



МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ПРИВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ»

НИЖЕГОРОДСКИЙ ИНСТИТУТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ

Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Приволжский государственный университет путей сообщения»
(НИПС - филиал ПривГУПС)



**Материалы V Всероссийской студенческой
научно-практической конференции**

**«ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАДИОСВЯЗИ
НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ»**

22 мая 2026 года

Нижний Новгород

ББК 63.3
УДК 355(470).03

**«ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАДИОСВЯЗИ
НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ»:** материалы V Всероссий-
ской студенческой научно-практической конференции 22 мая 2026 г.– Н. Нов-
город. 2026 г. – стр.

Ответственность за аутентичность и точность цитат, имен, названий и иных сведений, а также за соблюдение законов об интеллектуальной собственности несут авторы публикуемых материалов. Тексты статей публикуются в авторской редакции.

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1. Радиотехника: теория и приложения

Барина В.Е., Илатовская Е.А., Гаврилова О.И. Радиолокация на ЖД: как радар видит состав в тумане и метели	5
--	---

Секция 2. Телекоммуникации на железнодорожном транспорте. Радиосвязь на железнодорожном транспорте

Барина В.Е., Витебская А.А., Гаврилова О.И. Применение системы электронной передачи идентификаторов ЗПУ в каналах технологической радиосвязи для обеспечения сохранности грузов при перевозке	10
Бирюкова С.И., Курнакин Р.А. Технологические системы связи на железной дороге	15
Воронцов Н.В., Завьялова С.В. Предложение, разработка и оценка симуляционной модели системы радиосвязи	19
Воронцов Н.В., Кущенко Л.С. Роль радиосвязи на железнодорожном транспорте в годы Великой Отечественной войны	24
Воронцов Н.В., Хорошайлова И.Г. Анализ систем радиосвязи на железнодорожном транспорте	29
Воронцов Н.В., Хусяинов Р.У. Адаптивная многоканальная модуляция радиосвязи	34
Елишина А.В., Дмитриева Т.Ф. Построение радиорелейной системы передачи данных на малодеятельном участке Кругобайкальской железной дороги	39
Захарова А.С., Гаврилова О.И. Порядок организации приема и отправления поездов, в том числе на участках, оборудованных системой телеуправления	43
Золотков А.А., Горшунова А.А., Акимова Г.Н. Радиосвязь на железной дороге: связь между машинистом и диспетчером (ДСП)	48
Козлова А.Н., Лиманская С.С. Развитие инфокоммуникационной среды вокзала	53
Уколов И.А., Кущенко Л.С. Радиосвязь для путевых бригад- обеспечение безопасности при ремонтных работах	59
Хапин А.А., Стоянова О.Ф. Перспективы развития и использования радиосвязи на железнодорожном транспорте	62
Широкова К.М., Малютин Д.И. Железнодорожная связь как важная часть перевозочного процесса	65

Секция 3. История развития радиотехники, электроники и связи

Барина В.Е., Гаврилова О.И. Как диспетчер управлял поездами без компьютера: эра кодовых рельсовых цепей	68
--	----

Бирюкова С.И., Праздничных П.А. История инноваций в радиотехнике и электросвязи	72
Витебская А.А., Гаврилова О.И. История развития железнодорожной связи	78
Ефимова В.А., Гаврилова О.И. История развития радиотехники, электроники и связи: от первых открытий до современных телекоммуникационных систем	82
Зеленцов Д.А., Аббасов Руслан Ариф Оглы, Акимова Г.Н. История развития радио в Нижнем Новгороде	88
Красильникова Е.Д., Малофеева Е.А., Гаврилова О.И. Эволюция средств связи на транспорте: железнодорожная отрасль	91
Кшукин М.А., Гаврилова О.И. История раций	95
Саяпин В.М., Липчанская Н.Г. Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС)	99
Параскевопуло Д.Я., Горобец Д.Г. История создания первой магистральной волоконно-оптической сети на базе железных дорог России (1993–2001 гг.)	103
Поташев Д.П., Куценкова Л.С. Первые системы радиосвязи на железных дорогах СССР (1930-50-е гг.): технические решения и инженерные прорывы	106
Прибыш Р.М., Куценкова Л.С. Развитие электроники	111
Саркисян А.М., Бондаренко А.И., Акимова Г.Н. Лосев Олег Владимирович: учёный, опередивший время	115
Сысокин А.В., Куценков Л.С. Будущее электроники: новые горизонты и вызовы	119
Ударцев М.В., Батанова С.Ю. От электромагнитных волн к цифровым технологиям	122
Шальнов А.С., Стоянова О.Ф. Вклад нижегородской научной школы радиотехники в развитие отечественных систем связи	127

Секция 4. Цифровая обработка сигналов. Системы передачи информации

Ефимова В.А., Гаврилова О.И. Цифровая обработка сигналов и современные системы передачи информации на железнодорожном транспорте	132
Золотков А.А., Куценкова Л.С. Кибербезопасность радиоканалов в системах автоведения и диспетчерской централизации	137
Сергиенко А.В. Цифровая обработка сигналов в системах железнодорожной радиосвязи: современные методы и перспективы развития	143
Филина К.М., Тощев А.К. Технология WDM и ее разновидности используемые на железнодорожном транспорте	148
Хрупков Д.А., Стоянова О.Ф. Применение методов цифровой обработки сигналов в системах радиосвязи на железнодорожном транспорте	151

Секция 1. Радиотехника: теория и приложения

Радиолокация на ЖД: как радар видит состав в тумане и метели

*Баринова Виктория Евгеньевна,
Илатовская Екатерина Алексеевна,
студенты*

*Гаврилова Ольга Ивановна,
преподаватель*

*НИПС филиал ПривГУПС,
г. Нижний Новгород, Российская Федерация*

Аннотация: В статье рассматривается применение сантиметровых радаров для определения свободности железнодорожного пути в сложных метеоусловиях, таких как туман, снегопад и метель. Показано, что оптические системы теряют эффективность из-за рассеяния излучения на гидрометеорах, тогда как радиоволны СВЧ-диапазона сохраняют способность к распространению. Описан принцип работы радара «излучил — принял — обработал», обсуждается физика взаимодействия радиосигнала с осадками и железнодорожным составом, а также методы фильтрации помех с использованием эффекта Доплера. Приводятся рассуждения о границах применимости метода и факторах, снижающих надежность детектирования.

Ключевые слова: радиолокация, железнодорожный транспорт, СВЧ-радар, определение свободности пути, сложные метеоусловия, эффект Доплера, обработка сигналов.

Видеокамеры и лидары — основа систем технического зрения на железнодорожном транспорте. Но их эффективность резко падает при ухудшении погоды. Туман, снегопад или метель приводят к сильному рассеянию оптического излучения на взвешенных частицах воды или льда. Дальность обнаружения объектов сокращается с сотен метров до десятков или даже единиц метров. Проще говоря: машинист или автоматическая система просто не видят препятствие вовремя. Возникает естественный вопрос: на каком физическом принципе можно детектировать состав или препятствие, когда свет не проходит сквозь толщу осадков? Ответ — радиолокация, основанная на электромагнитных волнах сантиметрового диапазона.

Различие между радиолокационными и оптическими системами локализации определяется используемой рабочей длиной волны. Оптические системы, такие как камеры и лидары, работают в видимом или ближнем инфракрасном диапазоне электромагнитного спектра с длинами волн от 0,4 до 1,5 мкм. Размеры атмосферных частиц, в частности капель тумана (5–50 мкм) и снежинок (от сотен микрометров до миллиметров), сопоставимы с указанными длинами

волн. С физической точки зрения это приводит к возникновению резонансного рассеяния, при котором частица эффективно пере излучает энергию падающего на неё излучения, что обуславливает быстрое затухание сигнала. В отличие от оптических систем, радары работают в микроволновом диапазоне, как правило, используя длины волн от 1 до 10 см. На таких длинах волн такие объекты, как капли тумана или снежинки, воспринимаются как значительно более мелкие частицы. Благодаря такому соотношению размеров электромагнитная волна взаимодействует с большинством этих частиц путем дифракции, огибая их, или проходит сквозь них с минимальными энергетическими потерями. Следовательно, коэффициент ослабления радиосигнала в тумане на несколько порядков ниже, чем у света. Тем не менее важно отметить, что абсолютно прозрачной для радиоволн среды не существует. В условиях очень сильной метели или ливневых дождей радиосигнал все же ослабевает. Однако это проявляется в постепенном сокращении рабочей дальности, а не в полной и внезапной потере функциональности, как в случае с оптическими системами. На практике это означает, что если в ясную погоду радиолокационная система способна обнаружить объект на расстоянии 800 метров, то при сильной метели это расстояние может сократиться до 300–400 метров, но не до полного исчезновения из поля зрения.

Базовая схема работы любого импульсного радара описывается тремя последовательными действиями: «излучил — принял — обработал». При излучении передатчик формирует короткий мощный импульс электромагнитной энергии и направляет его через антенну в сторону исследуемого участка пути. Длительность импульса обычно составляет наносекунды или микросекунды. При приеме отраженный сигнал возвращается к радару. Если на пути нет объектов, кроме рельсов и балласта, отражение минимально — это фон. Если на пути стоит состав или иное препятствие, металлическая поверхность эффективно отражает радиоволны. Приемник фиксирует факт возврата сигнала и его амплитуду. На этапе обработки процессор измеряет время между моментом излучения и моментом приема отраженного сигнала. Поскольку скорость распространения радиоволн известна (скорость света), расстояние до объекта вычисляется по формуле: $R = \frac{c \cdot \Delta t}{2}$, где Δt — задержка, а деление на два необходимо, так как сигнал проходит путь до цели и обратно. На этом простом принципе построены все радиолокационные дальнометры [3 - 4].

Во время метели наблюдается отражение радиосигнала от снежных частиц. Это приводит к тому, что на приемном устройстве регистрируются не только сигналы от целевого объекта, но и многочисленные слабые эхосигналы от снежных осадков. Следовательно, ключевой задачей обработки данных является отделение полезного сигнала от помех.

Основной метод борьбы с помехами от гидрометеоров основан на эффекте Доплера. Суть эффекта в том, что частота отраженного сигнала изменяется, если объект движется относительно радара. Величина изменения зависит от радиальной скорости объекта. Состав движется вдоль железнодорожного пути. Его радиальная скорость равна полной скорости, либо нулю. В любом

случае движение состава упорядоченное и достаточно медленное по сравнению со скоростью света. Снежинки, напротив, движутся хаотично. В метель они переносятся ветром, падают под действием силы тяжести, кружатся. Их радиальные скорости распределены в широком диапазоне и быстро меняются от импульса к импульсу. Современные радары выполняют спектральный анализ отраженного сигнала. На входе имеется смесь полезного сигнала, исходящего от состава и помехи от снега. Во временной области их разделить трудно, но в частотной области картина иная: полезный сигнал дает узкий пик на доплеровской частоте, соответствующей скорости состава, тогда как помеха от снега дает широкий «холм». Алгоритм обработки вычитает широкополосную составляющую или просто игнорирует сигналы, чья частота меняется слишком быстро. На практике это называется череспериодной компенсацией: из текущего сигнала вычитается предыдущий — всё, что быстро меняется (снег), удаляется, а стационарная или медленно меняющаяся компонента (состав) остается [3, стр. 112].

В специализированном руководстве по эксплуатации радиолокационных станций (РЛС) и систем автоматической радиолокационной прокладки (САРП) освещаются сопоставимые методы доплеровской фильтрации, применяемые для детектирования движущихся объектов на фоне интерференционных помех, а также для осуществления полноценного радиолокационного наблюдения. [5, стр. 4–6].

