach to teaching foreign students of a multi-level group is given. The main andragogical principles underlying the routing of the pedagogical process are determined. The results obtained can be used to create individual routes for foreign students of a technological university.

Keywords

Routing of the pedagogical process, individual educational route, Russian as a foreign language, teaching the language of documentation

УДК 378.147:004.9:62

ЧТО ТАКОЕ ЦИФРОВАЯ ГРАМОТНОСТЬ И ЗАЧЕМ ОНА ИНЖЕНЕРАМ

А.С. Фролов[1], М.Д. Марушева[2]
Научный руководитель – А. Н. Шовгенин[3]
МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] frolov.a.s2@edu.mirea.ru, [2] marusheva.m.d@edu.mirea.ru, [3] shovgenin@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Современные инженерные специальности стремительно трансформируются под влиянием цифровизации, которая охватывает все этапы проектирования, производства и эксплуатации технических систем. Однако многие инженеры сталкиваются с трудностями при работе с цифровыми инструментами, анализом данных, программным обеспечением и цифровыми платформами. Это обусловлено недостаточным уровнем цифровой грамотности, которая становится критически важной компетенцией для эффективной профессиональной деятельности. Отсутствие системной подготовки в области цифровой грамотности снижает конкурентоспособность специалистов и затрудняет внедрение инноваций.

Цель. Целью статьи является определение сущности понятия «цифровая грамотность» применительно к инженерной деятельности, а также обоснование необходимости развития цифровых компетенций у инженеров в условиях цифровой трансформации промышленности и образования.

Результаты. Проведен анализ понятий цифровой грамотности в инженерной профессии, выделены ключевые компоненты, такие как технические навыки, информационная грамотность, коммуникативные способности, обучаемость и цифровые компетенции. Определена роль развития этих компетенций в повышении качества проектирования и производственных процессов, а также в обеспечении инновационного потенциала и конкурентоспособности инженеров в условиях цифровой трансформации.

Практическая значимость. Результаты исследования могут быть использованы для совершенствования образовательных программ и профессиональной подготовки инженеров в условиях цифровой трансформации.

Ключевые слова

Цифровая грамотность, инженерная профессия, технические навыки, информационная грамотность, коммуникативные способности, обучаемость, цифровые компетенции, цифровая трансформация, CAD/CAE, цифровые двойники, большие данные, искусственный интеллект, кибербезопасность, профессиональная подготовка.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

В условиях стремительного развития цифровых технологий и их интеграции в инженерную практику формируется необходимость развития цифровой грамотности как ключевой профессиональной компетенции инженеров. Под этим понимается совокупность знаний, умений и навыков, необходимых для эффективного использования цифровых ресурсов, программного обеспечения и информационных систем, что служит фундаментом для успешной адаптации к современным технологическим вызовам и повышения качества инженерной деятельности.

Тем не менее, несмотря на высокий уровень профессиональной подготовки в области математики, физики и прикладных дисциплин, многие инженеры сталкиваются с недостаточным уровнем цифровых навыков. Это ограничивает их возможности эффективно использовать современные цифровые технологии в профессиональной деятельности. Отставание в развитии цифровых компетенций может привести к снижению производительности, ошибкам при проектировании и управлении, а также затруднить адаптацию к новым требованиям цифровой экономики. Всё это подчёркивает необходимость системного подхода к развитию цифровой грамотности в инженерной среде [1].

Актуальность данного исследования определяется быстрым развитием цифровой трансформации в промышленности и усложнением инженерных задач, что требует от специалистов повышенного уровня владения современными информационными

технологиями. В условиях реализации концепций Индустрии 4.0, широкого внедрения цифровых двойников, а также применения больших данных и искусственного интеллекта инженеры сталкиваются с новыми вызовами и возможностями, которые требуют высокой цифровой компетентности. Поэтому изучение сущности цифровой грамотности и её значимости для инженерной профессии становится одним из приоритетных направлений как научных, так и прикладных исследований [2].

Данная работа основана на анализе современных научных публикаций и профильной литературы, посвящённых развитию цифровых компетенций в инженерном образовании и профессиональной практике. В частности, рассмотрены исследования, анализирующие влияние цифровой грамотности на качество инженерного проектирования, образовательные программы и требования рынка труда. Такой подход позволяет выявить ключевые компоненты цифровой грамотности и обосновать её значимость для повышения конкурентоспособности инженеров в условиях цифровой экономики [3].

Теоретические основы цифровой грамотности

В последние десятилетия цифровизация оказала глубокое влияние на все сферы человеческой деятельности, и инженерия не стала исключением. Современные инженеры сталкиваются с необходимостью освоения множества новых технологий, таких как искусственный интеллект, большие данные, цифровые двойники и системы автоматизированного проектирования. Эти инструменты значительно меняют способы проектирования, моделирования и управления инженерными системами. Цифровая грамотность, включающая знания и навыки работы с цифровыми технологиями, становится ключевой составляющей успешной профессиональной деятельности инженеров. Это не просто овладение техническими инструментами, но и умение эффективно работать с информацией, адаптироваться к изменениям и обеспечивать безопасность в цифровой среде [1].

Цифровая грамотность для инженеров — это не просто овладение современными цифровыми инструментами, но и способность использовать их для решения сложных инженерных задач, улучшения процессов проектирования, производства и эксплуатации. Это включает в себя способность работать с различными цифровыми ресурсами, такими как системы автоматизированного проектирования (CAD/CAE), платформы для моделирования и симуляций, а также аналитические инструменты, которые используют большие данные для оптимизации производственных процессов и повышения эффективности [4].

С развитием информационных технологий цифровая грамотность инженеров выходит за пределы базовых технических навыков. Это необходимость освоения новых методов работы, таких как использование больших данных для прогнозирования и автоматизации процессов. Цифровая грамотность становится критически важной для того, чтобы инженеры могли быстро адаптироваться к инновациям и эффективно применять эти нововведения в своей [1].

Отметим, что из понятия цифровая грамотность вытекает термин информационная грамотность, которая подразумевает умение эффективно искать, оценивать и использовать информацию из различных цифровых источников. В инженерной практике это означает способность анализировать большие объемы данных, используя методы аналитики и машинного обучения, а также правильно интерпретировать результаты, полученные с помощью цифровых технологий [3].

Коммуникативные навыки в цифровой среде также становятся неотъемлемой частью цифровой грамотности. В современном инженерном мире всё чаще возникают распределённые команды, работающие через цифровые каналы. Инженеры должны уметь эффективно использовать электронную почту, мессенджеры, видеоконференции и другие платформы для общения с коллегами, заказчиками и партнерами. Эти навыки становятся важными не только для взаимодействия в междисциплинарных командах, но и для обеспечения успешной координации работы над крупными проектами, которые требуют слаженных усилий множества специалистов [5].

Поскольку технологии стремительно меняются, одними из важнейших пунктов являются адаптивность и обучаемость. Цифровая грамотность должна быть динамичной и развиваться вместе с новыми технологическими достижениями. Например, технологии, такие как цифровые двойники, требуют от инженеров не только понимания их принципов работы, но и способности внедрять их в реальный производственный процесс. Инженеры должны быть готовы к постоянному обновлению своих знаний, что требует от них высокой степени обучаемости и гибкости [2].

Цифровая грамотность в инженерной практике

Одним из ярких примеров применения цифровых технологий в инженерной практике является внедрение цифровых двойников. Эти виртуальные копии физических объектов и процессов позволяют моделировать, контролировать и оптимизировать реальные инженерные системы в реальном времени. Например, в нефтегазовой промышленности использование цифровых двойников помогает снижать затраты на эксплуатацию и обслуживание оборудования, предсказывать возможные поломки и улучшать процессы добычи. Таким образом, инженеры могут работать с высокоточными моделями, что значительно повышает точность расчетов и способствует экономии ресурсов [6].

Активное использование искусственного интеллекта и машинного обучения в инженерных системах открывает новые возможности для оптимизации производства и предсказания потенциальных проблем. Внедрение таких технологий помогает не только в сфере проектирования, но и в процессе эксплуатации инженерных объектов. Применение ИИ для анализа данных с производственных линий позволяет оперативно выявлять проблемы и устранять их до того, как они приведут к серьезным сбоям в работе оборудования. Важно отметить, что для успешной реализации таких проектов необходимо наличие специалистов, обладающих высокими цифровыми компетенциями и способных интегрировать эти новые технологии в производственные процессы [7].

Не меньшую роль в инженерной практике играет интеграция больших данных. В промышленности, где ежедневно обрабатывается огромное количество информации, способность инженеров работать с большими данными становится важнейшей частью их цифровой грамотности. Это касается как данных, получаемых в процессе работы оборудования, так и информации, связанной с процессами производства, логистики и управления. Умение анализировать и интерпретировать эти данные позволяет значительно улучшить производственные процессы, сократить время на принятие решений и повысить их точность. Примером может служить использование аналитических систем в автомобильной промышленности, где данные о состоянии комплектующих собираются в реальном времени и используются для планирования обслуживания и ремонта [8].

В условиях цифровизации безопасности данных и защищенности инфраструктуры уделяется особое внимание. Внедрение новых технологий требует от инженеров знаний о защите информации, соблюдении стандартов безопасности и предотвращении киберугроз. Разработка и внедрение новых ГОСТов, таких как ГОСТ Р ИСО/МЭК 17024-2017, регулирующий требования к сертификации специалистов в области цифровых технологий и информационной безопасности, играют важную роль в обеспечении безопасности и защиты данных на всех уровнях инженерной деятельности [9].

С развитием технологий появляются новые стандарты и нормативные акты, регулирующие использование цифровых технологий в инженерной практике. Например, серия стандартов ISO 19650 (ИСО 19650), разработанная Международной организацией по стандартизации (International Organization for Standardization — ISO), используется в проектах по цифровизации управления у корпоративных клиентов для повышения эффективности их деятельности, связанной с созданием или использованием своих активов в виде зданий, сооружений, дорог и территорий. Это является примером того, как стандарты не только

регулируют существующие практики, но и способствуют развитию новых технологий в области инженерного проектирования и строительства [10].

Заключение

Проведённое исследование подтвердило, что цифровая грамотность является необходимой и неотъемлемой составляющей профессиональной компетенции инженеров в современных условиях. Она включает в себя не только владение техническими навыками, но и умение критически оценивать информацию, эффективно коммуницировать и адаптироваться к постоянно меняющимся цифровым технологиям. Анализ научной литературы показывает, что цифровая грамотность представляет собой комплекс взаимосвязанных компонентов, объединяющих технические знания, информационную грамотность, коммуникативные способности и обучаемость, что позволяет инженерам успешно справляться с задачами цифровой трансформации.

Учитывая быстрое развитие технологий и растущие требования к инженерной профессии, дальнейшее внедрение цифровой грамотности в образовательные программы и профессиональную практику становится необходимым условием подготовки квалифицированных инженерных кадров. Такие специалисты смогут эффективно работать в условиях цифровой трансформации промышленности и экономики, что в свою очередь обеспечит устойчивое развитие отраслей и повысит качество технических решений в современном технологическом мире.

Таким образом, проведённое исследование подчёркивает необходимость системного и непрерывного развития цифровой грамотности как ключевого фактора успешного профессионального роста инженеров и эффективного функционирования предприятий в эпоху цифровой экономики.