Несмотря на эффективность, радиолокационный метод имеет ограничения, которые важно знать для корректной эксплуатации. Налипание мокрого снега на антенну — одна из самых частых практических проблем. Антенна радара закрыта радиопрозрачным обтекателем. При метели мокрый снег может налипать на этот обтекатель, а затем замерзать, образуя корку льда. Вода и лед поглощают СВЧ-излучение, сигнал ослабевает настолько, что радар перестает видеть даже близкие объекты. Решение является электрический подогрев обтекателя, поддерживающий температуру выше нуля. При очень интенсивном дожде (более 50 мм в час) возникает иная проблема — сплошная водяная завеса. Хотя капли по-прежнему меньше длины волны, их суммарная концентрация становится настолько высокой, что ослабление сигнала становится значительным, хотя дальность обнаружения падает, но не до нуля. Кроме того, человек или автомобиль на путях отражает радиоволны значительно слабее, чем поезд. Обнаружение малогабаритных препятствий в метель — более сложная задача, требующая увеличения мощности или применения специальных режимов обработки. Стоит также упомянуть, что рельсовые цепи (индуктивные датчики) хорошо работают в любую погоду, но они требуют электрического контакта колес и не видят негабаритные объекты вроде автомобиля, застрявшего на переезде. Таким образом, радар занимает свою нишу: он работает там, где бессильна оптика, и видит то, что не видят рельсовые цепи [2, стр. 279–280].

Разработка специализированных радиолокационных систем обусловлена необходимостью решения задач маневрирования на железнодорожном

ходу, требующих высокой надёжности функционирования в любых погодных условиях. Использование радаров миллиметрового диапазона в сочетании с передовыми методами обработки сигналов, включая разреженное представление данных, обеспечивает повышение углового разрешения и надёжную дифференциацию железнодорожных составов, расположенных на смежных путях. Полученные экспериментальные данные демонстрируют, что применение данного подхода позволяет достигать углового разрешения, превышающего $0,8^\circ$, а также однозначно определять количество занятых путей [1, стр. 85–86, 92–93].

На основании проведенного анализа представляется возможным сформулировать ряд гипотез, касающихся функционирования радиолокационных систем в условиях метели. Первая гипотеза заключается в том, что показатели отражательной способности снежинок не демонстрируют универсальности: диэлектрическая проницаемость данных частиц изменяется в зависимости от температуры и относительной влажности окружающей среды. В условиях приземного атмосферного слоя, когда температура приближается к 0°C , на поверхности снежинок может формироваться тонкий слой воды. Данное явление приводит к значительному увеличению их отражательной способности в сравнении с состоянием «сухого» снега, наблюдаемым, например, при температурах порядка -15°C . Следовательно, при одинаковой номинальной интенсивности снегопада может наблюдаться различная степень маскировки объектов, что непосредственно коррелирует с преобладающими температурными параметрами. В связи с этим представляется целесообразным модифицировать алгоритм обнаружения, реализуя динамическую адаптацию порогового значения, основываясь на показаниях внешнего термометрического датчика. Второй аспект исследования касается характера движения снежинок, которое не может быть описано как исключительно хаотичное. В частности, крупные снежные хлопья демонстрируют статистически значимую среднюю скорость падения, которая находится в диапазоне приблизительно $0,5\text{--}1\text{ м/с}$. Подобное направленное движение приводит к систематическому сдвигу доплеровского спектра, формируемого фоновыми помехами. Это, в свою очередь, может быть ошибочно интерпретировано как эхо-сигнал от слабоподвижного объекта. Предполагается, что регулярная калибровка радиолокационной системы с применением стационарного эталонного отражателя (например, элемента рельсового полотна) перед началом каждого рабочего сеанса позволит эффективно компенсировать данную систематическую составляющую, что, по всей вероятности, приведет к улучшению селективности обнаружения. Третий аспект затрагивает зависимость эффективного поперечного сечения рассеяния малогабаритных объектов, в частности, человека, находящегося на железнодорожных путях, от угла наблюдения. При наличии тумана или метели, значительная часть радиоволновой энергии рассеивается на частицах воды и снега, формируя эффект, известный как «объемное обратное рассеяние». Объект, например, человек, расположенный в области объемного рассеяния, может быть необнаружим посредством анализа амплитудного канала радиолокатора.

Тем не менее, существует возможность его детектирования на основе анализа фазовых флуктуаций, обусловленных физиологическими процессами, такими как сердечная деятельность или дыхание. Однако практическая реализация данного режима обнаружения требует применения генераторов с исключительно высокими показателями стабильности, а также обеспечения значительных интервалов накопления сигнала, продолжительность которых может составлять несколько секунд.

Исследуя рассмотренные физические принципы, можно утверждать, что СВЧ-радиолокация является обоснованным методом контроля железнодорожного пути в сложных метеоусловиях. Отличие длин волн радара и оптических систем приводит к тому, что туман и снегопад не являются критическими препятствиями для распространения радиосигнала. Процедура «излучил — принял — обработал» реализуется в радаре с использованием доплеровской фильтрации, которая позволяет отделить полезный сигнал от движущегося состава от хаотичных отражений от снежинок. При этом важно учитывать практические ограничения (налипание снега на обтекатель, сильный ливень), которые снижают надежность, но не делают метод бесполезным.

Список литературы

1. Вишневский В.М., Гавриленко В.В., Голованов А.Ю., Жданов Н.И., Овсянников Ю.А., Сарычев В.М., Федосов Е.С. Радиолокационная система оказания помощи при маневрировании на железнодорожном ходу // Гироскопия и навигация. — 2011. — № 1 (72). — С. 80–88.
URL: <https://www.gyroscopy.ru/jour/article/view/54/54> (Дата обращения 26.04.26)
2. Балашова Д.М., Буров В.Н., Кузин А.А., Мякинков А.В., Фадеев Р.С., Рындык А.Г., Шабалин С.А. Метод использования поля переднего рассеяния для обнаружения малоподвижных объектов на железнодорожном переезде // Известия вузов. Радиофизика. — 2024. — Т. 67, № 3. — С. 279–291.
URL: <https://radiophysics.unn.ru/issues/2024/3/279> (Дата обращения 26.04.26)
3. Плотников А.С. Автоматизированная оценка качества измерений радионавигационных параметров на основе метода анализа индекса мерцаний // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия «Естественные и технические науки». — 2025. — № 8. — С. 112–116.
URL: <http://nauteh-journal.ru/files/0d4a7d7f-2cc2-476f-9ec3-2c8b7aedf6c4> (Дата обращения 26.04.26)
4. Пешков И.В. Радиолокация (направление «Радиотехника») : учебное пособие. — Елец : Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, 2018.
5. Палаев С.В. Использование РЛС и САРП при расхождении судов : методические указания по изучению дисциплины и выполнению расчётно-графического задания для студентов очной формы обучения специальности 26.05.05 «Судовождение» / сост. С.В. Палаев. — Севастополь : Севастопольский государственный университет

Секция 2. Телекоммуникации на железнодорожном транспорте. Радиосвязь на железнодорожном транспорте

Применение системы электронной передачи идентификаторов ЗПУ в каналах технологической радиосвязи для обеспечения сохранности грузов при перевозке

*Баринова Виктория Евгеньевна,
Витебская Анастасия Александровна,
студенты*

*Гаврилова Ольга Ивановна,
преподаватель*

*НИПС филиал ПривГУПС,
г. Нижний Новгород, Российская Федерация*

***Аннотация:** В статье рассматриваются современные подходы к обеспечению сохранности грузов на железнодорожном транспорте, основанные на применении электронных навигационных пломб (ЭНП). Проанализированы технические и организационные аспекты передачи уникальных идентификаторов запорно-пломбировочных устройств по каналам радиосвязи различного диапазона. Показано, что внедрение ЭНП, регламентированное российскими нормативными актами и отраслевым распоряжением ОАО «РЖД», позволяет дистанционно контролировать целостность пломб и местоположение грузов, автоматизировать оформление перевозочных документов. Выявлены проблемные зоны, связанные с потерей сотового сигнала, и предложены пути повышения надёжности системы за счёт резервирования каналов технологической радиосвязи железных дорог.*

***Ключевые слова:** электронная навигационная пломба, запорно-пломбировочное устройство, ГЛОНАСС, технологическая радиосвязь.*

Проблема сохранности грузов при железнодорожных перевозках остаётся одной из ключевых как для перевозчиков, так и для грузовладельцев и контролирующих органов. Традиционные механические запорно-пломбировочные устройства (ЗПУ) позволяют лишь визуально убедиться в отсутствии вскрытия, однако они не дают возможности удалённо отслеживать состояние пломбы и местоположение вагона в пути. Переход к активным средствам идентификации, способным передавать свои идентификаторы и сигналы о нарушении целостности по радиоканалам, стал закономерным этапом цифровой трансформации железнодорожной отрасли. В Российской Федерации основой для такого перехода послужили указы Президента и постановления Правительства, направленные на внедрение электронных навигационных

пломб, работающих с использованием системы ГЛОНАСС. Детальный порядок применения таких пломб, включая процедуры наложения, активации, снятия и контроля, установлен Министерством транспорта России и Правилами осуществления транзитных международных перевозок [1 - 2].

Следует отметить существенный психологический аспект данной проблематики. Для грузоотправителей, особенно при транспортировке ценных грузов, например, партии техники за Урал, пассивный характер механических запорно-пломбировочных устройств (ЗПУ) традиционно обуславливал наличие определенной тревоги относительно потенциального несанкционированного доступа или подмены пломбы. Внедрение электронных навигационных пломб (ЭНП) создает у пользователя впечатление всеобъемлющего контроля, обеспечивая возможность мониторинга координат вагона с заданной периодичностью непосредственно из центра управления. Однако эта перцепция контроля нарушается при столкновении с реальностью «мертвых зон» связи. В периоды потери сигнала возникает усиленный рецидив тревожности, который может провоцировать необоснованные требования об экстренной остановке транспортного средства, даже при высокой вероятности сохранения целостности пломбы. Таким образом, технология, изначально предназначенная для снижения неопределенности и беспокойства, в определенных условиях генерирует дополнительные стрессовые факторы. Вследствие этого, резервирование каналов связи приобретает не только техническое, но и значимое психолого-юридическое обоснование.

Электронная навигационная пломба представляет собой сложное устройство, объединяющее механический трос, датчик положения, приёмник спутниковой навигации ГЛОНАСС, модуль сотовой связи и NFC-метку. Её главное отличие от обычного ЗПУ — способность не только фиксировать факт вскрытия, но и передавать в информационную систему оператора пломбирования (ИСОП) уникальный серийный номер, текущее состояние («трос заблокирован» / «трос разблокирован»), координаты местонахождения и уровень заряда батареи. Передача идентификатора начинается уже на этапе наложения: уполномоченный работник станции с помощью специализированного мобильного устройства (СМУ) считывает через NFC номер пломбы и привязывает его к конкретному вагону или контейнеру. После того как таможенный или надзорный орган даёт разрешение на активацию, пломба переходит в режим непрерывного мониторинга и начинает самостоятельно отправлять телеметрию через встроенный сотовый модуль. Периодичность таких сеансов связи, согласно установленным требованиям, составляет не реже одного раза в два часа, а при несанкционированном вскрытии — немедленно [3].

Каналы радиосвязи, задействованные в работе ЭНП, можно разделить на три основных типа. Технология NFC используется для ближней коммуникации (до нескольких сантиметров) при непосредственном контакте СМУ с пломбой — это самый безопасный способ считывания идентификатора, исключая перехват на расстоянии. Сотовая связь через стандартные сети

GSM/GPRS служит основным каналом для передачи данных в пути следования. Именно через него ИСОП получает подавляющую часть информации от пломб, находящихся в движении. Спутниковая система ГЛОНАСС обеспечивает определение координат, а в некоторых исполнениях пломб может использоваться и для передачи данных через спутниковые терминалы, что особенно важно на участках, где отсутствует покрытие сотовых операторов [2 – 3].

Однако в процессе использования электронных навигационных пломб была выявлена уязвимость, связанная с их зависимостью от функционирования общедоступных сотовых сетей. При длительном отсутствии сигнала связи с пломбой (как правило, более установленного временного лимита) возникает инцидент — диспетчерские службы обязаны остановить поезд на ближайшей станции для проведения проверки. Даже если визуальный осмотр подтверждает целостность пломбы и отсутствие видимых повреждений, сам факт потери сигнала требует составления акта общей формы, что влечёт дополнительные временные затраты. Потенциальными причинами потери сигнала могут быть нахождение вагона в глубокой выемке или тоннеле, нестабильная работа базовых станций сотового оператора на удалённых участках пути, разряд элемента питания пломбы или технический сбой её радиомодуля. Порядок действий при таких ситуациях (уведомление диспетчеров, определение станции обнаружения, проведение коммерческого осмотра, взаимодействие с таможенными органами) чётко регламентирован Правилами осуществления транзитных международных перевозок [2 – 3].

Здесь можно выявить потенциал для оптимизации существующей системы. Российские железные дороги располагают развитой инфраструктурой технологической радиосвязи, которая охватывает как поездную радиосвязь в УКВ-диапазоне (151–156 МГц), так и станционную радиосвязь. Эти каналы, в отличие от общедоступных сотовых сетей, изначально проектировались с учётом специфических потребностей железнодорожного транспорта: они обеспечивают стабильную связь даже в сложных условиях, таких как тоннели, горные выемки и зоны отчуждения, а также предоставляют приоритет диспетчерам поездов и функционируют в гарантированном режиме. Использование этих каналов для дублирования передачи идентификаторов и статусов электронных навигационных пломб (ЭНП) могло бы значительно сократить количество ложных срабатываний. Например, если пломба оснащена дополнительным УКВ-передатчиком и теряет сотовую связь, но при этом продолжает периодически передавать данные по технологическому радиоканалу, перевозчик может быть уверен в исправности пломбы и отсутствии несанкционированного вскрытия, что позволит избежать необоснованной остановки поезда. В связи с этим предлагается рассмотреть возможность увеличения допустимого времени отсутствия основного сигнала до 8 часов при наличии активного резервного радиоканала. В таком случае обязательная остановка потребует только при одновременной потере связи по обоим каналам. Реализация этого решения повлечёт за собой необходимость доработки конструкции ЭНП путём установки дополнительного радиомодуля и адаптации системы ИСОП для

приёма данных из диспетчерских центров ОАО «РЖД». Тем не менее эта инициатива органично вписывается в общую стратегию цифровой трансформации железнодорожной отрасли и направлена на повышение надёжности грузовых перевозок [5].

Сотовая связь функционирует как публичная сеть, что теоретически допускает возможность перехвата или фальсификации передаваемых данных. При этом, как правило, применяемые механизмы шифрования на уровне электронных навигационных пломб (ЭНП) эффективно минимизируют данные риски. В отличие от публичных сетей, технологическая радиосвязь, используемая на железных дорогах, представляет собой ведомственную закрытую систему, доступ к которой строго ограничен кругом уполномоченных лиц, таких как поездные диспетчеры и машинисты. Использование данного специализированного канала для передачи идентификационных данных пломб значительно повышает уровень защищенности системы от несанкционированного вмешательства. Это обусловлено тем, что узкий круг специалистов осведомлен о рабочих частотах и протоколах связи, что затрудняет возможность злоумышленника осуществлять подавление сигнала или имитацию ложных сообщений от пломбы. Дополнительно, наличие резервного канала связи существенно снижает риски, связанные с атаками типа «отказ в обслуживании». Например, в случае использования компактного подавителя сотовой связи, который может быть приобретен в открытых источниках и установлен вблизи железнодорожных путей, существует вероятность массовой потери связи с пломбами, что может привести к необходимости экстренной остановки многочисленных поездов со стороны перевозчика. Применение технологической радиосвязи, функционирующей в ином частотном диапазоне, делает подобную атаку значительно более сложной в реализации и требующей использования специализированного, более дорогостоящего оборудования. Таким образом, архитектура двухканальной связи выступает в качестве дополнительного механизма защиты от целенаправленных противоправных действий.

Помимо повышения надёжности радиоканалов, электронные навигационные пломбы дают ряд важных преимуществ, которые уже реализованы в рамках действующего порядка. Одно из главных — автоматизация документооборота. После интеграции информационной системы оператора (ИСОП) с автоматизированной системой актово-претензионной работы на основании переданных идентификаторов автоматически формируются черновики актов общей формы о наложении и снятии пломб. Далее эти акты служат основанием для составления накопительных ведомостей и взаиморасчётов с плательщиками. Человеческий фактор при вводе номеров пломб практически исключается. Другое преимущество — сокращение времени операций. Наложение ЭНП на один вагон не должно превышать 20 минут, и из этого времени электронная регистрация через NFC и активация в автоматизированном рабочем месте занимают не более двух-трёх минут. Основное время уходит на физическую установку троса на запорные устройства, что сопоставимо с работой с

обычными пломбами. Третье важное свойство — возможность многоступенчатого контроля при инцидентах. Благодаря тому, что каждый идентификатор пломбы жёстко привязан к перевозочным документам, любое нарушение (потеря сигнала, сработка датчика вскрытия) мгновенно фиксируется, и диспетчерские службы получают чёткий алгоритм действий: остановка на станции обнаружения, коммерческий осмотр, оформление акта, при необходимости — взаимодействие с таможенными органами на контрольной станции [4].

Эффективность системы электронной передачи идентификаторов запорно-пломбировочных устройств уже доказала свою эффективность при транзитных международных перевозках по территории Российской Федерации. Её функционал включает в себя дистанционное подтверждение целостности грузов, автоматизацию процесса оформления перевозочных документов и возможность оперативного реагирования на инциденты. Тем не менее ключевой проблемой остаётся недостаточная устойчивость каналов сотовой связи на отдельных участках железнодорожной сети. В качестве решения этой проблемы рассматривается возможность резервирования каналов за счёт использования штатной технологической радиосвязи. Ожидается, что внедрение двухканальных пломб, оснащённых функцией переключения между сотовой и технологической радиосвязью, позволит сократить количество необоснованных остановок поездов, снизить операционные расходы и повысить уровень доверия грузовладельцев к железнодорожным перевозкам [5].

Список литературы

1. Указ Президента Российской Федерации от 24 июня 2019 г. № 290 «О внесении изменений в некоторые указы Президента Российской Федерации» // Собрание законодательства РФ. – 2019. – № 26. – Ст. 3433.
2. Постановление Правительства Российской Федерации от 27 декабря 2019 г. № 1877 «О мерах по реализации Указа Президента Российской Федерации от 27 декабря 2019 г. № 1877» (вместе с Правилами осуществления транзитных международных перевозок) // Собрание законодательства РФ. – 2020. – № 2. – Ст. 217.
3. Приказ Министерства транспорта РФ от 14 января 2020 г. № 13 «Об осуществлении транзитных международных автомобильных перевозок и транзитных международных железнодорожных перевозок...» (Приложение № 3: Требования к функциональным свойствам систем сбора, обработки, передачи и хранения информации, включающих средства идентификации (пломбы), функционирующие на основе технологии ГЛОНАСС).
4. Приказ Минтранса России от 29 мая 2019 г. № 155 «Об утверждении Общих требований к применяемым на железнодорожном транспорте для опломбирования вагонов, контейнеров запорно-пломбировочным устройствам» (зарегистрирован в Минюсте 26.09.2019 № 56045).

5. Приказ Минтранса России от 30 июля 2015 г. № 237 «Об утверждении Правил технологической радиосвязи на железнодорожном транспорте» (зарегистрирован в Минюсте 03.12.2015 № 39935).

Технологические системы связи на железной дороге

Курнакин Родион Андреевич,
студент

Бирюкова Светлана Ивановна,
преподаватель

*СамКЖТ - структурное подразделение ФГБОУ ВО "Приволжский государственный университет путей сообщения"
г. Самара Российская Федерация*

Аннотация: В статье рассматриваются современные системы технологической радиосвязи на железнодорожном транспорте, их назначение, технические характеристики и направления развития. Анализируются стандарты GSM-R, TETRA, DMR, а также перспективные технологии FRMCS и Radio-Ethernet. Особое внимание уделяется вопросам обеспечения безопасности движения поездов и бесперебойности связи в условиях высокоскоростного движения. На основе анализа отечественного и зарубежного опыта предложены подходы к выбору оптимальных решений для различных участков железных дорог.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, радиосвязь, GSM-R, TETRA, DMR, FRMCS, поездная радиосвязь, безопасность движения, технологическая связь.

Радиосвязь на железнодорожном транспорте является критически важным элементом инфраструктуры, обеспечивающим безопасность перевозочного процесса и оперативное управление движением поездов. От надежности и эффективности систем технологической радиосвязи напрямую зависят пропускная способность участков, соблюдение графиков движения и, главное, безопасность пассажиров и персонала [3, стр. 5].

В условиях цифровой трансформации железнодорожной отрасли происходит постепенный переход от аналоговых систем к цифровым технологиям, что требует переосмысления подходов к организации радиосвязи, модернизации существующей инфраструктуры и внедрения новых стандартов. Целью данной работы является анализ текущего состояния систем радиосвязи на железнодорожном транспорте, выявление ключевых тенденций их развития и оценка перспективных технологий [1, стр. 8].

Нормативно-техническая база и основные требования

Системы железнодорожной радиосвязи регламентируются рядом нормативных документов. В Российской Федерации действует ГОСТ 34745-2021 «Системы передачи данных для систем управления и обеспечения безопасности движения поездов, который распространяется на каналы радиосвязи, проводной и индуктивной связи, устанавливая требования безопасности функционирования систем передачи данных и методы контроля выполнения этих требований». Ранее действовавший ГОСТ Р 54959-2012 «Железнодорожная электросвязь. Поездная радиосвязь» был отменен в 2017 году с введением ГОСТ 33973-2016 [7, стр. 12].

Ключевыми требованиями к системам железнодорожной радиосвязи являются: [2, С 7].

- 1) высокая надежность и отказоустойчивость;
- 2) обеспечение непрерывности связи при движении подвижного состава (бесшовный хэндовер);
- 3) электромагнитная совместимость с другими системами;
- 4) защита информации и помехоустойчивость;
- 5) работа в условиях высоких скоростей (эффект Доплера);
- 6) резервирование каналов связи.

Современные стандарты радиосвязи на железнодорожном транспорте

В настоящее время на железных дорогах используются как традиционные аналоговые системы (поездная диспетчерская связь, перегонная связь), так и цифровые стандарты различных поколений [5, стр. 11]. В учебном пособии П.М. Тимонина «Транкинговая радиосвязь с подвижными объектами железнодорожного транспорта» (2024) представлен подробный сравнительный анализ современных систем, включая GSM-R, DMR, TETRA, DECT [6, стр. 37].

GSM-R (GSM for Railways)

Стандарт GSM-R на протяжении последних двух десятилетий является основным мировым стандартом технологической связи на железных дорогах. Он базируется на инфраструктуре GSM с дополнительными функциями, специфичными для железнодорожного транспорта: групповые вызовы, вызовы в экстренных ситуациях, поддержка систем ETCS (European Train Control System). Однако в ряде стран, в том числе в России, в силу геополитических факторов и необходимости импортозамещения наметился отказ от дальнейшего использования этого стандарта.

TETRA (Terrestrial Trunked Radio)

Стандарт транкинговой радиосвязи TETRA находит применение в системах интервального регулирования движения поездов (СИРДП-Е) и других критически важных приложениях. Как отмечается в исследовании казахстанских ученых, посвященном оценке радиоканала TETRA, ключевой проблемой остается обеспечение надежной передачи пакетов данных при наличии помех и в условиях хэндовера между сотами. Авторами смоделированы каналы передачи пакетов в среде MATLAB и проанализировано влияние BER (Bit Error Rate) на

качество передачи данных. Выявлено, что сбои хэндовера в сети TETRA могут быть вызваны различными факторами: конфигурацией сети, настройками оборудования, окружающей средой. Решение этих проблем требует комплексного подхода, включающего как аппаратную оптимизацию, так и совершенствование алгоритмов программного обеспечения.

DMR (Digital Mobile Radio)

Стандарт DMR рассматривается как перспективная альтернатива для технологической радиосвязи на российских железных дорогах. Как сообщил заместитель генерального директора ОАО РЖД Евгений Чаркин, в рамках подготовки к запуску высокоскоростной магистрали (ВСМ) Москва — Санкт-Петербург разрабатывается технологический сегмент беспроводной связи на основе стандартов LTE1800 и DMR. Особенностью решения является использование специального программного обеспечения для минимизации влияния эффекта Доплера, что критически важно при скоростях движения свыше 200 км/ч.

Спутниковая и ионосферная связь для малоинтенсивных участков

Особого внимания заслуживает проблема организации связи на малоинтенсивных участках железных дорог (МИУР), где строительство развернутой инфраструктуры базовых станций экономически нецелесообразно. В исследовании Д.Н. Роеenkova и Д.Р. Богданова предложена классификация МИУР с точки зрения вариантов организации технологических систем радиосвязи, разработана унифицированная схема построения системы радиосвязи и составлен алгоритм выбора оптимального варианта для каждого конкретного участка. В качестве перспективных решений для удаленных и протяженных МИУР рассматриваются коротковолновая ионосферная радиосвязь, а также спутниковая связь.