Список источников

1. Компетенции инженера изменились в 2025 году: какие навыки стали ключевыми / [Электронный ресурс] // Spark : [сайт]. — URL: https://spark.ru/user/214198/blog/257990/kompetentsii-inzhenera-izmenilis-v-2025-godu-kakie-naviki-stali-klyuchevimi.
2. *Жан-Мари Жильо , Серж Гарлатти , Гвендал Симон* Влияние цифровой грамотности на учебную программу по инженерии / Жан-Мари Жильо , Серж Гарлатти , Гвендал Симон [Электронный ресурс] // CDIO : [сайт]. — URL: https://cdio.org/knowledge-library/documents/impact-digital-literacy-engineering-curriculum
3. *Patricia Caratozzolo, Alvaro Alvarez-Delgado, Gabriela Sirkis* Fostering Digital Literacy through Active Learning in Engineering Education / Patricia Caratozzolo, Alvaro Alvarez-Delgado, Gabriela Sirkis [Электронный ресурс] // IEEE Computer Society : [сайт]. — URL: https://www.computer.org/csdl/proceedings-article/fie/2021/09637304/1zuwcSqdUYw
4. *Jean-Marie Gilliot, Serge Garlatti, Gwendal* Simon Impact of digital literacy on the engineer curriculum / Jean-Marie Gilliot, Serge Garlatti, Gwendal Simon [Электронный ресурс] // ResearchGate : [сайт]. — URL: https://www.researchgate.net/publication/242507721_Impact_of_digital_literacy_on_the_engineer_curriculum
5. Digital Literacy in the Age of AI: A Roadmap for Business Success / [Электронный ресурс] // InclusionCloud : [сайт]. — URL: https://inclusioncloud.com/insights/blog/digital-literacy-ai/
6. Цифровизация промышленности: задачи, преимущества внедрения / [Электронный ресурс] // СберБизнесСофт : [сайт]. — URL: https://sberbs.ru/announcements/cifrovizaciya-promyshlennosti-zadachi-preimushestva-vnedreniya
7. *Татьяна М.* Цифровизация предприятия. Какие результаты, и сколько экономят компании. Три примера / Татьяна М. [Электронный ресурс] // VC.ru : [сайт]. — URL: https://vc.ru/future/1128114-cifrovizaciya-predpriyatiya-kakie-rezultaty-i-skolko-ekonomyat-kompanii-tri-primera
8. *Тарасова Н.Н., Шпарова П.О.* Топ-15 цифровых технологий в промышленности / Тарасова Н.Н., Шпарова П.О. [Электронный ресурс] // ИСИЭЗ НИУ ВШЭ : [сайт]. — URL: https://issek.hse.ru/news/494926896.html
9. Boosting Technological Literacy For A Smarter Future / [Электронный ресурс] // Technical Durgesh : [сайт]. — URL: https://technicaldurgesh.com/technological-literacy/
10. *Дмитрий Смирнов* Стандарты ИСО 19650 как основа информационного менеджмента в строительстве / Дмитрий Смирнов [Электронный ресурс] // Айбим : [сайт]. — URL: https://bim-info.ru/articles/standarty-iso-19650-kak-osnova-informatsionnogo-menedzhmenta-v-stroitelstve/

WHAT IS DIGITAL LITERACY AND WHY DO ENGINEERS NEED IT

A.S. Frolov[1], M.D. Marusheva[2]
Scientific Advisor – A.N. Shovgenin[3]
MIREA – Russian Technological University (Moscow, Russia)
[1]frolov.a.s2@edu.mirea.ru, [2]marusheva.m.d@edu.mirea.ru, [3]shovgenin@mirea.ru

Abstract

Problem Statement. Modern engineering specialties are rapidly transforming under the influence of digitalization, which affects all stages of design, production, and operation of technical systems. However, many engineers face difficulties when working with digital tools, data analysis, software, and digital platforms. This is due to an insufficient level of digital literacy, which has become a critically important competence for effective professional activity. The lack of systematic training in digital literacy reduces specialists' competitiveness and hinders the implementation of innovations.

Purpose. The purpose of this article is to define the essence of the concept of "digital literacy" as applied to engineering activities, as well as to justify the need for developing digital competencies among engineers in the context of digital transformation of industry and education.

Results. An analysis of the concept of digital literacy in the engineering profession was conducted, and key components such as technical skills, information literacy, communication skills, learning ability, and digital competencies were identified. The role of developing these competencies in improving the quality of design and production processes, as well as in ensuring the innovation potential and competitiveness of engineers under digital transformation conditions, was determined.

Practical Significance. The results of the study can be used to improve educational programs and professional training of engineers in the context of digital transformation.

Keywords

Digital literacy, engineering profession, technical skills, information literacy, communication skills, learning ability, digital competencies, digital transformation, CAD/CAE, digital twins, big data, artificial intelligence, cybersecurity, professional training.

УДК 007.51:629.78

СРАВНЕНИЕ ПУБЛИЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ДОСТИЖЕНИЙ В ОБЛАСТИ КОСМОНАВТИКИ ПРЕССОЙ РФ И ДРУГИХ СТРАН

Э.Г. Цхададзе[1]
Научный руководитель – А.Н. Шовгенин[2]
МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] tskhadadze.e.g@edu.mirea.ru, [2] shovgenin@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. Различия в подаче информации о достижениях в области космонавтики в СМИ Российской Федерации и других стран в условиях сложившейся геополитической обстановки.

Цель. Провести сравнительный анализ языковых средств, лексики, стилистики и подачи информации в российских и зарубежных СМИ на примере ключевых событий, таких как запуск «Союз МС-19» с киноэкипажем и первого пуска «Ангары-А5» с космодрома Восточный.

Результаты. Проведена оценка объективности описания событий в области космонавтики среди зарубежных и отечественных СМИ, исследовано наполнение интернет-ресурсов госкорпораций.

Практическая значимость. Полученные результаты могут быть использованы специалистами по медиакоммуникациям, сотрудниками организаций по международному взаимодействию в области космоса.

Ключевые слова

Космонавтика, лексика, Ангара-А5, Союз МС-19, Роскосмос, СМИ.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Освоение космоса – одна из ключевых сфер международного сотрудничества уже на протяжении десятилетий. В то же время ракетно-космическая отрасль традиционно является областью жесткой конкуренции между ведущими державами. Российская Федерация, унаследовавшая научно-технический потенциал космической программы СССР, играет одну из ключевых ролей в развитии мировой пилотируемой космонавтики и реализации масштабных проектов, например, таких как Международная космическая станция (далее – МКС). Параллельно с этим продолжают исследования коллеги из Соединенных Штатов Америки и других стран, работающих в направлении освоения космоса. Кроме того, действует соглашение о перекрестных полетах на МКС между «Роскосмосом» и «НАСА» (Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства, США), позволяющее поддерживать стабильную работу станции [1]. Однако восприятие достижений внутри стран имеет отличия, что обусловлено спецификой подачи информационного материала.

Цель работы – провести сравнительный анализ языковых средств, лексики, стилистики и подачи информации в российских и зарубежных СМИ на примере ключевых событий, таких как запуск «Союз МС-19» с киноэкипажем и первого пуска «Ангары-А5» с космодрома Восточный.

Сравнительная характеристика тематических информационных материалов

5 октября 2021 года с космодрома «Байконур» стартовал корабль «Союз МС-19», на котором отправилась команда кинофильма «Вызов». Пуск стал одной из главных тем дня на всех информационных ресурсах мира. Приведены фрагменты статьи, в которой освещен старт миссии «Союз МС-19» газетой «Аргументы и факты» (Российская Федерация):

«Ракета-носитель «Союз-2.1а» с кораблём «Союз МС-19» успешно стартовала с космодрома Байконур. Старт состоялся в 11:55 по московскому времени. В основной экипаж корабля входят командир 66-й длительной экспедиции на Международную космическую станцию (МКС), космонавт Антон Шкаплеров и участники космического полёта кинорежиссёр Клим Шипенко и актриса Юлия Пересильд. Согласно плану, корабль «Союз

МС-19» будет лететь к орбитальной станции по двухвитковой схеме. По расчётам, он доберется до неё примерно за 3 часа 17 минут.

Фильм «Вызов» станет первой картиной в истории, в которой профессиональная актриса будет сниматься в космосе. Это будет фильм о враче, которому нужно лететь в космос для оказания помощи члену экипажа МКС. Ориентировочная продолжительность работы кинорежиссёра Клима Шипенко и актрисы Юлии Пересильд на МКС — не менее 12 суток. Российские космонавты, находящиеся на МКС, будут помогать в съёмках фильма. Киноэкипаж вернётся на землю 17 октября вместе с космонавтом Олегом Новицким на корабле «Союз МС-18» [2].

При более детальном рассмотрении можно заметить лексику в большинстве нейтрального оттенка, нет ярко выраженных оценочных суждений.

Приведем фрагмент из статьи газеты «The Guardian» (Великобритания), имеющей заголовок «Shooting stars: Russians beating US in race for first film shot in space», что можно перевести как «Снимая звезды: русские опередили Соединенные Штаты в гонке за первый кинокадр в космосе». В статье можно встретить следующие фрагменты:

«The list of “firsts” in orbit under the Soviet space programme is legendary: first satellite, first dog, first man, first woman» - «Список «первых» на орбите в советской космической программе легендарен: первый спутник, первая собака, первый мужчина, первая женщина»;

«Now however, the arrival of a Soyuz MS-19 spaceship carrying Peresild and Shipenko means the Russian plans are likely to trump those of Nasa, Cruise and company» - «Однако теперь прибытие космического корабля «Союз МС-19» с Пересильд и Шипенко на борту означает, что планы России, скорее всего, превзойдут планы НАСА, Круза и компании» [3].

Проведя анализ, можно заметить, что редакторы газеты используют положительно окрашенную лексику в отношении достижений СССР и РФ, вопреки сложившейся в настоящее время риторике стран запада, заключающейся в уменьшении значимости достижений РФ и бывшего СССР.

Следующим немаловажным событием в отечественной космонавтике считается первый запуск тяжелого ракета-носителя «Ангара-А5» с космодрома «Восточный» 11 апреля 2024 года. Информационное агентство «Reuters» опубликовало в день запуска информационную статью, в которой содержатся следующий фрагмент:

«The test launch of the Angara-A5, Russia's first post-Soviet space rocket, was aimed at underscoring Moscow's ambition to be a major space power and the growing importance of Vostochny, situated in the forests of the Amur region of Russia's Far East» - «Испытательный запуск «Ангары-А5», первой российской космической ракеты постсоветского периода, был призван подчеркнуть амбиции Москвы быть крупной космической державой и растущую значимость Восточного, расположенного в лесах Амурской области на Дальнем Востоке России» [4].

Примерно такой же по содержанию вышла статья информационного агентства «Al Jazeera», имеющая схожий фрагмент:

«Thursday’s launch of the new space vehicle is intended to showcase Russia’s post-Soviet space ambitions, and the growing role played by the Vostochny Cosmodrome, which is located in the forests of the Amur region bordering China» - «Запуск нового космического корабля в четверг призван продемонстрировать постсоветские космические амбиции России и растущую роль космодрома Восточный, расположенного в лесах Амурской области на границе с Китаем» [5].

Со статьей вышла и «Российская газета», в которой можно подчеркнуть следующие фрагменты:

«Событие не просто космического масштаба: открыта новая страница в отечественной космонавтике. И это без преувеличения. Именно при помощи «Ангары» будет строиться новая Российская орбитальная станция, будут выводиться в космос новые пилотируемые корабли и

спутники. Она позволит нам запускать космические аппараты всех типов со своей территории и обеспечит независимый гарантированный доступ в космос».

«Есть пуск! В четверг, 11 апреля, миллионы россиян в прямом эфире наблюдали первый старт нашей новой тяжелой ракеты «Ангара-А5» с космодрома Восточный. Эмоции зашкаливают» [6].