Перспективные технологии

FRMCS (Future Railway Mobile Communication System)

Будущее железнодорожной связи связывают со стандартом FRMCS, который призван заменить GSM-R. Европейский институт телекоммуникационных стандартов (ETSI) активно разрабатывает спецификации FRMCS. В частности, в работе DTS/RT-0094 определяется интерфейс бортовой радиосвязи (Onboard Radio Interface — OBrad) для FRMCS. Стандарт базируется на технологиях 5G и обеспечивает значительно более высокую пропускную способность, меньшую задержку и поддержку широкого спектра услуг — от управления движением до видеонаблюдения и передачи телеметрии [4, стр. 4].

Radio-Ethernet

Технология TSN Radio-Ethernet (Time-Sensitive Networking over Radio) представляет собой инновационное решение для обеспечения связи на высокоскоростных магистралях. По информации ОАО РЖД, технология уже прошла успешные испытания на опытном полигоне в Тверской области на участке Тверь — Завидово. Radio-Ethernet обеспечивает радиопокрытие именно в полосе отвода железной дороги, что гарантирует стабильное и высокоскоростное

соединение между движущимся поездом и наземной инфраструктурой. Пропускной способности канала достаточно как для доступа пассажиров в интернет, так и для корректной работы бортового оборудования: мобильных терминалов проводников, биометрических систем распознавания лиц, кассовых аппаратов и вендинговых устройств.

Спутниковая связь низкоорбитальных группировок

Параллельно с наземными решениями развивается спутниковая составляющая. На крышах поездов ВСМ планируется размещение спутниковых навигационно-связных устройств для работы с низкоорбитальной спутниковой группировкой. Такой подход обеспечивает глобальное покрытие и может служить резервным каналом связи.

Заключение

Системы радиосвязи на железнодорожном транспорте находятся в стадии активного развития, характеризующейся переходом от устаревших аналоговых и стандартов второго поколения (GSM-R) к современным цифровым технологиям (DMR, TETRA, LTE) и перспективным решениям на базе 5G/FRMCS и Radio-Ethernet.

Основными тенденциями являются: [4, стр. 12].

1. Конвергенция технологической связи и пассажирского широкополосного доступа, что особенно актуально для высокоскоростных магистралей.
2. Широкое использование методов математического моделирования для оценки качества радиоканалов и оптимизации параметров сетей, что позволяет снизить материальные затраты на натурные испытания.
3. Дифференцированный подход к выбору технологий в зависимости от интенсивности движения и протяженности участков, предполагающий комбинирование наземных и спутниковых решений.

Дальнейшие исследования в этой области должны быть направлены на разработку методов обеспечения отказоустойчивости гибридных сетей, совершенствование алгоритмов бесшовного хэндовера при сверхвысоких скоростях движения (до 400 км/ч) и создание унифицированных требований к системам технологической связи с учетом перспективных стандартов.

Список литературы

1. Института электроники и электротехники. - [электронный ресурс]//Официальный сайт (IEEE) // www.ieee.org. Саймон Вильям. iКона. Стив Джобс. – М.: Изд-во «Манн, Иванов и Фербер», 2016. Inventor of cell phone: We knew someday everybody would have one// By Tas Anjarwalla, Special to CNN.Подробнее на livelib.ru:<https://www.livelib.ru/book/169170/readpart-nesos-toyavshayasya-informatsionnaya-revolyuetsiya-usloviya-i-tendentsii-razvitiya-v-sssr-elektronnoj-promyshlennosti-ismi-19401969-gg-nikolaj-simonov> (дата обращения 07.05.2026)
2. Тимонин П.М. Транкинговая радиосвязь с подвижными объектами

железнодорожного транспорта: учебное пособие. - М., Вологда: Инфра-Инженерия, 2024. - 336 с.

3. Тасболатова Л., Орынбет М., Сансызбай Қ. и др. Анализ оценивания радиоканала TETRA в СИРДП-Е при наличии потерь связи // Вестник КазАТК. - 2025. - Т. 137, № 2. - С. 393-402.

4. ГОСТ 34745-2021. Системы передачи данных для систем управления и обеспечения безопасности движения поездов. Требования безопасности и методы контроля. - Введ. 2026-01-01.

5. Государственная программа Российской Федерации «Развитие энергетики». - [электронный ресурс]//Официальный сайт Министерства энергетики Российской Федерации. – Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/activity/government-program/> (дата обращения 07.05.2026)

6. Электронная библиотека исторических документов - -[электронный ресурс]// Официальный сайт: <https://minenergo.gov.ru/activity/government-program>

(дата обращения 07.05.2026)

7. Электронный фонд более 100 000 000 актуальный правовых и нормативно-технических документов-[электронный ресурс]:// Официальный сайт: <https://kodeks.ru/> (дата обращения 07.05.2026)

Предложение, разработка и оценка симуляционной модели системы радиосвязи

Воронцов Никита Вадимович,
студент

канд. ист. н. **Завьялова Светлана Владимировна,**
преподаватель

НИПС филиал ПривГУПС
г. Нижний Новгород, Российская Федерация

Аннотация: статья посвящена разработке и анализу модели симуляции системы радиосвязи для железнодорожного транспорта с учётом специфики инфраструктуры и динамики движения подвижного состава. В работе представлена формализованная модель линейной радиосети, привязанной к геометрии железнодорожного полотна

Ключевые слова: радиоканал, параметры распространения, базовые станции, параметры производительности, пропускная способность канала, помехи, задержки, сеть, радиосвязь

Сценарии симуляции формализованы как линейная радиосеть, привязанная к геометрии железнодорожного полотна, где узлы сети представлены

стационарными элементами инфраструктуры и подвижными объектами. Топология задаётся графом с дискретными точками размещения базовых станций, ретрансляторов и бортовых терминалов, а также с выделением характерных участков трассы, таких как туннели, мосты и станции. Каждый участок трассы характеризуется набором параметров распространения и переходными зонами покрытия, что позволяет моделировать изменения связности и качества канала вдоль маршрута. Типы подвижного состава в сценариях включают различные классы подвижных единиц с отличающимися физическими размерами и антенными характеристиками, что влияет на диаграммы направленности и параметры многолучевого распространения. Режимы движения формализованы через профиль скорости и ускорения, с выделением устойчивого крейсерского режима, маневренных участков и операций торможения, способных изменять доплеровские и временные характеристики канала. Дистанции между узлами моделируются как фиксированные интервалы инфраструктурного размещения и как динамически изменяющиеся величины при использовании мобильных ретрансляторов, что обеспечивает учёт варьирования длительности радио – канала и интервалов переключения [2, стр. 37].

Модель радиоканала основана на комбинировании геометрических и статистических подходов, в том числе лучевых методов для описания зеркальных и дифракционных составляющих и статистических моделей для учета рассеянного фона. Многопутевое распространение представлено набором сигнатур с распределением амплитуд и задержек, а затухание и затенение задаются профильными функциями вдоль трассы с учетом материалов инфраструктуры и рельефа. В моделях также включены эффекты Доплера и изменения фаз при движении подвижного состава, что позволяет оценивать влияние скоростных режимов на интерференцию и устойчивость передачи. «При моделировании данного участка были учтены требования, предъявляемые к сети радиосвязи железнодорожного транспорта, в том числе: на границах зон обслуживания скорость передачи в радиоканале должна быть не менее 2 Мбит/с (DL) и 1 Мбит/с (UL); вероятность радиодоступа по месту и времени должна составлять 95 %; должны обеспечиваться двойное радиопокрытие зоны и соблюдаться ограничения по энергетическим условиям (40 Вт и 18 дБм для БС); помехоустойчивость и др [4, стр. 11].» Данные требования использовались при настройке критериев качества сервиса и формировании параметров помеховой обстановки, включая распределения мощности и временные характеристики помех. Статистики внешних и внутренних источников помех формировались с учётом необходимости обеспечения вероятности радиодоступа и двойного радиопокрытия, описанных в цитате.

Программная среда симуляций представлена модульным симулятором, сочетающим дискретно – событийную модель управления сеансами передачи и физически ориентированные модули распространения сигнала. Настройки временного шага и длительности прогонов выбирались с учётом баланса между точностью моделирования переходных процессов и вычислительной

сложностью, при этом использовались многократные прогоны для оценки статистической сходимости. Управление генераторами случайных чисел осуществлялось через фиксируемые и документируемые семена, а механизмы логирования конфигураций и результатов вместе с контролем версий обеспечивали воспроизводимость экспериментов.

В работе был сформирован определённый набор метрик производительности, включающий задержку end – to – end и буферную задержку, пропускную способность канала, битовую и пакетную ошибку, частоту повторных передач и долю потерянных пакетов. End – to – end задержка определялась как время от момента отправки пакетного блока на источнике до момента его полного приёма в пункте назначения, тогда как буферная задержка измерялась по времени нахождения пакета в очередях промежуточных узлов [3, стр. 14]. Для фиксации временных характеристик использовались проставленные временные метки и журналы событий симулятора с синхронизированным временем моделирования. Пропускная способность оценивалась через суммарное количество полезных битов, переданных по каналу за единицу времени, с учётом коррекции на повторные передачи и служебный оверхед. Битовая и пакетная ошибки регистрировались счётчиками ошибок на физическом и канальном уровнях, а частота повторных передач и доля потерянных пакетов определялись через аналитические счётчики повторных ТХ и сброшенных буферов в логах симуляции. Для получения устойчивых оценок использовались усреднение по временным окнам и экспоненциальное сглаживание с выбранной временной дискретизацией, обеспечивающей баланс между разрешающей способностью и шумом измерений.

Поведение адаптивной многоканальной модуляции демонстрировало явную зависимость ключевых показателей от уровня SNR, числа доступных подканалов и политики распределения модуляций при варьировании скорости движения поездов. При увеличении SNR наблюдалась тенденция к выбору более высших схем модуляции, что приводило к росту пропускной способности, тогда как снижение SNR инициировало переход на более устойчивые, но менее ёмкие форматы. Увеличение числа подканалов обеспечивало как пространственную, так и частотную диверсификацию, положительно влияя на устойчивость передачи при наличии фейдов и помех, однако политика распределения модуляций (агрессивная увеличение скорости передачи или консервативное поддержание устойчивости) определяла компромисс между пиковой пропускной способностью и стабильностью при изменяющейся скорости.

Анализ временных характеристик показал мультимодальное распределение задержек и повышенный джиттер в сценариях с пересечениями участков и манёврами, где частые переключения путей и пересечения трафика приводили к изменению условий канала. Плотный трафик усиливал варьирование задержек за счёт возрастания конкуренции за ресурсы канального уровня и более частых повторных передач, что проявлялось в расширении хвостов распределений задержек. Распределения джиттера характеризовались смещением

и увеличением дисперсии при одновременном росте числа событий переключения и конфликтов передачи. Переключения каналов и процедуры хендвера оказывали заметное влияние на непрерывность передачи, вызывая кратковременные прерывания и всплески буферной задержки в момент смены подканала. Эти события сопровождались увеличением вероятности повторных передач и повышением пакета – ориентированных ошибок, если механизмы предсессионного буферирования и алгоритмы make – before – break не были задействованы. В целом, устойчивость непрерывности передачи улучшалась при применении адаптивных буферных стратегий и предварительной координации переключений между подканалами.

Статистическая обработка результатов осуществлялась с применением стандартных методов оценки погрешностей и проверки сходимости, включая вычисление выборочной дисперсии и стандартной ошибки оценок для каждой метрики. Размер выборки прогонов определялся таким образом, чтобы обеспечить стабилизацию оценок при повторных экспериментах и достаточную воспроизводимость результатов в различных сценариях моделирования. Для основных метрик рассчитывались доверительные интервалы и использовались критерии устойчивости оценок, такие как коэффициент вариации и тесты на статистическую значимость различий при сравнении конфигураций.