Безусловно, в сообщении отечественного СМИ преобладает положительно окрашенная лексика, однако в сводках зарубежных информационных агентств не просматривается субъективизация материала, которая могла бы быть выражена использованием всевозможных оценочных суждений и соответствующих языковых средств. Однако стоить заметить, что зарубежные журналисты делали отсылки на два предыдущих неудачных пуска ракеты-носителя:

«But two launches of the Angara rocket were aborted at the very last minute on both Tuesday and Wednesday due to a malfunction of a pressurising system and then a problem with the engine launch-control system» - «Однако два запуска ракеты «Ангара» во вторник и среду были прерваны в последнюю минуту из-за неисправности системы наддува, а затем из-за проблем с системой управления запуском двигателя» (сообщение Reuters содержит противопоставление, выраженное противительным союзом) [4];

«Launch attempts on Tuesday and Wednesday were cancelled due to a failure in a pressurising system in an oxidiser tank and in the engine control system, according to Russian space agency Roscosmos» - «По данным российского космического агентства «Роскосмос», попытки запуска во вторник и среду были отменены из-за отказа системы наддува бака окислителя и системы управления двигателем». Сообщение «Аль-Джазиры» выполнено с использованием нейтральной лексики [5].

Стоит обратить внимание, что большинство статей, освещающих те или иные события в области космонавтики, не используют профессионализмы и иные лексические единицы узких сфер например, термины (апогей, гравитационный маневр). Однако в некоторых источниках встречаются части, в которых описываются принципы работы космических аппаратов или приборов. При подготовке таких фрагментов используется общеупотребительная лексика, чаще всего авторы используют научно-популярный стиль речи. Например, в ранее упоминавшейся статье Российской газеты о запуске ракеты-носителя «Ангара-А5» есть такие части, как «На каком моторе летит?», «Как учат летать ракеты», а также приводится краткая справка технических характеристик, которые несут информацию, полезную для специалистов или увлекающихся сферой читателей.

«В декабре прошлого года на космодроме Восточный успешно завершились комплексные испытания электрозаправочного макета "Ангара-НЖ" – полноразмерного макета "Ангары-А5". Буквы "НЖ" означают – наземная жидкостная. Проще говоря, "Ангара-НЖ" один в один как настоящая ракета, только без системы управления. Такие создаются для "примерки" стартового комплекса. Тогда специалисты успешно провели все необходимые проверки в рамках первого этапа испытаний… И это только один из этапов» – из части «На каком моторе летит». При более детальном рассмотрении можно заметить объяснения специальных обозначений (например, «НЖ» – наземная жидкостная), принципов работы («… как настоящая ракета, только без системы управления»)» [6].

Отдельно стоит рассмотреть публичное освещение достижений компании «SpaceX» (США) в отечественной прессе. Стоит заметить, что публикации об успехах зарубежных коллег встречаются на просторах сети в несколько раз реже. Обычно освещают западные наработки менее масштабные или узкопрофильные новостные ресурсы, такие как «РБК» и «Naked Science», являющиеся профильными в экономике и науке (соответственно), следовательно, парадигма описания соответствует направлению и тематике издания.

Однако стоит отметить, что после анализа доступной (использовались способы поиска, не требующие специальных технических методов, противоречащих законодательству РФ)

информации была обнаружена парадоксальная особенность: полёты компании «SpaceX» не имеют сильного освещения и в СМИ за рубежом. Большинство найденных материалов относятся к задержке космонавтов США на орбите из-за неисправности спускового аппарата.

Безусловно, нельзя пройти мимо и сравнения сайтов НАСА (США) и Роскосмоса. На интернет-портале американской корпорации имеется внушительный раздел, внутри которого содержатся всевозможные материалы (в большинстве своём научно-популярного характера), объясняющие работу космического корабля, его составных частей, причём статьи дифференцированы по возрасту и уровню знаний: отдельные страницы для детей 5 – 8-х и 1 – 4-х классов. На сайте отечественной корпорации содержится меньше информации, что можно связать с достаточно сильной теоретической подготовкой учеников нашей страны в школах и дошкольных учреждениях – знания о космосе и принципах его освоения считаются фундаментальными, поэтому соответствующие разделы сайта имеют пропорционально уменьшенное наполнение.

Заключение

В ходе проведенного исследования был осуществлен сравнительный анализ освещения ключевых событий российской космонавтики в отечественных и зарубежных средствах массовой информации. Сопоставление материалов, посвященных запуску космического корабля "Союз МС-19" с киноэкипажем на борту и первому пуску тяжелой ракеты-носителя "Ангара-А5" с космодрома Восточный, позволило выявить характерные особенности в медиаподаче этих событий.

Российские СМИ, такие как "Аргументы и факты" и "Российская газета", демонстрируют устойчивую тенденцию к использованию позитивно окрашенной лексики, акцентируя внимание на уникальности и исторической значимости описываемых событий. В их материалах преобладает риторика национального престижа и технологических достижений. В то же время зарубежные издания, включая The Guardian, Reuters и Al Jazeera, придерживаются более нейтрального тона, нередко помещая события в геополитический контекст и обращая внимание на технические сложности.

Важной особенностью медиадискурса оказалось редкое использование узкоспециальной терминологии - как российские, так и зарубежные журналисты предпочитают научно-популярный стиль изложения. При этом российские СМИ чаще включают в материалы пояснения специальных терминов, что повышает доступность контента для широкой аудитории.

Полученные результаты имеют значительную практическую ценность для специалистов в области научных коммуникаций. Они могут быть использованы космическими агентствами для оптимизации своих медиастратегий, журналистами - для повышения качества научно-популярных материалов, а также исследователями - для более глубокого понимания механизмов формирования общественного восприятия научно-технического прогресса.

Список источников

1. Ракеты-носители // Роскосмос URL: https://www.roscosmos.ru/33/ (дата обращения: 15.05.2025)
2. Старт корабля «Союз МС-19» со съёмочной группой фильма «Вызов» // Аргументы и факты URL: https://aif.ru/culture/gallery/start_korablya_soyuz_ms-19_so_syomochnoy_gruppoy_filma_vyzov (дата обращения: 28.04.2025).
3. Shooting stars: Russians beating US in race for first film shot in space // The Guardian URL: https://www.theguardian.com/science/2021/oct/05/shooting-stars-russians-beating-hollywood-in-race-for-first-space-film (дата обращения: 03.04.2025).
4. Russia launches first Angara-A5 space rocket from Far East cosmodrome // Reuters URL: https://www.reuters.com/technology/space/russia-launches-angara-a5-space-rocket-vostochny-2024-04-11/ (дата обращения: 30.04.2025).
5. Russia’s Angara A5 rocket blasts off into space after two aborted launches // Al Jazeera URL: https://www.aljazeera.com/news/2024/4/11/russias-angara-a5-rocket-blasts-off-into-space-after-two-aborted-launches (дата обращения: 27.04.2025)

6. Тяжелая ракета "Ангара-А5" впервые стартовала с космодрома Восточный // Российская газета URL: https://rg.ru/2024/04/11/tiazhelaia-raketa-angara-a5-vpervye-startovala-s-kosmodroma-vostochnyj.html (дата обращения: 05.05.2025).
7. *Г. Я. Согланик, Т. С. Дроняева* Стилистика современного русского языка и культура речи. – 3-е изд. – Москва: Академия, 2005. – 256 с.
8. *Д. Э. Розенталь, И. Б. Голуб, М. А.* Теленкова Современный русский язык – 11-е изд. – Айрис – пресс, 2010. – 448 с.
9. *Гальперин И. Р.* Большой англо-русский словарь. - 1-е изд. - Москва: Советская энциклопедия, 1972. - 775 с.
10. Добровольский М. В. Жидкостные ракетные двигатели. - 2-е изд. - Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. - 294 с.
11. What is a rocket grades 5-8 // NASA URL: https://www.nasa.gov/learning-resources/for-kids-and-students/what-is-a-rocket-grades-5-8/ (дата обращения: 05.05.2025).

COMPARISON OF PUBLIC COVERAGE OF ACHIEVEMENTS IN THE FIELD OF COSMONAUTICS BY THE PRESS OF THE RUSSIAN FEDERATION AND OTHER COUNTRIES

E.G. Tskhadadze
Scientific Adviser – A. N. Shovgenin[2]
MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia)
[1] tskhadadze.e.g@edu.mirea.ru, [2] shovgenin@mirea.ru

Abstract

This study examines the differences in media coverage of Russian cosmonautics achievements in domestic and foreign mass media, focusing on two key events: the launch of the «Soyuz MS-19» spacecraft with a film crew (2021) and the first flight of the «Angara-A5» heavy rocket from the «Vostochny» Cosmodrome (2024). Through a comparative analysis of Russian («Argumenty i Fakty», «Rossiyskaya Gazeta») and international («The Guardian», «Reuters», «Al Jazeera») media sources, the paper identifies linguistic patterns, thematic emphases, and narrative strategies used to frame these events. Key findings reveal that Russian media predominantly employ positive language, highlighting national prestige and technological breakthroughs, while foreign outlets maintain a neutral tone, often contextualizing events within historical or geopolitical frameworks. Notably, Western publications more frequently mention technical failures, such as the «Angara-A5» launch delays, whereas Russian articles emphasize mission uniqueness (e.g., the first space film). The study also notes a scarcity of specialized terminology, with most texts adopting a popular-science style. The research employs content analysis and quantitative methods to assess lexical choices, historical references, and the balance between technical and ideological narratives. It argues that media portrayals of space programs are influenced by national agendas, shaping public perception of scientific achievements. Practical implications include recommendations for space agencies (e.g., Roscosmos, NASA) to refine communication strategies and for journalists to enhance objectivity in science reporting. The paper contributes to broader discussions on media's role in science diplomacy and the "soft power" of space exploration.

Keywords

Cosmonautics, vocabulary, Angara-A5, Souyz MS-19, Roscosmos, mass media.

УДК 81’324

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ПАРАДИГМА ЛИНГВИСТИЧЕСКОЙ ЛОГИСТИКИ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ДИСКУРСА

А.Н. Шовгенин
МИРЭА – Российский технологический университет (Москва, Россия)
shovgenin@mirea.ru

Аннотация

Постановка проблемы. В условиях интенсификации научно-технической коммуникации актуализируется проблема обеспечения точности и эффективности передачи специализированной информации. Существующие лингвистические исследования носят фрагментарный характер и не обеспечивают системного подхода к управлению языковыми процессами в профессиональной коммуникации.

Цель исследования состоит в обосновании концептуальных основ лингвистической логистики как интегративного подхода к оптимизации процессов передачи научно-технической информации.

Результаты. Проведен комплексный анализ отечественных исследований по пяти ключевым аспектам передачи научно-технической информации, а именно терминологической точности, смысловым искажениям, коммуникативным неудачам, информационным потерям и профессиональной коммуникации. Выявлен солидный теоретический фундамент для формирования парадигмы лингвистической логистики. Обоснована необходимость перехода от описательно-аналитического к проектно-конструктивному подходу в изучении профессиональной коммуникации.

Практическая значимость заключается в обосновании необходимости разработки операциональных моделей оптимизации коммуникативных процессов, систем лингвистического аудита и практических инструментов управления качеством передачи научно-технической информации.

Ключевые слова

Лингвистическая логистика, научно-технический дискурс, профессиональная коммуникация, терминологическая точность, информационные потери, коммуникативные неудачи, оптимизация языковых процессов.

A brief version in English is given at the end of the article.

Введение

Проблема эффективной передачи знания и обеспечения взаимопонимания между людьми является одной из фундаментальных в истории человеческой мысли. Еще античные философы осознавали парадоксальную природу коммуникации. Платон в диалоге «Федр» поднимал вопрос о принципиальной ограниченности письменной речи в передаче истинного знания, а Аристотель в «Риторике» и «Об истолковании» заложил основы понимания связи между мыслью, языком и действительностью. Проблема адекватности языкового выражения мысли, сформулированная в классической триаде «res – intellectus – vox» (вещь – понятие – слово), на протяжении веков оставалась в центре философских дискуссий, от средневековых споров номиналистов и реалистов до современных исследований в области философии языка.

Особую остроту эта проблема приобрела в эпоху научной революции XVII века, когда Ф. Бэкон в «Новом Органоне» выделил «идолы рынка» (idola fori) – заблуждения, порождаемые несовершенством языка и неточностью словоупотребления, как одно из главных препятствий на пути познания истины. Г.В. Лейбниц мечтал о создании универсального языка науки (characteristica universalis), который исключил бы возможность недопонимания и обеспечил бы абсолютную точность передачи научного знания. Эта идея получила развитие в логическом позитивизме XX века, представители которого (Р. Карнап, Л. Витгенштейн раннего периода) стремились создать идеальный язык, свободный от двусмысленностей естественного языка.

Однако уже В. фон Гумбольдт показал, что язык не просто средство передачи готовых мыслей, но «орган, образующий мысль», что делает проблему коммуникации значительно более сложной. Развитие этих идей в философской герменевтике (Ф. Шлейермахер, В. Дильтей, Г.-Г. Гадамер) привело к пониманию того, что любой акт коммуникации предполагает интерпретацию, а следовательно, возможность множественности понимания. М.

Хайдеггер в работе «Путь к языку» утверждал, что «язык есть дом бытия», подчеркивая фундаментальную роль языка не только в передаче, но и в самом конституировании человеческого опыта.

Теория коммуникативного действия Ю. Хабермаса представляет попытку философского осмысления условий достижения взаимопонимания в современном обществе, выделяя идеальную речевую ситуацию как регулятивный принцип человеческой коммуникации. Параллельно развитие кибернетики и теории информации (К. Шеннон, Н. Винер) поставило вопрос о возможности точного измерения информации и контроля ее передачи, что открыло новые перспективы для решения древней философской проблемы.

В контексте современной научно-технической цивилизации проблема эффективной передачи специального знания приобретает не только теоретическое, но и практическое значение. Экспоненциальный рост объема научной информации, усложнение технических систем, глобализация научного сообщества делают критически важным обеспечение точной, полной и однозначной передачи профессиональной информации. Ошибки в понимании технической документации, неточности в переводе научных текстов, коммуникативные сбои в профессиональном общении могут иметь серьезные, а иногда и катастрофические последствия.

Концепция лингвистической логистики представляет собой попытку синтеза философских, лингвистических и информационно-технических подходов к решению этой фундаментальной проблемы. Рассматривая язык не просто как код для передачи информации, но как сложную динамическую систему, требующую управления и оптимизации, лингвистическая логистика стремится создать научно обоснованные методы обеспечения гарантированного взаимопонимания в профессиональной коммуникации. Данный обзор представляет анализ теоретических оснований этого подхода, опираясь на достижения отечественной лингвистической науки в исследовании ключевых аспектов передачи специального знания.

Терминологическая точность

Проблема терминологической точности как базового условия эффективной научно-технической коммуникации представляет собой одно из центральных направлений отечественного терминоведения. Основы системного подхода к научно-технической терминологии были заложены Д.С. Лотте, который сформулировал фундаментальные принципы построения терминосистем, включая требования системности, однозначности термина в пределах одной терминологической системы, а также необходимость устранения синонимии и полисемии в специальной лексике [1]. Эти принципы получили дальнейшее развитие в работах современных терминоведов, которые, признавая идеальный характер требований Лотте, обратились к изучению реального функционирования терминов в профессиональной коммуникации.

Современная теория термина исходит из понимания его двойственной природы. В.М. Лейчик обосновал концепцию термина как единицы, принадлежащей одновременно системе языка и системе знаний, что определяет его функционирование как единицы логоса [2]. Данный подход позволил объяснить неизбежность вариативности термина в различных коммуникативных ситуациях и контекстах употребления. К.Я. Авербух развил эту идею в рамках концепции терминологической вариативности, продемонстрировав объективный характер существования терминологических дублетов и квазисинонимов в реальной профессиональной коммуникации, что обусловлено как лингвистическими, так и экстралингвистическими факторами [3]. Проблема разграничения терминологических и общеупотребительных единиц получила теоретическое обоснование в работах С.Д. Шелова, предложившего концепцию терминологичности и разработавшего критерии идентификации терминов, что имеет принципиальное значение для организации входного контроля специальных текстов [4].

Практические аспекты упорядочения терминологии наиболее полно представлены в исследованиях С.В. Гринева-Гриневича, который систематизировал методы унификации и стандартизации терминов, разработав алгоритмы терминологической работы [5]. Особое внимание в современных исследованиях уделяется проблеме межъязыковой гармонизации терминосистем, что приобретает критическое значение в условиях глобализации научного знания [5–6]. В.Ф. Новодранова, анализируя механизмы создания интернациональной научной терминологии на базе греко-латинских элементов, выявила словообразовательные модели, обеспечивающие точность, однозначность и системность терминообразования в различных областях знания [7]. Комплексный подход к изучению терминологии как особой подсистемы языка представлен в коллективной монографии А.В. Суперанской, Н.В. Подольской и Н.В. Васильевой, где обобщены теоретические положения отечественного терминоведения и намечены перспективы его развития [8].

В отечественной лингвистике сформирована солидная теоретическая база для организации входного терминологического контроля в системе научно-технической коммуникации. Вместе с тем, практическая реализация этих принципов в рамках лингвологистического подхода, предполагающего оптимизацию всей цепочки прохождения специальной информации, требует разработки новых методологических решений, учитывающих динамический характер современных коммуникативных процессов и необходимость обеспечения гарантированного взаимопонимания на всех уровнях передачи информации.

Смысловые трансформации

Проблема смысловых искажений при передаче информации в научно-технической коммуникации представляет собой фундаментальную теоретическую и практическую задачу, находящуюся на пересечении психолингвистики, теории коммуникации и когнитивной лингвистики. Основополагающие исследования в этой области были проведены Н.И. Жинкиным, который раскрыл механизмы перекодировки информации при переходе от внутренней речи к внешней, выявив принципиальную нелинейность этого процесса и неизбежность определенных трансформаций смысла [9]. Развивая эти идеи, А.А. Леонтьев обосновал концепцию речевой деятельности как сложного многоуровневого процесса, в котором на каждом этапе порождения и восприятия высказывания происходят специфические преобразования информации, что создает объективные предпосылки для возникновения смысловых искажений [10].

Системное исследование феномена смысловых трансформаций в процессе текстовой коммуникации было предпринято Т.М. Дридзе, которая ввела понятие «смысловых ножниц» для обозначения расхождений между коммуникативным намерением автора и результатом интерпретации текста реципиентом [11]. В рамках разработанной ею концепции текстовой деятельности было показано, что понимание текста представляет собой активный процесс реконструкции смысла, успешность которого зависит от совпадения смысловых доминант автора и читателя. Методология мотивационно-целевого анализа, предложенная Т.М. Дридзе, позволила выявить иерархическую структуру текста и определить критические точки, в которых наиболее вероятны смысловые искажения [12]. Близкие результаты были получены Л.П. Доблаевым при изучении смысловой структуры учебных текстов, где была разработана система «смысловых вех» как опорных пунктов понимания, нарушение связи между которыми ведет к искажению общего смысла сообщения [13].

Психолингвистические механизмы понимания и интерпретации текста получили глубокое освещение в работах И.А. Зимней, которая выделила систему фильтров восприятия в речевой деятельности, включающих языковой, когнитивный и эмоционально-оценочный компоненты [14]. Каждый из этих фильтров может стать источником смысловых искажений, причем их влияние усиливается в условиях профессиональной коммуникации, где требуется точная передача специальных знаний. А.И. Новиков, исследуя процессы формирования семантики текста, показал, что смысловое содержание не является простой суммой значений

языковых единиц, но представляет собой результат сложного взаимодействия эксплицитной и имплицитной информации, что создает дополнительные возможности для неадекватной интерпретации [15]. В работах А.А. Залевской проблема понимания рассматривается с позиций психолингвистического подхода, при этом особое внимание уделяется роли индивидуального опыта и знаний реципиента в процессе смыслового восприятия текста [16].

Специфика информационных потерь и трансформаций в научном дискурсе исследовалась Н.С. Валгиной, которая проанализировала механизмы компрессии и декомпрессии информации в тексте, показав, что любое сжатие информации потенциально ведет к утрате части смыслов, а восстановление полного объема информации при декомпрессии не всегда возможно без искажений [17]. Л.Н. Мурзин и А.С. Штерн, изучая процессы восприятия текста, выделили несколько уровней понимания – от поверхностного до глубинного, продемонстрировав, что на каждом уровне возможны специфические типы смысловых искажений [18]. В контексте профессиональной коммуникации особую значимость приобретают исследования Л.М. Алексеевой, посвященные проблемам научного перевода, где смысловые искажения могут возникать не только из-за межъязыковой асимметрии, но и вследствие различий в научных традициях и концептуальных системах [19].

Отечественными исследователями создан мощный теоретический аппарат для анализа смысловых искажений в процессе передачи информации. Однако применение этих знаний в рамках лингвистической логистики требует разработки практических механизмов мониторинга и минимизации смысловых трансформаций на всех этапах прохождения научно-технической информации, что составляет актуальную задачу прикладной лингвистики.

Коммуникативные неудачи

Проблема коммуникативных неудач в профессиональной сфере представляет собой одно из наиболее активно разрабатываемых направлений современной прагмалингвистики и теории речевого общения. Теоретические основы изучения коммуникативных сбоев были заложены в работах Б.Ю. Городецкого, И.М. Кобозевой и И.Г. Сабуровой, которые предложили первую системную типологию коммуникативных неудач, выделив их основные классы в зависимости от уровня языковой системы, на котором происходит сбой, и характера нарушения взаимопонимания между коммуникантами [20]. Данная типология включает коммуникативные неудачи, связанные с неадекватным выбором языковых средств, неверной интерпретацией контекста, несовпадением пресуппозиций участников общения и рядом других факторов.

Дальнейшее развитие теория коммуникативных неудач получила в исследованиях О.Н. Ермаковой и Е.А. Земской, которые существенно расширили и детализировали типологию коммуникативных сбоев, особое внимание уделив роли прагматических факторов в их возникновении [21]. Авторы показали, что коммуникативные неудачи могут быть обусловлены не только собственно языковыми причинами, но и различиями в фоновых знаниях коммуникантов, несовпадением их коммуникативных установок и целей, а также влиянием экстралингвистических факторов. В работах И.А. Стернина проблема эффективности коммуникации рассматривается с позиций теории речевого воздействия, при этом автор выделяет коммуникативные барьеры различной природы – психологические, социальные, культурные, – преодоление которых является необходимым условием успешной профессиональной коммуникации [22].

Специфика коммуникативных неудач в научном и деловом общении стала предметом исследования в работах Т.В. Анисимовой и Е.Г. Гимпельсон, которые проанализировали типичные коммуникативные сбои в деловой сфере и предложили систему риторических стратегий для их предупреждения [23]. М.Ю. Сидорова и В.С. Савельев, исследуя проблемы культуры речи в профессиональной коммуникации, выявили основные зоны риска возникновения коммуникативных неудач, связанные с нарушением норм научного и делового стилей, неточным использованием терминологии, неадекватной структурой текста [24]. В.И. Карасик в рамках теории языковой личности и дискурса показал, что успешность

профессиональной коммуникации во многом определяется совпадением дискурсивных компетенций участников общения, а коммуникативные неудачи часто возникают при переходе между различными типами дискурса [25].

Психолингвистические аспекты коммуникативных неудач получили освещение в работах В.П. Белянина, который разработал методику психолингвистической диагностики текста, позволяющую выявлять потенциальные точки коммуникативных сбоев на основе анализа языковых маркеров [26]. А.А. Кибрик, применяя методы дискурсивного анализа, продемонстрировал роль референциальных конфликтов и нарушений когерентности в возникновении коммуникативных неудач, особенно в текстах со сложной структурой, характерных для научно-технической сферы [27]. Проблема обратной связи как механизма предотвращения коммуникативных неудач исследовалась Н.Д. Павловой, которая показала, что отсутствие или неадекватность обратной связи является одной из основных причин накопления коммуникативных сбоев в профессиональном общении [28].