В качестве эталонных решений при сравнительном анализе использовались конфигурации традиционных узкополосных систем, стандартизованных радиостанций и систем командно-контрольной связи, типичных для железнодорожного сектора. Базовые параметры таких систем включают фиксированную полосу канала, заранее заданные схемы модуляции и кодирования, постоянные скорости передачи данных и упрощенные алгоритмы управления доступом. Топология и архитектура опорных систем ориентированы на надежность голосовой связи и телеметрии при ограниченной пропускной способности и предсказуемых временных характеристиках. Для моделирования использовались стандартные сценарии работы в условиях движения и типичные критерии оценки для обеспечения сопоставимости с предлагаемой адаптивной моделью.

Сравнение по пропускной способности и задержкам показало, что адаптивная многоканальная модуляция обеспечивает более гибкое распределение ресурсов канала по сравнению с узкополосными решениями, что приводит к повышению агрегированной пропускной способности в сценариях с переменной нагрузкой. Анализ средних и статистических характеристик задержки выявил снижение средней задержки и уменьшение дисперсии временных задержек в моделях с адаптацией параметров модуляции, что особенно важно для сервисов реального времени. Проведенные симуляции и выбранные сценарии позволили сопоставить поведение систем при одном наборе условий, обеспечив корректность выводов о динамическом распределении битрейта и его влиянии на качество обслуживания. Эти результаты подтверждают выводы о целесообразности применения адаптивных схем в сетях с переменной нагрузкой.

кой на магистрали. При оценке помехоустойчивости и эффективности использования спектра адаптивная модель демонстрирует преимущества за счет возможности изменять параметры модуляции и распределять потоки по нескольким каналам, что повышает устойчивость к локальным помехам и отраженным компонентам. Традиционные узкополосные системы сохраняют преимущество в условиях высокой помеховой нагрузки при ограниченных вычислительных ресурсах и при необходимости обеспечения совместимости с устаревшим оборудованием. Оценка эффективности спектра показала, что адаптивные методы способны достигать более высокой спектральной эффективности в сценариях с динамическим распределением нагрузки, тогда как при статических требованиях и узкой полосе традиционные решения остаются экономичными и предсказуемыми. Сопоставление этих характеристик позволяет выделить области, в которых каждая из технологий показывает наилучшие эксплуатационные показатели.

Выявленные ограничения предложенной адаптивной модели включают повышенные вычислительные и энергетические требования для выполнения алгоритмов адаптации, а также необходимость надежного получения актуальной информации о состоянии канала. Функционально модель может быть менее применима в средах, где требуется исключительно простая и детерминированная голосовая связь с минимальными требованиями к оборудованию. Эксплуатационные ограничения также связаны с совместимостью с существующей инфраструктурой и необходимостью обеспечения обратной совместимости с командами и контролем, реализованными в традиционных системах. Оценка рисков внедрения показывает потребность в поэтапной проверке и адаптации процедур технического обслуживания и обучения персонала. В качестве рекомендаций предложено комбинированное использование адаптивной многоканальной модуляции и традиционных систем: сохранение проверенных каналов командно-контрольной связи для критических функций и параллельное развертывание адаптивных каналов для передачи данных и сервисов с повышенными требованиями к пропускной способности. Рискоориентированный подход предполагает поэтапную интеграцию с валидацией производительности в реальных условиях и разработку механизмов интероперабельности для плавного перехода. Эти меры позволят минимизировать операционные риски и обеспечить постепенное наращивание преимуществ адаптивной модели без нарушения устойчивости ключевых функций железнодорожной связи.

Список литературы

1. Лобеев Д.П. Результаты внедрения методики и моделей проектирования технологических сетей радиосвязи стандарта LTE — 1800 TDD на высокоскоростных железнодорожных магистралях // Век качества. — 2025. — №4. — С. 288–302.
2. Плеханов П. А., Роенков Д. Н. «Цифровые системы подвижной связи

на железнодорожном транспорте». Санкт—Петербург: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2020. — С. 41.

3.Рахмангулов А.Н., Мирсагдиев О.А. Имитационная модель оценки качества передачи речи в сетях оперативно—технологической связи на железнодорожном транспорте // Вестник МГТУ им. Г. И. Носова. — 2015. — №2. — С. 12–16.

4.Тараненко А.Ю., Гриценко А.А., Лобеев Д.П. Оптимизация использования частотного спектра // Телекоммуникации. — 2025. — №1. — С. 9–12.

5.Шугаев О.В., Покровская О.Д., Почетуха В.В. и др. Определение надёжности работы системы кодоволокационного позиционирования подвижного состава // Transport business in Russia. — 2024. — №4. — С. 121–125.

Роль радиосвязи на железнодорожном транспорте в годы Великой Отечественной войны

Воронцов Никита Вадимович,
студент

Кущенко Любовь Сергеевна,
Преподаватель

*НИПС филиал ПривГУПС
г. Нижний Новгород, Российская Федерация*

Аннотация: В статье проанализированы роль и значение радиосвязи на железнодорожном транспорте в период Великой Отечественной войны. На конкретных исторических примерах показаны подвиги железнодорожников и связистов, обеспечивавших бесперебойную работу железных дорог под огнём противника.

Ключевые слова: Великая Отечественная война, герои, подвиг, радиосвязь, снабжение, эвакуация, координация, связь, взаимодействие

Великая Отечественная война стала беспрецедентным испытанием не только для солдат на передовой, но и для всей инфраструктуры Советского Союза. В условиях тотальной войны экономика страны была переведена на военные рельсы, а её жизнеспособность напрямую зависела от слаженной работы транспортной системы. Особое место в этой системе занимал железнодорожный транспорт — настоящая артерия, питавшая фронт боеприпасами, техникой, продовольствием, медикаментами и людскими резервами, а также обеспечивавшая эвакуацию населения, предприятий и культурных ценностей из зоны боевых действий.

Масштаб задач, стоявших перед железнодорожным транспортом в 1941–1945 годах, трудно переоценить. Только за первые месяцы войны на восток

были эвакуированы свыше 2 500 промышленных предприятий и около 18 миллионов человек. На протяжении всей войны по железным дорогам ежедневно передвигались тысячи эшелонов: воинские составы, санитарные поезда, эшелоны с танками и артиллерией, составы с углём и нефтью. В отдельные периоды объём перевозок достигал 1,7–1,9 миллиона тонн грузов в сутки.

Организация радиосвязи на линиях снабжения строилась на четком распределении операционных процедур и ролей, обеспечивающих непрерывность обмена информацией между эшелонами и военными частями. Стандартные процедуры включали регламентацию временных слотов для вызовов, ведение списков дежурных частот и порядок передачи критических сообщений с указанием приоритетов. Системы дежурства предусматривали поочередное сменное распределение персонала с целью поддержания работоспособности оборудования в условиях длительных маршей и боевых передвижений. В условиях боевых перевозок операционные процедуры дополнялись мерами по идентификации абонентов и контролю целостности каналов связи для минимизации ошибок при передаче распоряжений [2, стр. 229].

Распределение ролей включало взаимодействие радиостанций на узловых станциях с мобильными пунктами связи и центральными пунктами управления для обеспечения маршрутизации сообщений и координации перевозок. Дежурные режимы предусматривали резервирование каналов и оперативную смену частот при выявлении помех или угроз безопасности, что уменьшало вероятность потери управленческих команд.

При отсутствии штатных средств выполнялась техническая импровизация, включавшая адаптацию штатных приемопередатчиков и конструктивное размещение антенных систем на железнодорожных платформах. Такие практики требовали гибкости конфигурации и быстрых решений по обеспечению синхронизации и пропускной способности каналов в полевых условиях. «Модель не является жестким стандартом, а представляет собой гибкий инструмент. Алгоритм выбора позволяет адаптировать решение под конкретные условия: уровень внешних помех, требуемую пропускную способность, возможность синхронизации БС [7, стр. 3].»

Обеспечение надежности связи при повреждениях линий и электроснабжения реализовывалось через применение резервных источников питания и модулей аварийного восстановления. Важной составляющей была оперативная координация со службами ремонта и восстановления инфраструктуры, позволяющая оперативно восстанавливать физическую связь и минимизировать простои. «Разработанные решения прошли апробацию при проектировании ВСЖМ Москва – Санкт-Петербург и показали высокую практическую ценность для создания надежных и высокопроизводительных технологических сетей радиосвязи [7, стр. 7].» Кроме того, использовались схемы резервирования каналов и маршрутизации сообщений через альтернативные узлы связи.

Функциональные обязанности связистов железнодорожных частей

включали организацию связи с командными пунктами, трековыми подразделениями и узлами снабжения, обеспечение непрерывности каналов передачи и координацию действий в условиях подвижности фронтовых и тыловых операций. Эти обязанности требовали выстраивания как непосредственных сетевых связей, так и организации ретрансляции сообщений для обеспечения охвата протяженных железнодорожных коридоров. «Внедрение методики позволило систематизировать и автоматизировать процесс проектирования, что привело к следующим конкретным результатам. Комплексный учет специфики железнодорожного транспорта. Методика успешно интегрировала в единый алгоритм факторы, ранее учитывавшиеся разрозненно: ... Нормативные ограничения: жесткая привязка к Решению ГКРЧ № 18-46-02 исключила возможность выбора недопустимых конфигураций (например, полосы 15 или 20 МГц) [7, стр. 8].»

Эти организационные и нормативные ограничения непосредственно влияли на порядок распределения частот и на практическую схему взаимодействия связистов с оперативными центрами в условиях боевых действий.

Профессиональная подготовка связистов предусматривала владение радиостанциями различного класса, монтажом и настройкой антенных систем, а также знание процедур быстрого переключения и восстановления каналов связи. Практические навыки включали методы маскировки оборудования, создание скрытых пунктов связи и использование подручных средств для обеспечения электропитания и устойчивости антенн в полевых условиях. Обучение также охватывало технику обслуживания аппаратуры и выполнение регламентных работ в экстремальных ситуациях для сохранения работоспособности связи при интенсивном движении и обстрелах.

В период войны на железных дорогах СССР использовались следующие виды радиосвязи:

Стационарная радиосвязь, которая обеспечивала связь между крупными железнодорожными узлами, станциями и диспетчерскими центрами. Применялась для передачи оперативных приказов, координации графиков движения и обмена информацией о состоянии путей.

Подвижная радиосвязь. Она устанавливалась на локомотивах и специальных вагонах. Позволяла машинистам поддерживать связь с диспетчерами и станциями в пути следования.

Тактическая радиосвязь использовалась для взаимодействия железнодорожников с военными штабами, авиацией и частями ПВО. Помогала координировать перевозки в прифронтовой зоне и реагировать на угрозы.

Аварийная радиосвязь применялась восстановительными бригадами и службами ликвидации последствий налётов. Позволяла быстро сообщать о разрушениях и запрашивать помощь.

Оборудование включало стационарные и переносные радиостанции, часто адаптированные военные модели (например, 5-АК, РБ, РСБ).

Радиосвязь решала несколько ключевых задач:

- 1) оперативное изменение графиков движения поездов в ответ на боевые действия;
- 2) координация работы станций, депо и ремонтных бригад;
- 3) предупреждение о налётах авиации и диверсиях;
- 4) управление восстановительными работами после разрушений;
- 5) обеспечение взаимодействия железнодорожного транспорта с военными структурами.

Особенно важна была радиосвязь на прифронтовых участках, где проводные линии часто выходили из строя. Благодаря радиостанциям удавалось избегать заторов на узловых станциях, ускорять продвижение эшелонов и минимизировать потери от авиаударов [3].

Радиосвязь на железных дорогах в годы Великой Отечественной войны не просто выполняла технические функции — она спасала жизни и обеспечивала успех стратегических операций. За бесперебойной работой радиостанций стояли люди: связисты и железнодорожники, которые в самых тяжёлых условиях восстанавливали связь, передавали критически важные сообщения и принимали решения в доли секунды, проявив в экстремальных условиях настоящий героизм:

Во время блокады Ленинграда радиосвязь играла ключевую роль в координации движения составов по «Дороге жизни» через Ладожское озеро. Связисты поддерживали постоянную связь между станциями, предупреждали машинистов о налётах авиации и корректировали маршруты в реальном времени. Благодаря этому удалось организовать вывоз сотен тысяч жителей города; эвакуировать часть промышленного оборудования; обеспечить минимальные поставки продовольствия в осаждённый Ленинград. [6, С. 91] После прорыва блокады Ленинграда в январе 1943 года за 17 дней была построена железная дорога Шлиссельбург–Поляны, известная как «Дорога Победы». Эта транспортная артерия стала жизненно важной для города, и радиосвязь играла в её работе ключевую роль. Она координировала движение поездов под постоянными артобстрелами, оперативно сообщала о повреждениях путей и мостов, а также обеспечивала взаимодействие восстановительных бригад. Благодаря радиосвязи и самоотверженному труду железнодорожников, за год по «Дороге Победы» прошло более 6 000 поездов, а Ленинград получил свыше 4,4 млн тонн необходимых грузов, что помогло выжить тысячам людей в условиях блокады [6, стр. 156].

При подготовке контрнаступления под Сталинградом (1942–1943 гг.) радиосвязь использовалась для скрытной переброски войск и техники. Железнодорожные диспетчеры и военные штабы обменивались данными через радиостанции, что позволило сосредоточить силы незаметно для противника и обеспечить точное прибытие эшелонов с танками, артиллерией и подкреплениями. Благодаря грамотной и слаженной работе за несколько недель к Сталинграду были переброшены десятки дивизий

Перед наступлением в Белоруссии во время операции «Багратион» (1944) железнодорожники с помощью радиосвязи организовали ускоренное

продвижение эшелонов с боеприпасами и подкреплениями. На участках, где проводные линии были повреждены, радиосвязь стала единственным средством координации. Это позволило быстро перебрасывать резервы на нужные направления, оперативно реагировать на изменения обстановки и обеспечивать войска всем необходимым точно в срок, что способствовало быстрому прорыву обороны противника.

Хочу также упомянуть подвиг связиста Ивана Петрова в 1942 году.

На участке Юго-Восточной железной дороги связист Иван Петров совершил подвиг, который спас эшелон с танками. После авианалёта линия радиосвязи была повреждена. Несмотря на продолжающиеся обстрелы, Петров добрался до повреждённой антенны и под огнём противника восстановил радиосвязь. Он смог передать данные о повреждении путей, что позволило изменить маршрут эшелона с танками и спасти технику от уничтожения.

Во время Курской битвы в 1943 году радиосвязь помогла спасти сотни жизней. Санитарный поезд, перевозивший раненых бойцов, попал под обстрел и оказался на повреждённом участке пути. Диспетчер, поддерживавший связь с машинистом по радиостанции предупредил машиниста о минировании пути впереди и направил состав по обходному маршруту. Благодаря этому сотни раненых были доставлены в тыл.

Связисты, монтеры пути и другие железнодорожники часто работали под огнём, устанавливая временные радиостанции на разрушенных станциях. Например, на участке Москва–Тула осенью 1941 года бригада связистов под обстрелами наладила радиосвязь между станциями, что позволило организовать бесперебойную подачу эшелонов с подкреплениями к линии фронта. На этом участке немецкие войска рвались к столице.

Статистика потерь железнодорожников, система поощрений и наград отражали как риски выполнения задач, так и значимость их вклада в обеспечение перевозочных и оперативных процессов, что в последующем оказало влияние на формирование профессиональных стандартов служб радиосвязи. «Практическая ценность и экономический эффект. Снижение рисков и стоимости проектов: Модель позволяет выявить и устранить проблемы ЭМС на этапе проектирования, тем самым избежать дорогостоящей переделки после развертывания. Выбор оптимального способа предотвращает инвестиции в неработоспособные конфигурации [5, стр. 3].» Полученный в ходе войны опыт способствовал повышению внимания к экономической эффективности и снижению рисков при проектировании систем радиосвязи на железных дорогах в послевоенный период.

Список литературы

1. Астафьев В. П. Моя война. Писатель в окопах. Война глазами солдата. ООО «ТД Алгоритм», 2018. 210 с.

2. Бабина Н.А. Особенности транспортных процессов начального этапа великой отечественной войны глазами их участников // Системный анализ и логистика. — 2023. — №3. — С. 226–232.
3. В годы испытаний. // Gudok.ru. Вперёд. — Выпуск № 14. — 2020 г.
4. Великая Отечественная война Советского Союза (1941— 1945 годы): военно-исторические очерки / Р. Р. Хисамутдинова; Мин-во образования и науки Рос. Федерации, ФГБОУ ВПО «Оренб. гос. пед. ун-т». — Оренбург: Изд-во ОГПУ, 2014. — 476 с.
5. Дорога нашей истории. - М.: Библиотека ЮВЖД, 2016 .
6. Лепехин Ю. В. Бессмертный Сталинград: книга о беспримерном мужестве и стойкости бойцов Красной Армии и гражданского населения, находящихся в самом эпицентре Сталинградской битвы / авт.-сост. Ю. 146 В. Лепехин; Волгогр. обл. обществ. благотворит. фонд «Царицынская муза». — Волгоград, 2018. — 384 с.: ил. - ISBN 978-5-6040474-0-8
7. Лобеев Д.П. Результаты внедрения методики и моделей проектирования технологических сетей радиосвязи стандарта LTE-1800 TDD на высокоскоростных железнодорожных магистралях // Век качества. — 2025. — №4. — С. 288–302.
8. Процай Е.С., Князькина О.В. Применение телекоммуникационных технологий на железнодорожном транспорте // Актуальные проблемы транспорта в XXI веке. — Новокузнецк, 2023. — С. 66–67.

Анализ систем радиосвязи на железнодорожном транспорте

Воронцов Никита Вадимович,
студент

Хорошайлова Ирина Георгиевна,
Преподаватель

*НИПС филиал ПривГУПС
г. Нижний Новгород, Российская Федерация*

Аннотация: В статье произведен анализ систем радиосвязи на железнодорожном транспорте: их архитектуре, техническим характеристикам и роли в организации перевозочного процесса. В статье рассмотрены типы радиосистем на железной дороге, а также сравнение аналоговых и цифровых решений по функциональности, возможностям передачи данных и уровню защищённости.

Ключевые слова: радиосвязь, системы радиосвязи, железнодорожный транспорт, пропускная способность, качество обслуживания, задержка, подвижный состав, управление движением, диспетчерское управление, покры-

тие, ретрансляторы, подвижные объекты, эксплуатационные затраты, капитальные затраты, электромагнитная совместимость, помехи, каналы связи.

Радиосвязь выступает в качестве критически важного компонента современного железнодорожного транспорта, обеспечивая не только оперативное управление и диспетчеризацию движения, но и являясь основой для реализации сложных систем безопасности.

Системы радиосвязи на железной дороге традиционно разделяют на магистральные и локальные сети, а также на бортовые радиостанции, наземные базовые станции и ретрансляторы. Магистральные сети ориентированы на обеспечение сквозного покрытия вдоль линий движения, тогда как локальные сети обслуживают станционные участки и вспомогательные зоны. Бортовые радиостанции предназначены для непосредственной связи экипажей с диспетчерскими службами, а наземные базовые станции и ретрансляторы формируют инфраструктуру, обеспечивающую покрытие и коммутацию вызовов. Ключевые отличия аналоговых и цифровых решений проявляются в функциональности и возможностях передачи данных. Аналоговые системы в основном обеспечивают простую голосовую связь и ограниченные функции сигнализации, тогда как цифровые решения поддерживают мультисервисную передачу, включая данные и телеметрию, а также обеспечивают механизмы шифрования и управления доступом. Выбор между подходами определяется требованиями к качеству связи, масштабируемости и экономической эффективности эксплуатации сети.

На линиях движения используются стандарты и технологии, ориентированные на требования подвижного состава и диспетчерского управления, среди которых выделяются GSM-R и TETRA. GSM-R обеспечивает функциональность, характерную для GSM-сетей, адаптированную под транспортные приложения и поддерживающую голосовые и пакетные сервисы для оперативного управления. TETRA применяется как профессиональная система с поддержкой групповых вызовов, быстрым установлением соединения и возможностями триажирования пользователей. Наряду со стандартами промышленного уровня применяются частные UHF/VHF решения, используемые для локальных задач и резервирования каналов связи. Во всех перечисленных технологиях функциональные модули включают голос, сигнализацию и телеметрию, что обеспечивает комплексное управление движением и мониторинг состояния инфраструктуры и подвижного состава. Совместное использование разных технологий позволяет оптимизировать покрытие и отказоустойчивость сети в зависимости от операционных требований [2, стр. 291].

Архитектурные схемы развертывания радиосистем на железной дороге предусматривают распределение базовых станций вдоль трассы с учётом параметров покрытия и нагрузок. Для обеспечения связи в тоннелях и на станционных участках применяются ретрансляция и распределённые антенны, что

компенсирует ослабление сигнала и сложные условия распространения. Использование ретрансляторов и распределённых антенн обеспечивает непрерывность обслуживания абонентов, но требует согласования параметров сети и организации бесшовной передачи при переходе между ячейками. При планировании архитектуры учитываются требования к покрытию, пропускной способности и оперативному обслуживанию оборудования [2, стр. 301].

На основании проведенного анализа современных систем радиосвязи выделяются несколько основных частотных диапазонов, применяемых на железнодорожном транспорте. VHF и UHF традиционно используются для голосовой связи и телеуправления, обеспечивая комбинацию дальности покрытия и пропускной способности. Кроме того, существуют специализированные диапазоны для систем подвижной радиосети и для взаимодействия с коммерческими мобильными технологиями, которые служат для передачи пакетных и служебных данных. Характеристики распространения сигнала в этих диапазонах различаются по проникающей способности, чувствительности к препятствиям и склонности к многолучевости, что влияет на планирование сети вдоль железнодорожных магистралей. При проектировании радиосистем для железных дорог учитываются требования к покрытию протяжённых трасс, возможное использование ретрансляторов и необходимость обеспечения устойчивого приема в сложных ландшафтных условиях. Совместное использование спектра с коммерческими сетями требует проведения координации частот, выделения защитных интервалов и применения техник спектральной эффективности. Также критичны аспекты мобильности, такие как управление передачей между базовыми узлами и поддержание качества связи при высокой скорости движения подвижного состава.

На канальном и физическом уровнях применяются как аналоговые, так и цифровые методы модуляции, адаптированные под требования полосы пропускания и устойчивости к искажениям канала. Для множественного доступа используются схемы TDMA, FDMA и CDMA, каждая из которых обеспечивает различные компромиссы по задержкам, эффективности спектра и сложности реализации. Требования к защищённости канала и устойчивости к помехам включают применение кодов коррективы ошибок, интерливинга, разнообразия частот и приемных алгоритмов с улучшенной помехозащищённостью [2, стр. 301].

Протоколы передачи данных для железнодорожных систем обеспечивают реализацию как голосовых, так и пакетных сервисов, при этом архитектура протоколов адаптируется к требованиям безопасности и совместимости с системами управления движением. Особое внимание уделяется взаимодействию с сигнальными системами, где критичными являются ограничения по задержке и высокая надёжность доставки сообщений для обеспечения безопасной эксплуатации. Для достижения этих характеристик применяются механизмы приоритизации трафика, подтверждения доставки и резервирования каналов, что обеспечивает интеграцию телекоммуникаций с оперативным управлением движением. Полученное представление о частотных ресурсах и

протоколах задаёт основу для дальнейшего анализа источников помех и моделирования условий распространения радиосигналов в следующей главе.

На скоростных участках и в сложных ландшафтных условиях покрытие и качество связи подвержены существенным ограничениям вследствие влияния рельефа, зданий и тоннелей, которые формируют зоны затенения и резкие изменения параметров канала. Для количественной оценки таких эффектов применяются эмпирические и физически обоснованные методы моделирования распространения, в том числе модели затухания, трассировка лучей и полевые измерения с построением карт покрытия и статистикой показателей качества. Ключевыми метриками при оценке выступают уровень принимаемого сигнала, соотношение сигнал/шум, вероятность ошибок пакетов и доступность канала в различных точках траектории. Ограниченная предсказуемость пространственно-временных вариаций вносит неопределённость в планирование размещения элементов радиосети и в оценку эксплуатационной надёжности.