Особую значимость для научно-технического дискурса имеют исследования М.П. Котюровой и Е.А. Баженовой, посвященные культуре научной речи, где выделены специфические типы коммуникативных неудач, характерные для научного общения, а именно нарушение логики изложения, неточность в использовании метаязыка науки, несоблюдение жанровых конвенций научного текста [29]. В.Е. Чернявская, анализируя процессы интерпретации научного текста, выявила механизмы возникновения интерпретационных конфликтов, которые могут приводить к серьезным коммуникативным сбоям в научном сообществе [30].

В отечественной лингвистике накоплен значительный опыт изучения коммуникативных неудач, разработаны их типологии и выявлены основные причины возникновения. Однако задача создания системы превентивных мер для предотвращения коммуникативных сбоев в рамках лингвологистического подхода требует интеграции имеющихся знаний и разработки практических инструментов мониторинга и коррекции коммуникативных процессов на всех уровнях передачи научно-технической информации.

Информационные потери

Проблема информационных потерь в процессе передачи научно-технического знания представляет собой комплексную междисциплинарную задачу, находящуюся на стыке теории информации, когнитивной лингвистики и коммуникативистики. Фундаментальные исследования в этой области были проведены Р.Г. Пиотровским и его соавторами, которые применили математические методы к анализу языковых явлений, продемонстрировав возможность количественной оценки информационной насыщенности текста и выявления закономерностей информационных потерь при различных видах преобразования текстовой информации [31]. Развитие квантитативного подхода в работах Ю. Тулдавы позволило установить статистические закономерности распределения информации в тексте и определить критические точки, где вероятность информационных потерь максимальна [32].

Теоретическое осмысление процессов трансформации информации при ее передаче получило в работах Н.С. Валгиной, которая детально исследовала механизмы компрессии и декомпрессии информации в тексте [17]. Автор показала, что любое сжатие информации неизбежно сопровождается потерей части периферийных смыслов, причем восстановление полного объема информации при декомпрессии часто оказывается невозможным из-за необратимости процессов семантической редукции. В исследованиях Л.Н. Мурзина и А.С. Штерн проблема информационных потерь рассматривается в контексте уровневой модели восприятия текста, где на каждом уровне понимания – от поверхностного до концептуального – происходят специфические трансформации информационного содержания [18].

Когнитивные аспекты информационных потерь стали предметом исследования в работах Н.К. Рябцевой, которая проанализировала роль естественного интеллекта в процессах обработки и передачи информации, выявив механизмы селекции и фильтрации информации на различных этапах ее переработки [33]. Автор показала, что информационные потери могут

быть как деструктивными (ведущими к искажению смысла), так и конструктивными (способствующими выделению главного и устранению избыточности). Ю.Н. Караулов в рамках теории языковой личности продемонстрировал, что объем и характер информационных потерь существенно зависят от уровня языковой компетенции реципиента и его тезауруса, что особенно критично для научно-технической коммуникации [34].

Специфика информационных трансформаций в научном дискурсе исследовалась Н.В. Данилевской, которая выявила закономерности развертывания научного знания в тексте и показала, что линейная организация текста накладывает существенные ограничения на полноту передачи многомерной научной информации [35]. В.Н. Комиссаров, разрабатывая теорию перевода, ввел понятие уровней эквивалентности, которое позволяет дифференцированно подходить к оценке информационных потерь при межъязыковой передаче научно-технической информации [36]. Л.К. Латышев развил эти идеи, предложив концепцию коммуникативной равноценности текстов, согласно которой определенные информационные потери могут компенсироваться за счет прагматической адаптации [37].

Проблема измерения и контроля информационных потерь получила практическое решение в работах А.Н. Баранова, который разработал методы корпусного анализа для выявления информационной структуры текста и оценки полноты передачи информации [38]. Применение методов компьютерной лингвистики, представленное в исследованиях Б.Ю. Городецкого, открыло новые возможности для автоматизированного мониторинга информационных потерь в больших массивах научно-технических текстов [39]. В.П. Захаров и С.Ю. Богданова продемонстрировали эффективность корпусных методов для анализа информационной динамики в специальных текстах, что позволяет выявлять типичные модели информационных потерь и разрабатывать стратегии их минимизации [40].

Отечественными исследователями создан солидный теоретический и методологический фундамент для анализа информационных потерь в научно-технической коммуникации. Вместе с тем интеграция этих подходов в единую систему лингвологистического мониторинга, обеспечивающую контроль сохранности критически важной информации на всех этапах ее передачи, остается актуальной задачей, требующей разработки новых междисциплинарных решений.

Эффективность профессиональной коммуникации

Проблема эффективности профессиональной коммуникации в научно-технической сфере представляет собой одно из приоритетных направлений современной прикладной лингвистики, объединяющее достижения функциональной стилистики, теории специального дискурса и лингводидактики. Основы изучения научной коммуникации как особой формы профессионального общения были заложены в классических работах Е.С. Троянской, которая выявила специфические характеристики научного стиля, определяющие особенности передачи и восприятия специальной информации [41]. Развитие этих идей в исследованиях М.П. Котюровой привело к созданию целостной концепции научной речи как функционально-стилевой разновидности литературного языка, обладающей собственными механизмами организации и критериями эффективности [42].

Комплексное исследование культуры научной коммуникации представлено в работах М.П. Котюровой и Е.А. Баженовой, где детально проанализированы текстовые категории научного стиля и предложены практические рекомендации по оптимизации научного изложения [43]. Авторы выделили ключевые параметры эффективности научного текста, к которым отнесли точность, логичность, ясность изложения, обоснованность выводов, что создает основу для разработки критериев оценки качества научной коммуникации. В.Е. Чернявская, исследуя дискурсивные характеристики научного общения, показала, что эффективность научной коммуникации определяется не только собственно языковыми факторами, но и соблюдением конвенций научного дискурса, включая интертекстуальные связи и диалогичность изложения [44].

Когнитивные аспекты профессиональной коммуникации стали предметом исследования в работах И.А. Мельчука, который разработал теорию лингвистических моделей «Смысл ↔ Текст», позволяющую формализовать процессы порождения и понимания специальных текстов [45]. Ю.Д. Апресян в рамках системной лексикографии создал методологию описания научной терминологии, обеспечивающую точность и однозначность профессиональной коммуникации [46]. А.Н. Баранов и Д.О. Добровольский, развивая идеи когнитивной семантики, показали роль концептуальных метафор в организации научного знания и их влияние на эффективность научной коммуникации [47].

Прикладные аспекты оптимизации профессионального общения разрабатывались в исследованиях И.А. Стернина, который предложил систему коммуникативных стратегий и тактик, повышающих эффективность делового и научного общения [22]. Т.В. Анисимова и Е.Г. Гимпельсон систематизировали риторические приемы организации профессиональной коммуникации, выделив универсальные и специфические для различных профессиональных сфер способы оптимизации общения [23]. Особое значение для научно-технической сферы имеют исследования В.З. Демьянкова, посвященные интерпретации специальных текстов, где показано, что эффективность профессиональной коммуникации во многом определяется адекватностью интерпретационных стратегий [48].

В отечественной лингвистике сформирована многоаспектная теория профессиональной коммуникации, охватывающая стилистические, дискурсивные, когнитивные и прагматические аспекты научного общения. Однако задача интеграции этих подходов в рамках лингвологистической парадигмы, предполагающей системную оптимизацию всех компонентов профессиональной коммуникации с целью достижения гарантированного результата, требует разработки новых теоретических и практических решений, учитывающих динамический характер современной научно-технической коммуникации.

Заключение

Проведенный анализ отечественных исследований по пяти ключевым аспектам передачи научно-технической информации позволяет сделать вывод о наличии солидного теоретического фундамента для разработки парадигмы лингвистической логистики. Рассмотренные работы демонстрируют глубокое понимание механизмов, определяющих эффективность профессиональной коммуникации на различных уровнях.

В области терминологической точности отечественными учеными создана целостная теория термина, разработаны принципы систематизации и стандартизации специальной лексики, выявлены закономерности терминообразования и функционирования терминов в профессиональном дискурсе. Исследования смысловых искажений при передаче информации раскрыли сложную природу процессов понимания и интерпретации, выявили критические точки возникновения смысловых трансформаций и предложили методы их анализа. Типология коммуникативных неудач и анализ их причин создали основу для разработки превентивных стратегий оптимизации профессионального общения. Изучение информационных потерь позволило понять закономерности трансформации знания при его передаче и наметить пути минимизации деструктивных потерь. Наконец, комплексные исследования профессиональной коммуникации выявили многоуровневую систему факторов, определяющих ее эффективность.

Вместе с тем, анализ показывает, что существующие исследования носят преимущественно аналитический характер, фокусируясь на отдельных аспектах проблемы. Задача их интеграции в единую систему управления языковыми процессами, которую ставит лингвистическая логистика, требует перехода от описательно-аналитического к проектно-конструктивному подходу. Необходима разработка операциональных моделей, позволяющих не только диагностировать проблемы, но и проектировать оптимальные коммуникативные маршруты, обеспечивающие гарантированное достижение коммуникативных целей.

Перспективы развития лингвологистического направления связаны с несколькими ключевыми задачами. Во-первых, требуется создание интегративной методологии,

объединяющей достижения различных лингвистических дисциплин в рамках единого подхода к оптимизации профессиональной коммуникации. Во-вторых, необходима разработка системы метрик для количественной оценки эффективности коммуникативных процессов и качества передачи информации. В-третьих, актуальной задачей является создание технологий лингвистического аудита и мониторинга, позволяющих выявлять узкие места в коммуникативных цепочках и оптимизировать информационные потоки.

Особое значение приобретает разработка практических инструментов лингвологистического управления, к которым относятся алгоритмы оптимизации терминологических систем, протоколы контроля смысловой адекватности, системы предупреждения коммуникативных сбоев, методы компенсации информационных потерь. Важным направлением является также исследование возможностей применения современных информационных технологий, включая системы искусственного интеллекта, для автоматизации лингвологистических процессов.

Междисциплинарный характер лингвистической логистики открывает возможности для продуктивного взаимодействия со смежными областями знания – когнитивными науками, теорией управления, информатикой, что может привести к формированию новой области прикладных исследований на стыке гуманитарных и точных наук. Развитие этого направления способно внести существенный вклад не только в решение практических задач оптимизации профессиональной коммуникации, но и в развитие фундаментальных представлений о природе языка как средства передачи и преобразования знания в современном информационном обществе.

Список источников

1. *Лотте Д.С.* Основы построения научно-технической терминологии: Вопросы теории и методики. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 158 с.
2. *Лейчик В.М.* Терминоведение: предмет, методы, структура. – М.: Либроком, 2009. – 256 с.
3. *Авербух К.Я.* Общая теория термина. – Иваново: Ивановский государственный университет, 2004. – 252 с.
4. *Шелов С.Д.* Термин. Терминологичность. Терминологические определения. – СПб.: Филологический факультет СПбГУ, 2003. – 280 с.
5. *Гринев-Гриневич С.В*. Терминоведение: учебное пособие. – М.: Академия, 2008. – 304 с.
6. *Лейчик В.М.* Терминоведение: предмет, методы, структура. – 4-е изд. – М.: Либроком, 2009. – 256 с.
7. *Новодранова В.Ф.* Именное словообразование в латинском языке и его отражение в терминологии. – М.: Языки славянских культур, 2008. – 328 с.
8. *Суперанская А.В., Подольская Н.В., Васильева Н.В.* Общая терминология: Вопросы теории. – М.: ЛИБРОКОМ, 2012. – 248 с.
9. *Жинкин Н.И.* Речь как проводник информации. – М.: Наука, 1982. – 159 с.
10. *Леонтьев А.А*. Основы психолингвистики. – М.: Смысл, 1997. – 287 с.
11. *Дридзе Т.М.* Язык и социальная психология. – М.: Высшая школа, 1980. – 224 с.
12. *Дридзе Т.М.* Текстовая деятельность в структуре социальной коммуникации. – М.: Наука, 1984. – 268 с.
13. *Доблаев Л.П.* Смысловая структура учебного текста и проблемы его понимания. – М.: Педагогика, 1982. – 176 с.
14. *Зимняя И.А.* Лингвопсихология речевой деятельности. – М.: Московский психолого-социальный институт; Воронеж: НПО «МОДЭК», 2001. – 432 с.
15. *Новиков А.И.* Семантика текста и ее формализация. – М.: Наука, 1983. – 216 с.
16. *Залевская А.А.* Понимание текста: психолингвистический подход. – Калинин: Калининский государственный университет, 1988. – 95 с.
17. *Валгина Н.С.* Теория текста. – М.: Логос, 2003. – 280 с.
18. *Мурзин Л.Н., Штерн А.С.* Текст и его восприятие. – Свердловск: Изд-во Уральского университета, 1991. – 172 с.
19. *Алексеева Л.М.* Проблемы термина и терминообразования. – Пермь: Пермский государственный университет, 1998. – 120 с.
20. *Городецкий Б.Ю., Кобозева И.М., Сабурова И.Г.* К типологии коммуникативных неудач // Диалоговое взаимодействие и представление знаний. – Новосибирск: ВЦ СО АН СССР, 1985. – С. 64-78.
21. *Ермакова О.Н., Земская Е.А.* К построению типологии коммуникативных неудач (на материале естественного русского диалога) // Русский язык в его функционировании. Коммуникативно-прагматический аспект. – М.: Наука, 1993. – С. 30-64.
22. *Стернин И.А.* Основы речевого воздействия. – Воронеж: Истоки, 2012. – 178 с.
23. *Анисимова Т.В., Гимпельсон Е.Г.* Современная деловая риторика. – М.: Московский психолого-социальный институт; Воронеж: НПО «МОДЭК», 2002. – 432 с.

24. *Сидорова М.Ю., Савельев В.С.* Русский язык и культура речи. Курс лекций. – М.: Проект, 2002. – 432 с.
25. *Карасик В.И.* Языковой круг: личность, концепты, дискурс. – Волгоград: Перемена, 2002. – 477 с.
26. *Белянин В.П.* Основы психолингвистической диагностики. – М.: Тривола, 2000. – 248 с.
27. *Кибрик А.А.* Анализ дискурса в когнитивной перспективе. – М.: Институт языкознания РАН, 2003. – 90 с.
28. *Павлова Н.Д.* Коммуникативная функция речи: интенциональная и интерактивная составляющие. – М.: Институт психологии РАН, 2000. – 238 с.
29. *Котюрова М.П., Баженова Е.А.* Культура научной речи: текст и его редактирование. – М.: Флинта: Наука, 2008. – 280 с.
30. *Чернявская В.Е.* Интерпретация научного текста. – СПб.: Наука, 2004. – 127 с.
31. *Пиотровский Р.Г., Бектаев К.Б., Пиотровская А.А.* Математическая лингвистика. – М.: Высшая школа, 1977. – 383 с.
32. *Тулдава Ю.* Проблемы и методы квантитативно-системного исследования лексики. – Тарту: Тартуский государственный университет, 1987. – 204 с.
33. *Рябцева Н.К.* Язык и естественный интеллект. – М.: Academia, 2005. – 640 с.
34. *Караулов Ю.Н.* Русский язык и языковая личность. – М.: Наука, 1987. – 264 с.
35. *Данилевская Н.В.* Роль оценки в механизме развертывания научного текста. – Пермь: Изд-во Пермского университета, 2005. – 360 с.
36. *Комиссаров В.Н.* Теория перевода (лингвистические аспекты). – М.: Высшая школа, 1990. – 253 с.
37. *Латышев Л.К.* Технология перевода. – М.: НВИ-Тезаурус, 2000. – 280 с.
38. *Баранов А.Н.* Введение в прикладную лингвистику. – М.: Эдиториал УРСС, 2001. – 360 с.
39. *Городецкий Б.Ю.* Компьютерная лингвистика: моделирование языкового общения // Новое в зарубежной лингвистике. Вып. 24. Компьютерная лингвистика. – М.: Прогресс, 1989. – С. 5-31.
40. *Захаров В.П., Богданова С.Ю.* Корпусная лингвистика. – СПб.: СПбГУ, 2013. – 148 с.
41. *Троянская Е.С.* Обучение чтению научной литературы. – М.: Наука, 1989. – 272 с.
42. *Котюрова М.П.* Стилистика научной речи. – М.: Академия, 2010. – 240 с.
43. *Котюрова М.П., Баженова Е.А.* Культура научной речи: текст и его редактирование. – М.: Флинта: Наука, 2008. – 280 с.
44. *Чернявская В.Е.* Дискурс власти и власть дискурса: проблемы речевого воздействия. – М.: Флинта: Наука, 2006. – 136 с.
45. *Мельчук И.А.* Опыт теории лингвистических моделей «Смысл ↔ Текст». – М.: Наука, 1974. – 314 с.
46. *Апресян Ю.Д.* Идеи и методы современной структурной лингвистики. – М.: Просвещение, 1966. – 305 с.
47. *Баранов, А. Н.* Постулаты когнитивной семантики / А. Н. Баранов, Д. О. Добровольский // Известия Российской академии наук. Серия литературы и языка. – 1997. – Т. 56, № 1. – С. 11-21. – EDN PVNQRH.
48. *Демьянков В.З.* Интерпретация, понимание и лингвистические аспекты их моделирования на ЭВМ. – М.: Изд-во Московского университета, 1989. – 172 с.

RESEARCH PARADIGM OF LINGUISTIC LOGISTICS IN SCIENTIFIC AND TECHNICAL DISCOURSE

A.N. Shovgenin
MIREA – Russian University of Technology (Moscow, Russia)
shovgenin@mirea.ru

Abstract

In the context of intensified scientific and technical communication, ensuring the accuracy and efficiency of specialized information transfer is becoming increasingly important. Existing linguistic research remains fragmented and does not provide a systematic approach to managing linguistic processes in professional communication. The aim of this study is to establish the conceptual foundations of linguistic logistics as an integrative approach to optimizing the transfer of scientific and technical information. A comprehensive analysis was conducted of research carried out by Russian linguists on five key aspects of scientific and technical information transfer: terminological accuracy, semantic distortion, communicative failures, information loss, and professional communication. A solid theoretical basis for the formation of a linguistic logistics paradigm has been identified. The study demonstrates the necessity of moving from a descriptive-analytical to an applied and constructive approach in the study of professional communication. The practical significance of this research lies in highlighting the need to develop operational models for optimizing communicative processes, systems for linguistic audit, and practical tools for managing the quality of scientific and technical information transfer.

Keywords

Linguistic logistics, scientific and technical discourse, professional communication, terminological accuracy, information loss, communication failures, optimization of language processes.

УДК 81.34

PHONETIC ASPECT OF LINGUISTIC LOGISTICS OF SCIENTIFIC AND TECHNICAL DISCOURSE

A.N. Shovgenin[1], **J.I. Erkenova**[2]
[1–2] MIREA – Russian Technological University (Moscow, Russia)
[1] shovgenin@mirea.ru, [2] erkenova@mirea.ru

Abstract

Problem statement. In this paper, the authors consider linguistic logistics as a means of professional communication, information exchange, as well as one of the factors in employment and career growth. English is the language of multicultural, business and professional communication throughout the world. Specialists in various fields of business and science well understand that a high level of English proficiency is crucial for professional and career development as English is not only a means of international communication, but also a professional tool, the proficiency of which directly affects the effectiveness of professional activity [1]. But the phonetic aspect of language is still unfairly neglected and underestimated. Many English learners don't pay enough attention to English pronunciation. Students forget that a good knowledge of a foreign language includes vocabulary, grammar, and correct pronunciation as well. Improper pronunciation may contribute to misunderstandings in interpersonal and professional communication which in turn can lead to difficulties in conveying information, exchanging ideas and gaining knowledge. The main goal of acquiring correct pronunciation in a foreign language is to develop the ability not only to speak, but also to understand speech in a foreign language, so that it does not cause any difficulties with perception.

Purpose of the paper. To prove the necessity of studying the phonetic aspect of English for IT specialists. And to give practical recommendations for mastering correct pronunciation.

Practical significance. The authors of the article propose a teaching aid to improve English pronunciation for IT specialists.

Keywords

English for engineers, English for IT specialists, pronunciation, phonetics, linguistic logistics.

Аннотация на русском языке приведена в конце статьи.

Introduction

In this paper, the authors consider linguistic logistics as a means of professional communication, information exchange, as well as one of the factors in employment and career growth. Nowadays, learning foreign language is becoming a major concern in global world. English is not only a means of international communication, but also a professional tool, the proficiency of which directly affects the effectiveness of professional activity. English is the language of science, diplomacy, and tourism. Almost all international activities use English as a communication tool [2].

A high level of English proficiency is important for professionals in any field, but particularly for engineers and IT specialists, as English is the common language used by engineers to communicate their ideas, concepts and technologies across the world [3]. It is the 'First Language' or the 'Working Language' all engineers need to be able to both use and understand. Possessing good English Language skills is an indispensable means of gaining knowledge about new technologies and understanding scientific principles. For engineers from non-English speaking countries right across the world, speaking or understanding English is no longer a luxury, but an absolute necessity.

In this paper we intend to prove the necessity of studying the phonetic aspect of English for IT specialists, and to give practical recommendations for mastering correct pronunciation.

The importance of correct English pronunciation for IT professionals

The IT sector is one of the most promising in terms of career prospects and economic impact in almost every developed country. In this field, knowledge of technical English is essential.

Computer technologies continue to actively evolve, with new innovations emerging every year. International companies are constantly on the lookout for professionals who can become top-notch developers and elevate the company to new heights. Proficiency in the English language undoubtedly influences career growth and, in general, employment. The significance of technical English for IT professionals is becoming increasingly prominent.

What sets technical English apart from the general one? Primarily, it is a specialized language encompassing a vast amount of industry-specific terminology, abbreviations, and acronyms related to technologies, programming, and computer sciences.

Knowledge of technical vocabulary ensures efficiency in solving various tasks in the IT field without external assistance, such as a dictionary, ChatGPT, or a mentor.

IT Industry has given rise to many exciting career opportunities. Here are some reasons why English is crucial for IT specialists:

1. Multinational Engagement. IT companies can have a lot of clients located all over the globe and the majority of them use English as their medium of communication.

2. Software. For coding software efficiently and accurately, IT executives need to know the English language properly. Even the basic Microsoft Word is coded in English.

3. Career Advancement. To advance in your IT career, you need to be able to make presentations, negotiate with senior management and clients and perform other management related functions. All these responsibilities require the assistance of English.

4. Networking. It forms the core of an IT professional's career. Better jobs, deals, and resources open up due to networking. However, for that to happen, your social skills should be great and you should be very confident in interacting with others. English communication skills make it possible to have excellent social skills.

A good knowledge of a foreign language includes not only vocabulary and grammar, but also correct pronunciation [4]. Accurate pronunciation is a crucial part of learning English. Having incorrect pronunciation causes learners not to be understood, even if their grammar is perfect [5].

Many English learners don’t pay enough attention to English pronunciation. However, it is critical to proper communication as incorrect pronunciation inevitably leads to the recipient misinterpreting the message. Pronunciation of letter sounds in words, as well as syllable emphasis on parts of words, will frequently drastically change the words' meaning and context, irreversibly altering the meaning of the sentence being communicated. Such words as “present”, “desert” are good examples of this [6].