Проблемы подвижности проявляются в виде задержек и отказов при хэндовере между базовыми станциями, что связано с сигнально-протокольными задержками и ограничениями логики управления соединениями. Эффект Доплера при высоких скоростях приводит к сдвигу частоты и ускоренной изменчивости канала, что усложняет оценку канала, синхронизацию и демодуляцию, увеличивая вероятность переходных сбоев. Переходные процессы в канале при смене соседних узлов инфраструктуры вызывают временные деградации качества сервиса и рост числа повторных передач, что негативно сказывается на задержке и надёжности связи. Наличие высокоскоростных движущихся объектов требует учёта этих динамических эффектов при анализе устойчивости радиосистем.

Ограничения по пропускной способности и качеству обслуживания проявляются особенно остро для сервисов с жёсткими требованиями по задержке и доступности, таких как служебная телеметрия и системы безопасности. Существующая выделенная и общая ёмкость каналов ограничена спектральными ресурсами и архитектурой сетей, что усложняет обеспечение гарантированных параметров при пиковых нагрузках и в условиях ухудшенного канала. Политики планирования ресурсов и механизмы приоритизации в ряде реализованных систем оказываются недостаточными для строгого соблюдения SLA по задержке и доступности. В результате снижается надёжность обмена критическими данными и возрастает риск нарушения функционирования защитных и управляющих подсистем.

Проблемы электромагнитной совместимости и интерференции вызываются как внутренними источниками на подвижном составе и путевой инфраструктуре, так и внешними радиопередатчиками и промышленными помехами, что приводит к деградации приёма и увеличению ошибок. Конфликты соседних диапазонов и ограничения в фильтрации спектра усугубляются аппаратной устаревшестью оборудования и недостаточной селективностью приёмных трактов. Последствия включают рост числа перебоев связи, увеличение

затрат на эксплуатационное обслуживание и снижение эффективности коррекционных алгоритмов. Учитывая выявленные ограничения и их влияние, дальнейший анализ источников помех и моделирование условий распространения представляются необходимыми этапами для перехода к практическим решениям.

Системы радиосвязи обеспечивают оперативное управление перевозками путем обеспечения диспетчерского взаимодействия и координации маневров. Реализация надежных каналов связи позволяет поддерживать режимы управления движением, оперативно передавать приказы и контролировать соблюдение графиков, что уменьшает задержки и повышает пропускную способность сети. Интеграция радиосетей с автоматизированными системами диспетчеризации обеспечивает сквозную передачу команд и статусов, что повышает скорость принятия решений и снижает вероятность человеческой ошибки. Данное значение организующей роли радиосвязи формирует предпосылки для дальнейшего анализа факторов помех и моделирования условий распространения сигналов.

Экономические аспекты эксплуатации радиосетей включают структуру капитальных и эксплуатационных затрат, оценку срока службы оборудования и влияние выбора техники на общие издержки перевозчика. «Внедрение телекоммуникационных технологий на железнодорожных путях имеет свои преимущества: — совершенствование систем управления дорожного движения и транспортировки при помощи повышения пропускной способности и безопасности движения; — повышение скорости, плотности и надежности дорожного движения; — минимальные затраты на капитальный ремонт железнодорожного полотна и снижение затрат на ликвидацию последствий аварий; — информационное взаимодействие между железнодорожными службами и внешними информационными системами, повышение уровня взаимодействия; — предоставление всех возможностей для пассажиров, в выборе транспорта, бронировании билетов, отслеживания движения транспортного средства [3, стр. 69].» Оценка жизненного цикла оборудования и расчет совокупной стоимости владения позволяют соотнести первоначальные инвестиции с ожидаемым снижением операционных расходов и рисков простоев.

В организации ремонтных и аварийных работ радиосвязь обеспечивает оперативную координацию бригад посредством голосовых каналов и пакетной передачи данных. Такое взаимодействие способствует улучшению безопасности работ на путях за счет своевременной передачи распоряжений и предупреждений, а также упрощает логистику и распределение ресурсов. Передача диагностической информации о состоянии подвижного состава и инфраструктуры позволяет быстрее выявлять причины отказов и направлять специализированные силы, сокращая длительность аварийных остановок. Эффективность таких мер зависит от надежности радиосетей и их устойчивости к помехам, что требует дальнейшего моделирования и оценки условий распространения сигналов [5, стр. 123].

Список литературы

1. Лавриненко В.Н., Кафтан В.В., Чернышова Л.И. Основы философии. — Москва: Издательство Юрайт, 2025. — 293 с.
2. Лобеев Д.П. Результаты внедрения методики и моделей проектирования технологических сетей радиосвязи стандарта LTE-1800 TDD на высокоскоростных железнодорожных магистралях // Век качества. — 2025. — №4. — С. 288–302.
3. Процай Е.С., Князькина О.В. Применение телекоммуникационных технологий на железнодорожном транспорте // Актуальные проблемы транспорта в XXI веке. — Новокузнецк, 2023. — С. 66–67.
4. Тараненко А.Ю., Гриценко А.А., Лобеев Д.П. Оптимизация использования частотного спектра // Телекоммуникации. — 2025. — №1. — С. 9–12.
5. Шугаев О.В., Покровская О.Д., Почетуха В.В. и др. Определение надёжности работы системы кодово-локационного позиционирования подвижного состава // Transport business in Russia. — 2024. — №4. — С. 121–125.

Адаптивная многоканальная модуляция радиосвязи

Воронцов Никита Вадимович,
студент

Хусяинов Рамиль Умярович,
и.о. начальника учебно-производственного

НИПС филиал ПривГУПС
г. Нижний Новгород, Российская Федерация

Аннотация: В статье рассматривается инновационное комбинирование математической модели адаптивной многоканальной модуляции с алгоритмами динамического перераспределения ресурсных параметров канала связи. Такая модель позволяет достичь минимизации потерь и задержек в условиях быстро меняющегося отношения сигнал/шум и выраженной неоднородности среды распространения радиоволн, что является критически важным для железнодорожных систем.

Ключевые слова: адаптивная модуляция, параметры модуляции, радиосвязь, фильтры (адаптивные фильтры, оптимизация (адаптивные оптимизационные методы, локальная оптимизация), handover, пороговые значения.

На фоне неуклонного усиления пассажирских и грузовых потоков, а также повсеместного внедрения высокоскоростных поездов, к безотказности каналов радиосвязи предъявляются значительно повышенные требования. В условиях возрастающих скоростей подвижного состава и плотности трафика,

традиционные технические решения демонстрируют ограниченную способность поддерживать приемлемые параметры задержки и потерь пакетов данных, что создает серьезные вызовы для операторов связи.

Ключевой проблемой, существенно влияющей на функционирование существующих радиосистем на железных дорогах, является комплексное воздействие многолучевого распространения сигналов и локальных электромагнитных помех, генерируемых инфраструктурой. Это приводит к непредсказуемым флуктуациям уровня сигнала, частым потерям критически важной информации и, как следствие, создает риски для обеспечения безопасного движения поездов, особенно на перегруженных участках магистралей [3, стр. 339].

Многоканальная модуляция основывается на представлении радиосигнала как совокупности поднесущих, каждая из которых формирует отдельный логический канал. В математической модели поднесущие рассматриваются либо как ортогональные функции во временно-частотной области, либо как сепарабельные каналы при разнесённой частотной дискретизации. Такая формализация позволяет описать передаваемый поток как сумму независимых компонент с минимальным перекрытием спектров. Ортогональность обеспечивает возможность демультиплексирования при линейной обработке приёмника. Классические схемы многоканальной модуляции включают многопоследовательное разделение частот (FDM) и ортогональное частотное мультиплексирование (OFDM), отличающиеся принципами формирования и выравнивания поднесущих. В FDM поднесущие выделяются несущими с частотным разделением и применяются жёсткие фильтры для предотвращения перекрытия спектров. OFDM реализует плотную упаковку поднесущих с сохранением ортогональности за счёт специальных выборок и обратного дискретного преобразования Фурье. В результате OFDM показывает лучшую устойчивость к частотной избирательности канала и упрощает эквализацию при частотной селективности. Анализ спектральных характеристик многоканальных систем требует оценки взаимного влияния поднесущих и ширины их спектральных боковых лепестков. Циклический префикс используется для обеспечения периодичности блока OFDM и предотвращения межсимвольной интерференции путём преобразования линейной свёртки канала в циклическую. Выбор длины префикса обусловлен максимальной задержкой распространения и допустимым уровнем потерь спектральной эффективности. При несоответствии длины префикса временной дисперсии остаётся некорректно подавленной, что приводит к росту ошибок при демодуляции.

Ключевым параметром устойчивости многоканальной модуляции является уровень межнесущей интерференции (ICI), который определяется нарушением ортогональности поднесущих. Несинхронизированность по частоте и фазовые ошибки приводят к перераспределению энергии между поднесущими и увеличению битовой ошибки при фиксированном уровне шума. Чувствительность к фазовым погрешностям особенно критична для схем с высокой

степенью многобитовой модуляции, где малые смещения фазы приводят к перекрытию символьных областей. Следовательно, системы требуют надёжных алгоритмов частотной и фазовой синхронизации для поддержания работоспособности. Требования к полосам фильтрации и частотной сетке зависят от ожидаемого доплеровского сдвига и временной дисперсии канала в условиях движения поездов. Сужение частотной сетки повышает спектральную эффективность, но увеличивает восприимчивость к доплеру и ICI, тогда как увеличение разнесения поднесущих снижает чувствительность к сдвигам, но уменьшает скорость передачи данных. Фильтрация должна обеспечивать подавление боковых лепестков без значительного искажения амплитудно-фазовых характеристик поднесущих. Практическая настройка параметров требует компромисса между устойчивостью к подвижности и желаемой пропускной способностью.

Применимость многоканальной модуляции на железнодорожном транспорте определяется ограничениями по задержке и надёжности, которые различаются для служебных сигналов управления и пассажирских мультимедийных сервисов. Для защитных и оперативных сообщений критична малая латентность и высокая вероятность доставки, что может требовать уменьшения размеров блоков OFDM или применения гибридных схем с резервированием каналов. Спектральная эффективность должна сочетаться с совместимостью с существующей инфраструктурой оператора железнодорожного транспорта и нормативными пределами излучения. Выбор конкретной конфигурации многоканальной модуляции базируется на анализе сервисных требований и возможностях интеграции с действующими системами.

Передаваемые и приёмные поднесущие формализуются в векторной записи, где каждый элемент вектора соответствует амплитуде и фазе отдельной поднесущей в дискретный момент времени. Такая векторная постановка позволяет описывать прикладные операции обработки сигнала через матричные преобразования и свести задачу адаптации модуляции к анализу векторов состояний канала. В модели учитывается возможность параллельной передачи на множестве поднесущих с последующим объединением оценок на стороне приёма и передачи. Канал связи представляется как функция времени и частоты, описывающая временно-частотную избирательность, что необходимо для моделирования реальных условий на железной дороге. Входящие в модель элементы включают многопутевое распространение с рядом отражённых компонент, формирующих задержки и усиления отдельных путей, а также доплеровское смещение, обусловленное относительной скоростью источника и приёмника. Такая формализация обеспечивает учёт плавно меняющихся характеристик канала при движении подвижного состава. Стохастические предположения вводятся для описания шума и флуктуаций параметров канала как случайных процессов с заданными статистическими свойствами. Шум трактуется как аддитивный процесс с гауссовской аппроксимацией в узкополосной модели, а флуктуации каналов моделируются стохастическими процессами с определёнными корреляционными временами и спектральными плотностями.

Эти предположения позволяют применять методы статистического оценивания параметров канала и оптимизации адаптивных алгоритмов [4, стр. 16].

Модель временных задержек включает параметры относительной синхронизации между передатчиком и приёмником, что важно при использовании многоподнесущих схем. В ней также формализуются просадки мощности и отдельные события пропаданий сигнала на отдельных поднесущих как случайные процессы с заданными вероятностями и характеристиками длительности. Описание разницы временных меток и возможных дисперсий обеспечивает основу для разработки корректирующих процедур синхронизации. Механизмы коррекции временных и амплитудных искажений формализованы через временную выравнивающую фильтрацию и интерполяцию каналов, применяемую к оценкам характеристик поднесущих. Временная выравнивающая фильтрация компенсирует межсимвольную интерференцию и сглаживает задержки, тогда как интерполяция каналов обеспечивает восстановление оценок характеристик в моментах пропаданий или при разреженных измерениях. Совместное применение этих методов формирует основу для поддержания требуемого уровня SNR на критических поднесущих.