The main goal of acquiring correct pronunciation in a foreign language (in our case, this is English) is to develop the ability not only to speak, but also to understand speech in a foreign language, so that it does not cause any difficulties with perception.

Let's not forget about the phonetic features of the English language, namely, how to intonately design English pronunciation, which parts of a sentence are stressed and which are unstressed, etc. The effectiveness of communication requires the listener to guess the intentions of the interlocutor. In this case, the intonation of the message takes on a special role, with the help of which the speaker can express his intentions, for example, to request information or confirm it, agree or object [7].

Thus, we can conclude that pronunciation plays one of the most important roles in learning English.

Correct English pronunciation is important for professionals for several reasons:

• **clear communication**. Pronunciation affects how others perceive and understand a message. Correct pronunciation increases clarity, minimizes misunderstandings, and improves communication effectiveness;

• **professional success**. In today’s globalized world, many industries require good English communication skills. Employers value candidates who can express themselves clearly and accurately because it demonstrates professionalism and self-confidence;

• **cultural integration**. Accurate pronunciation helps you easily integrate into English-speaking communities. It helps strengthen ties with native speakers, making it easier to adapt to a new environment and build strong relationships;

• **academic advancement**. Students pursuing higher education or pursuing research benefit from accurate pronunciation. Effective communication with professors, colleagues, and publishing research papers leads to improved learning outcomes and opportunities for research collaboration;

• **access to current knowledge**. Most professional literature and all modern developments are first published in English;

• **using any tools and programs**. The necessary software may not be translated into Russian, which will cause difficulties with its use.

Pronunciation skills play a special role in ensuring successful communication in the multicultural environment of the IT industry. Correct pronunciation in English is important for technical specialists for several reasons:

• **understanding technical terms**. The IT industry uses a lot of technical terms and slang. It is important to remember the correct pronunciation and meaning of these words;

• **professional speech**. When words are pronounced correctly, speech sounds more professional, especially in a work environment;

• **effective communication**. Correct pronunciation helps system analysts communicate effectively with colleagues and clients, as well as solve technical problems.

Thus, correct pronunciation in English helps technical specialists in their professional activities, allowing them to better understand, communicate and gain current knowledge.

Linguistic foundations of English pronunciation for information technology specialists

In the practice of teaching foreign languages, the choice of a pronunciation model has an important methodological significance. For English, two main models are traditionally used - British (RP) and American (GA), although in recent decades more and more attention has been paid to other variants and the concept of international English [8].

It is important to understand that the pronunciation norm is not static, it is constantly evolving under the influence of social, cultural and technological factors. Modern approaches to teaching pronunciation are not focused on achieving an "ideal" accent, but on developing phonetic competence that ensures effective communication in the appropriate contexts.

For IT students, familiarization with the diversity of pronunciation norms has practical value, since in their professional activities they will have to interact with native speakers of different varieties of English. Understanding the pronunciation features of an interlocutor and the ability to adapt one's own speech depending on the communicative situation are becoming important professional skills in the globalized IT industry.

In the teaching aid "Linguistic foundations of English pronunciation for information technology specialists: theory, practice, research approaches" the authors focus on the British Pronunciation Standard (RP) as the most traditional model for teaching English in the Russian educational system. However, the materials and exercises provided can be adapted to work with other pronunciation variants depending on the specific needs of the students and the educational context.

Received Pronunciation (RP), also known as the Queen's English or BBC English, is a standard form of British English pronunciation. It's a regionally neutral accent traditionally associated with educated speakers in southern England and the educated middle and upper classes.

Key Characteristics of Received Pronunciation (RP):

• **neutral accent**: RP aims to avoid specific regional pronunciations, making it a widely understood form of British English;

• **standard English**: RP speakers use Standard English grammar and vocabulary, avoiding non-standard forms.

• **historical significance**: in the past, RP was highly valued and often seen as a mark of education, associated with public schools and higher education institutions.

This article does not provide a detailed description of the features of RP English. Let us just say that this version of the language has some features, both in the pronunciation of vowels and consonants, and in the intonation of sentences.

Technical terminology in the field of information technology presents a special phonetic challenge even for experienced English language learners. Many IT terms contain unusual combinations of sounds that are not typical for students' native languages and require special attention when practicing pronunciation.

A distinctive feature of the above proposed teaching aid is its interdisciplinary nature, combining the achievements of theoretical and applied phonetics, corpus linguistics, cognitive science and methods

of teaching foreign languages. This approach allows not only to form practical pronunciation skills, but also to develop phonetic competence based on a conscious understanding of phonetic phenomena and their role in professional communication.

In their teaching aid, the authors examine the most complex phonetic patterns found in the professional vocabulary of IT specialists and offer strategies for mastering them.

English allows for much more complex consonant clusters than Russian, which is clearly evident in technical terminology. Polysyllabic terms, so common in the IT field, present a particular challenge due to the need for correct stress distribution and reduction of unstressed vowels. Particular attention should be paid to compound terms, in which the stress may shift depending on the context.

Intonation patterns in RP are diverse and expressive. A downward tone is typically used for statements, commands, and informational questions, which is especially noticeable in technical presentations and explanations of algorithms. An upward tone is used for inquiries, requests, and questions requiring confirmation, which is often found in the context of discussing software requirements or clarifying technical details. The correct use of intonation is critically important for effective communication in international IT projects, where the accuracy of information transmission directly affects the outcome of work.

Speech coherence is another important prosodic characteristic of RP, which manifests itself in the smooth connection of words in the flow of speech. This effect is achieved through various phonetic processes: assimilation, elision and binding.

To master these aspects, it is recommended to regularly practice pronouncing technical terms in the context of full sentences and professional discussions.

To effectively overcome the described phonetic difficulties, a systematic approach is recommended:

- listening to authentic technical presentations, podcasts, and conference presentations with a focus on problematic sounds and intonation patterns;
- pronunciation practice using minimal pairs specific to the IT context, for example: code/coat, bug/bag, site/sight, scale/skill;
- regular recording of one's own speech when explaining technical concepts, followed by analysis and correction of identified errors;
- using and paying attention to transcriptions, accents, intonation patterns while learning new technical terms;
- working with phonetic applications that provide pronunciation feedback, especially for difficult sounds such as /θ/, /ð/, /w/, /ŋ/.

A systematic work on overcoming typical phonetic errors not only improves the intelligibility of speech, but also significantly enhances the professional image of an IT specialist in the international environment. Investing time and effort into improving the pronunciation of technical vocabulary pays off by improving career prospects and efficiency in global projects where accurate communication is a crucial success factor.

Conclusion

The teaching aid “Linguistic basics of English pronunciation for information technology specialists” includes a number of versatile exercises to train and consolidate various aspects of the phonetics of the English language. In addition to exercises aimed at mechanical repetition and memorization, the teaching aid contains a large array of exercises of a creative and research nature.

For each section of the basic English textbook for second-year IT students, a section in the above mentioned teaching aid has been developed with tasks such as sound recognition and pronunciation practice; training of some challenging for Russian students sounds; word-stress mastering; pronunciation of abbreviations; mastering intonation patterns for presentations.

Besides, students are encouraged to delve deeper into phonetics by submitting research works such as creating a mini-corpus of IT terminology; acoustic analysis of pronunciation of international IT terms; research of cognitive aspects of perception of IT terminology.

Such exercises are designed not only to increase students' interest in learning English in general and phonetics in particular, they also help to develop students' creative potential, develop and improve research skills, and teach them how to analyze data and draw conclusions. As teachers of the humanities, we consider the above-mentioned skills to be fundamental for the specialists of any sphere.

References

1. Chuvashova A.D. Professional English for engineering students: relevance and importance of the course. Bulletin of the South Ural State University. Ser. Education. Educational Sciences. 2018, vol. 10, no. 4, pp. 87–98. DOI: 10.14529/ped180411.
2. *Muhammad Sulthan Rafi Abrari* Reasons why English is Important for Engineering Students. Sepuluh Nopember Institute of Technology, September 2021, https://www.researchgate.net/publication/354714015, accessed 28 May 2025.
3. *Nadhifah Dini Shabrina* The Importance of English for Engineering Students. September 2021. Department of electrical engineering faculty of intelligent electrical and informatics technology. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. September 2021. https://www.researchgate.net/publication/354792716, accessed 28 May 2025.
4. *Shuraeva Z.A.* Improving the phonetic aspect of foreign language speech of primary school students: Final qualifying work. 2023. Pp. 83. https://lib.rucont.ru/efd/840344, accessed 03 June 2025.
5. *Kobilova N.R.* Importance of pronunciation in English language communication. Academic Research in Educational Sciences, Volume 3, Issue 6, 2022. Pp. 592-597.
6. *Abramova I.E.* Mastering the pronunciation norm of a foreign language outside the natural language environment. Flinta Publisher. November 2018. Pp. 223.
7. *Karmanov I.A.* Pronunciation and its role in English language. Young scientist. 2016. № 25 (129). Pp. 688-690. https://moluch.ru/archive/129/35773/, accessed 28 May 2025.
8. *Abramova I.E.* Phonetic variability in conditions of artificial bilingualism and its perception by native speakers. Bulletin of St. Petersburg State University. Language and literature. 2009. №2-2. https://cyberleninka.ru/article/n/foneticheskaya-variativnost-v-usloviyah-iskusstvennogo-bilingvizma-i-ee-vospriyatie-nositelyami-yazyka, accessed 01 May 2025.

ФОНЕТИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ЛИНГВИСТИЧЕСКОЙ ЛОГИСТИКИ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ДИСКУРСА

А.Н. Шовгенин[1], **Д.И. Эркенова**[2]
МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия)
[1] shovgenin@mirea.ru, [2] erkenova@mirea.ru

Аннотация

Актуальность. В данной работе авторы рассматривают лингвистическую логистику как средство профессионального общения, обмена информацией, а также один из факторов трудоустройства и карьерного роста. Английский язык является языком мультикультурного, делового и профессионального общения во всем мире. Специалисты в различных областях бизнеса и науки хорошо понимают, что высокий уровень владения английским языком имеет решающее значение для профессионального и карьерного роста, поскольку английский язык является не только средством международного общения, но и профессиональным инструментом, владение которым напрямую влияет на эффективность профессиональной деятельности. Однако фонетическая сторона языка по-прежнему несправедливо игнорируется и недооценивается. Многие изучающие английский язык не уделяют должного внимания английскому произношению. Студенты забывают, что хорошее знание иностранного языка включает в себя словарный запас, грамматику и правильное произношение. Неправильное произношение может способствовать недопониманию в межличностном и профессиональном общении, что в свою очередь может привести к трудностям в передаче информации, обмене идеями и получении знаний. Основная цель овладения правильным произношением на иностранном языке – развить навык не только говорить, но и понимать речь на иностранном языке.

Цель исследования. Доказать необходимость изучения фонетического аспекта английского языка для IT-специалистов. И дать практические рекомендации по овладению правильным произношением.

Практическая значимость. Авторы статьи предлагают учебное пособие для обучения правильному английскому произношению специалистов в сфере ИТ.

Ключевые слова

Английский для инженеров, английский для ИТ специалистов, английский для специалистов в сфере информационных технологий, английское произношение, фонетика, лингвистическая логистика.

УДК 81’322.4

ЛИНГВИСТИЧЕСКАЯ ЛОГИСТИКА В ЮРИДИЧЕСКОМ ПЕРЕВОДЕ НА ПРИМЕРЕ ПАТЕНТНОЙ ТЕРМИНОЛОГИИ АНГЛО-АМЕРИКАНСКОГО И РОССИЙСКОГО ПРАВА

Н.В. Ялаева[1], **Н.В. Садыкова**[2]
[1]МИРЭА - Российский технологический университет (Москва, Россия), [2] УрГЮУ – Уральский Государственный Юридический Университет имени В.Ф. Яковлева (Екатеринбург, Россия)
[1] yalaeva-nv@mail.ru, [2] nine999@list.ru

Аннотация

Статья посвящена исследованию лингвистической логистики в юридическом переводе на материале патентной терминологии англо-американской и российской правовых систем. Особое внимание уделяется вопросу терминологической асимметрии — несоответствию понятийного содержания, функции и юридического статуса терминов, формально выглядящих как эквиваленты. В фокусе анализа — специфические трудности, возникающие при переводе ключевых понятий, не имеющих прямых аналогов в российской право системе.

Методологическая база включает сравнительный юридический и лингвистический анализ, сопоставление текстов нормативных актов, двуязычные юридические словари, специализированные корпуса патентных текстов (USPTO, Роспатент), а также оценку инструментов автоматизированного и машинного перевода.

Проведённое исследование подтверждает, что эффективный юридический перевод невозможен без учёта как правовой, так и языковой систем, между которыми осуществляется перевод. Концепт лингвистической логистики предлагается как методологический инструмент, обеспечивающий оптимальное согласование терминосистем, опираясь на принцип функциональной эквивалентности.

Работа имеет как теоретическое значение — в области сравнительной юридической терминологии и лингвистики перевода, так и практическую значимость для специалистов, занимающихся патентным правом, переводчиков, студентов-юристов, а также разработчиков интеллектуальных систем автоматического перевода.

Ключевые слова

Юридический перевод, патентное право, терминологическая асимметрия, функциональная эквивалентность, лингвистическая логистика.

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Перевод юридических текстов сопряжен с многочисленными трудностями, особенно в области терминологии. Юридические термины встроены в концептуальные рамки соответствующих правовых систем. Поэтому, когда правовые системы различаются - как в случае с российским и англо-американским правом, - их терминология неизбежно будет отражать эти различия. Это влияет не только на формирование терминов, но и на их содержание, категоризацию и функции.

Более того, поскольку термины являются языковыми единицами, они также должны соответствовать правилам своей языковой системы. Таким образом, перевод юридической терминологии требует тщательного учета как правовой, так и языковой систем, каждая из которых имеет свою собственную природу.

Цель работы – в рамках лингвистической логистики перевода терминов, связанных с патентами, используемых в англо-американской и российской правовых системах и взяв за основу труды в области юридической терминологии и перевода, в частности исследования К.М. Левитана [1], В.В. Пикаловой [2], Я.И. Рецкер [3] и А.А. Лебедевой [4] выявить лингвистические и правовые проблемы, связанные с соответствием их терминологических значений.

Методы

В данном исследовании используется сравнительная юридико-лингвистическая методология, сочетающая в себе:

текстовый анализ английского и российского законодательства (например, ГК РФ [5], Договор о патентной кооперации 1970 года (Patent Cooperation Treaty, PCT [6]), Соглашение о применении статьи 65 Конвенции о выдаче европейских патентов [7]);

обзор лингвистических стратегий;

терминологическое сопоставление с использованием двуязычных юридических словарей и переводческих корпусов.

Авторы используют сравнительный анализ корпуса англоязычных и русскоязычных патентных текстов, включая патенты, поданные в Ведомство по патентам и товарным знакам США (USPTO) и Федеральную службу по интеллектуальной собственности России (Роспатент). Ключевая терминология была извлечена с помощью программного обеспечения для лингвистики юридических корпусов (AntConc и Sketch Engine), а термины были перекрестно сопоставлены с авторитетными юридическими словарями [8, 9] и базами данных (например, WIPO Pearl, Linguee, Termium Plus). Кроме того, оценивались платформы машинного перевода (например, DeepL и Google Translate) и инструменты компьютерного перевода (CAT) (например, SDL Trados и Memsource), чтобы понять, как цифровые решения учитывают или не учитывают лингвистическую логистику.

Результаты

Анализ выявил три категории терминов, связанных с патентами, которые представляют особые трудности при переводе:

Системно-связанные термины: Они глубоко укоренились в правовой системе одного языка и не имеют прямого эквивалента [10]. Например, английский термин “provisional application” не имеет краткого русского аналога и обычно требует пояснительного перевода типа «это документ, защищающий новое изобретение от копирования в течение 12-месячного периода до подачи официальной заявки на патент».

Функционально эквивалентные термины: Слова, выполняющие сходные юридические функции, но отличающиеся по форме. Например, английский термин «claims» в патентных документах функционально соответствует русской «формуле изобретения», хотя лексически не эквивалентен.

«Ложные друзья переводчика» - термины, которые кажутся похожими, но различаются по юридическому значению. Так, например, английское «specification» и русское «спецификация» могут выглядеть аналогично, но русский термин часто относится к техническим спецификациям, а не к описательной части патента, как в английском праве.

Таблица 1. Сравнительный анализ американо-российских терминов патентного права на основе глоссария PCT – международной патентной системы

	Термин (англ. яз.)	**Термин (русск. яз.)**	**Определение (англ. яз.)**	**Определение (русск. яз.)**	**Тип эквивалентности**	**Примечание**
1.	Designated state	Указанное государство	A Contracting State indicated in the international application in which protection for the invention is sought.	Договаривающееся государство, указанное в международной заявке, в котором испрашивается охрана изобретения	Точная (PCT)	Согласованный термин
2.	Patent Agent	Патентный агент	A person authorized to act on behalf of an applicant before a national office or PCT authority	Лицо, имеющее право на ведение дел в национальном ведомстве или органе PCT от имени заявителя	Точная (PCT) Частичная (международная)	Патентный поверенный более широкое понятие и соотносится с термином Patent Attorney
3.	Patent Attorney	Патентный поверенный	A lawyer registered to practice before the USPTO.	лицо, осуществляющее деятельность по охране ИС, зарегистрированное в установленном порядке.	Частичная	Выполняет функции как agent и attorney в России

4.	Design Patent	Патент на промышленный образец	Patent for ornamental design on a manufactured article	Охраняется решение внешнего вида изделия	Относительно точная	Требует уточнения в связи с процессуальными различиями
5.	Right of Attribution	Право авторства	Right to be mentioned as inventor	Право признаваться автором изобретения	Частичная	Более широкое правовое значение в России; ограниченное применение в патентном праве США
6.	Provisional Application	Предварительная заявка	U.S.-only patent application type that establishes early filing.	-	Отсутствует	Нет соответствия в русском языке.
7.	Patentability	Патентоспособность / Охраноспособность	Meeting legal requirements for patent grant	Совокупность свойств для признания изобретения (патентоспособность); термин для оценки селекционных достижений (охраноспособность)	Один термин означает ряд других терминов	Требуется дифференциация перевода с учетом контекста
8.	Utility	Промышленная применимость	Patent must have some usefulness	Patent must have some usefulness	Частичная	Американский термин utility шире, чем Российский термин applicability
9.	Utility Model Patent	Патент на полезную модель	Technical solution related to a device, no inventive step required	Техническое решение, относящееся к устройству	Отсутствует	Не выдается в США; лучше всего переводится как «патент на полезную модель» согласно Всемирной организации Интеллектуальной Собственности
10.	Apparatus Claim	Формула изобретения на устройство	Claim defining invention by structure.	-	Отсутствует	Используется в патентных заявках США

Заключение

Результаты проведённого исследования указывают на системную проблему юридического перевода: даже в относительно гармонизированных отраслях, таких как патентное право, сохраняется устойчивая терминологическая асимметрия. Формально эквивалентные термины нередко различаются по юридическому статусу, функции и контексту применения, что затрудняет точную межъязыковую передачу правовых понятий.

В данной связи особое значение приобретает лингвистическая логистика — научное направление, ориентированное на оптимизацию языковой интерпретации и адаптации юридических терминов в межсистемной коммуникации. Эффективный перевод требует ориентации не на буквальный эквивалент, а на функциональную эквивалентность, отражающую суть правовой категории в иной правовой системе.

Таким образом, перевод юридических текстов требует не только лингвистической, но и юридической компетентности, обеспечивающей точную навигацию между различными правовыми и языковыми системами.

Список источников

1. *Левитан, К. М.* Юридический перевод / К. М. Левитан. – 2-е издание, переработка. – Москва : Редакционно-издательское объединение "Новая юстиция", 2022. – 378 с. – ISBN 978-5-4365-9565-8. – EDN UUAOKO.
2. *Pikalova V. V.* Possible Translation Options for the Titles of Individuals Administering the Debtor’s Assets in Insolvency and Bankruptcy Proceedings under English Law // Legal Science in China and Russia. 2025. Vol. 7. pp. 152-156..
3. *Рецкер Я. И.* Теория перевода и переводческая практика : очерки лингвистической теории перевода /дополнения и комм. Д. И. Ермоловича. — 3-е изд. — М. : Р. Валент, 2007. — 244 с. 2
4. *Лебедева А. А., Новикова М. Г.* К вопросу о проблемах корректной передачи семантической конфигурации юридических терминов на другой язык // Ученые записки национального общества прикладной лингвистики. — 2022. — № 3 (39). — С. 17—28.
5. Гражданский кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс] : [принят Государственной Думой 21 октября 1994 года] : основной акт (кодекс) о гражданском праве. — Режим доступа: https://base.garant.ru/12162827/. Дата доступа: 18.05.2025.

6. Patent Cooperation Treaty (PCT). WIPO. Retrieved 19 June 2020. Done at Washington on June 19, 1970, amended on September 28, 1979, modified on February 3, 1984, and on October 3, 2001, [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.wipo.int/wipolex/en/text/288637. Дата доступа: 18.05.2025.
7. London Agreement, entered into force 1.05.2008.[Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.ippt.eu/legal-texts/london-agreement. Дата доступа: 18.05.2025.
8. Англо-русский и русско-английский юридический словарь / К. М. Левитан, О. А. Одинцова, С. В. Павлова [и др.]. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью "Проспект", 2024. – 512 с. – ISBN 978-5-392-40769-9. – EDN KPPWWT.
9. Англо-русский юридический словарь = English-Russian law dictionary [Текст] = English-Russian law dictionary : около 50000 терминов / С. Н. Андрианов, А. С. Берсон, А. С. Никифоров. - Москва : РУССО, 2003. - 509 с.;
10. Английский язык для юристов : Учебник / К. М. Левитан, С. В. Павлова, М. С. Пестова [и др.]. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью "Издательство "КноРус", 2023. –с 407.

LINGUISTIC LOGISTICS IN LEGAL TRANSLATION ON THE EXAMPLE OF PATENT TERMINOLOGY OF ANGLO-AMERICAN AND RUSSIAN LAW

N.V. Yalaeva[1], **N.V. Sadykova**[2]
[1] MIREA - Russian University of Technology (Moscow, Russia), [2] USLA – Ural state University named after V.F. Yakovlev (Yekaterinburg? Russia)
[1] yalaeva-nv@mail.ru, [2] nine999@list.ru

Abstract

This paper examines the concept of linguistic logistics in legal translation, focusing on patent terminology within the Anglo-American and Russian legal systems. Special attention is given to the issue of terminological asymmetry, the divergence in conceptual content, legal function, and status of terms that may appear formally equivalent. The analysis centers on the specific challenges encountered when translating key patent-related concepts that lack direct analogues in the Russian legal system.

The methodological framework combines comparative legal and linguistic analysis, including the examination of legal texts, bilingual legal dictionaries, specialized patent corpora (e.g., USPTO and Rospatent), and the evaluation of automated and computer-assisted translation tools.

The findings confirm that effective legal translation requires a nuanced understanding of both the legal and linguistic systems involved. The paper introduces the concept of linguistic logistics as a methodological tool for harmonizing term systems through the principle of functional equivalence, rather than literal translation.

This study holds both theoretical relevance—in the domains of comparative legal terminology and translation linguistics—and practical value for professionals in patent law, legal translators, law students, and developers of intelligent translation technologies.

Keywords

Legal translation, patent law, terminological asymmetry, functional equivalence, linguistic logistics.