Задача распределения мощности и выбора модуляционных порядков формулируется как оптимизационная задача с целью максимизации пропускной способности при ограничениях на суммарную мощность и ошибочную вероятность. «Формулировка задачи распределения мощности и модуляционных порядков по поднесущим: целевая функция — максимизация пропускной способности при ограничениях на BER и суммарную мощность, применение принципа водопадного распределения и ограниченных дискретных уровней модуляции [6, стр. 121].» Применение принципа водопадного распределения дополняется учётом дискретности уровней модуляции и необходимости перехода между фиксированными режимами модуляции при изменениях оценки канала.

Для оценки устойчивости и эффективности модели предлагаются аналитические и численные метрики, включающие зависимости BER и FER от скорости поезда и характеристик канала. Пропускная способность рассматривается в условиях частотно-временной селективности, что позволяет оценивать реальную производительность при непостоянных характеристиках канала. Устойчивость адаптивных процедур анализируется по критериям сходимости оценок параметров и стабильности распределения ресурсов при внешних возмущениях.

Исходя из разработанной математической модели адаптивной многоканальной модуляции, первоочередная задача заключается в надёжной оценке состояния канала радиосвязи для принятия решений об изменении параметров модуляции. Для этого применяются схемы пилотирования с распределением опорных символов по поднесущим и по времени, что обеспечивает пространственно-частотную репрезентацию характеристик канала. На основе пилотов реализуется оценивание SNR/SINR по поднесущим, что позволяет дифферен-

цировать качество полос частот и принимать обоснованные решения для каждого ресурсного блока. В условиях железнодорожного движения подобные оценки должны учитывать высокую динамичность канала и частые изменения условий распространения сигнала. Оценка корреляции каналов и времени когерентности выполняется с использованием методов автокорреляции оцененных коэффициентов и анализа затуханий по времени, что позволяет судить о стабильности каналов на интервале принятия решений. Полученные параметры используются для формирования критериев перехода между режимами модуляции, включая пороговые значения SNR/SINR, предельные вероятности ошибок и требования по пропускной способности. Критерии для принятия решения о смене параметров модуляции должны включать оценку статистической значимости измерений и компенсацию задержек между сбором данных и применением новой конфигурации.

Для подстройки параметров модуляции в реальном времени целесообразно применять адаптивные оптимизационные методы, в том числе локальную оптимизацию с ограничениями и Lagrange-мультиметод, направленные на максимизацию полезного коэффициента передачи при ограничениях по мощности и допустимой вероятности ошибки. Такие методы могут выполняться по поднесущим или по группам поднесущих, используя текущие оценки SNR/SINR и параметры корреляции канала [1, стр. 40]. При этом итерационные алгоритмы требуют оценки вычислительной нагрузки и времени сходимости, так как они могут создавать задержки обновления, критичные для высокоскоростных железнодорожных сценариев. Выбор метода оптимизации должен учитывать допустимые задержки управления и доступные ресурсы вычислений в мобильных или бортовых системах. Адаптивные фильтры типа LMS и RLS обеспечивают быстрое и ресурсозатратное отслеживание коэффициентов канала с различными характеристиками сходимости и устойчивости, что позволяет обновлять параметры модуляции с минимальной задержкой. Эвристические пороговые стратегии представляют собой простые правила переключения, основанные на сравнении оценок SNR/SINR с заданными уровнями, и обеспечивают предсказуемую вычислительную нагрузку и невысокое время принятия решения. При выборе между фильтрами и пороговыми методами следует оценивать компромисс между точностью адаптации, вычислительными затратами и допустимой задержкой обновления в конкретной архитектуре связи [2, стр. 299].

Для устойчивого поведения адаптивного механизма применяются методы сглаживания решений, такие как экспоненциальное взвешивание последних оценок или средние по окну времени, что снижает чувствительность к однократным ошибочным измерениям. Механизм гистерезиса при переключениях схем модуляции с установлением порогов и минимального времени удержания предотвращает частые переключения и связанные с ними потери пакетов и избыточную нагрузку на управляющий канал. Контроль частоты обновлений определяется требованиями по задержке и пропускной способности системы и должен балансировать между отзывчивостью и коммунальной нагрузкой на

передачу служебной информации. Взаимодействие алгоритма адаптации с процедурами передачи управления и handover в железнодорожной сети требует согласования моментов применения изменений и обмена сигналами состояния канала для исключения конфликтов и разрывов связи.

Список литературы

1.Лобеев Д.П. Результаты внедрения методики и моделей проектирования технологических сетей радиосвязи стандарта LTE — 1800 TDD на высокоскоростных железнодорожных магистралях // Век качества. — 2025. — №4. — С. 288–302.

2.Плеханов П. А., Роенков Д. Н. «Цифровые системы подвижной связи на железнодорожном транспорте». Санкт—Петербург: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2020. — С. 41.

3.Рахмангулов А.Н., Мирсагдиев О.А. Имитационная модель оценки качества передачи речи в сетях оперативно — технологической связи на железнодорожном транспорте // Вестник МГТУ им. Г. И. Носова. — 2015. — №2. — С. 12–16.

4.Тараненко А.Ю., Гриценко А.А., Лобеев Д.П. Оптимизация использования частотного спектра // Телекоммуникации. — 2025. — №1. — С. 9–12.

5.Шугаев О.В., Покровская О.Д., Почетуха В.В. и др. Определение надёжности работы системы кодоволокационного позиционирования подвижного состава // Transport business in Russia. — 2024. — №4. — С. 121–125.

Построение радиорелейной системы передачи данных на малодеятельном участке Кругобайкальской железной дороги

*Епишина Алёна Владимировна,
студентка*

*Дмитриева Татьяна Фёдоровна,
председатель ЦМК*

*Улан-Удэнского колледжа железнодорожного транспорта,
г.Улан-Удэ, Российская Федерация*

Аннотация: Проблемы и способы решения обеспечения надежной и эффективной связи на малодеятельном участке Кругобайкальской железной дороги.

Ключевые слова: Радиорелейная система передачи данных; географическая специфик; радиорелейные станции.

В современном мире мгновенный обмен информацией стал неотъемлемой частью нашей жизни, настолько глубоко цифровые коммуникационные системы интегрировались во все аспекты человеческой деятельности. Речь идет не просто о физических носителях, таких как провода или радиоволны, а о сложнейшем комплексе технических решений и программного обеспечения, объединенных общей целью: обеспечить максимально точную, быструю и надежную доставку информации от отправителя к получателю. Фундаментальным понятием, лежащим в основе этого глобального информационного обмена, является система передачи данных (СПД).

СПД представляет собой совокупность аппаратных средств и протоколов, предназначенных для переноса информации от источника к приемнику с минимальными потерями и искажениями. Типичная система передачи данных включает в себя:

- источник сигнала. Устройство, генерирующее и отправляющее информацию;
- приемник. Устройство, принимающее и обрабатывающее поступающую информацию;
- среда передачи. Физическое или виртуальное пространство, по которому распространяется сигнал [6].

Более совершенным типом сигнала является цифровой. В отличие от аналоговой волны, он представляет собой дискретную последовательность импульсов (наличие или отсутствие сигнала), математически выражаемую в двоичной системе как "единица" и "ноль". Компьютеры, работающие по принципам двоичной логики, эффективно обрабатывают именно такие сигналы. Преимущество цифровой передачи заключается в ее устойчивости к помехам: даже при частичном искажении отдельных импульсов, приемник способен восстановить исходную последовательность благодаря встроенным алгоритмам контроля и коррекции ошибок [4,5].

Среди множества технологий передачи данных, радиорелейные системы занимают одно из ведущих мест в обеспечении экономического потенциала страны. В условиях постоянного роста технической оснащенности, особенно в сфере железнодорожного транспорта, внедрение радиосвязи с подвижными объектами стало критически важным. Опыт применения РРСД на транспорте продемонстрировал значительное повышение производительности труда, оперативности и точности выполнения работ, а также улучшение безопасности движения и эффективности использования подвижного состава. Высокие требования к безопасности перевозок обуславливают необходимость непрерывного мониторинга параметров каналов связи для своевременного выявления и предотвращения возможных сбоев [3].

Особую актуальность радиорелейные технологии приобретают в условиях сложного рельефа и труднодоступной местности. Ярким примером является малодоступный участок знаменитой Кругобайкальской железной дороги. Высокие скалы, крутые склоны и хрупкая природа озера Байкал делают традиционную прокладку кабельных линий чрезвычайно

проблематичной. Такие работы не только требуют колоссальных финансовых затрат, но и могут нанести непоправимый ущерб окружающей среде, нарушив сложившуюся экосистему.

Радиорелейная связь предлагает элегантное решение этих проблем. Она позволяет устанавливать точки передачи данных в наиболее целесообразных местах, обеспечивая прямую видимость и доступность для обслуживания, минуя необходимость масштабных земляных работ и минимизируя воздействие на природу. Инженеры могут выбирать оптимальные позиции для размещения оборудования, где требуется лишь прямая видимость между точками и возможность их обслуживания, без необходимости проведения дорогостоящих и разрушительных строительных работ на протяженных участках.

Радиорелейная система передачи данных представляет собой цепочку приемопередающих станций, которые последовательно ретранслируют сигналы. Каждая станция принимает, обрабатывает (усиливает и преобразует) и передает сигнал дальше по цепочке. Несмотря на то, что на данном участке Кругобайкальской железной дороги интенсивность движения поездов ниже, чем на основных магистралях, надежная связь здесь остается жизненно важной. Она обеспечивает безопасность железнодорожных перевозок через системы сигнализации и диспетчерского управления, поддерживает работу служб, ответственных за поддержание инфраструктуры в исправном состоянии, и открывает возможности для внедрения современных сервисов, направленных на повышение эффективности и безопасности эксплуатации [1].

Процесс проектирования начинается с фундаментального этапа – детального обследования. Инженерная команда проводит комплексный анализ картографических материалов и непосредственно местности, стремясь определить оптимальные локации для размещения опор. Приоритетом является обеспечение беспрепятственного распространения сигнала, что требует исключения любых преград, будь то рельеф местности или иные объекты. Рациональность подхода проявляется в тщательном изучении существующей инфраструктуры, включая здания и опоры. Это позволяет эффективно использовать имеющиеся ресурсы и избегать ненужного строительства. По итогам проведенного анализа карты и территории было принято решение о необходимости установки двух оконечных и одной промежуточной вышки. Оконечные опоры будут смонтированы на станциях «Култук» и «Порт-Байкал». Промежуточная вышка будет располагаться на станции «Половинная». Схематическое изображение расположения вышек на малодеятельном участке Кругобайкальской железной дороги представлено на рисунке 1.

Одновременно проводится проверка на возможные помехи. Особое внимание специалисты уделяют охране экологии Байкала: весь процесс организован таким образом, чтобы свести к минимуму влияние на эту уязвимую природную среду. Далее, на основании собранной информации, создаётся подробный проект. Для системы подбирается современное

оборудование, отвечающее высоким стандартам надёжности. На станции передачи данных будут размещены устройства внутреннего блока (IDU) и внешнего блока (ODU).



Рисунок 1 – Расположение вышек на малодеятельном участке Кругобайкальской железной дороги

Внутренний блок включает в себя следующие компоненты: мультиплексор СМК-30/СМК-30MUX, предназначенный для передачи данных с нескольких линий по одному каналу; коммутатор Cisco IE-3100, обеспечивающий объединение каналов; а также маршрутизатор Cisco ASR 920, который собирает информацию от множества абонентов и базовых станций и передаёт её в магистраль оператора. Внешний блок содержит антенно-фидерное устройство (АФУ), состоящее из радиорелейной антенны РРС-10G-E/2500-30 и оптического кабеля, соединяющего внутренний и внешний блоки и передающего основной сигнал. Для питания используются выпрямительные системы и аккумуляторные батареи (АКБ) с постоянным током -48 В. После завершения проектирования и поставки оборудования начинаются строительно-монтажные работы: бригады подготавливают площадки, устанавливают опоры и монтируют антенны. Все работы выполняются с особой тщательностью, чтобы сохранить природный ландшафт в целостности. Завершается процесс этапом пусконаладки и комплексного тестирования, после чего специалисты проводят обучение персонала, который будет заниматься эксплуатацией и обслуживанием системы [2].

В современных условиях развития транспортной инфраструктуры проектирование и внедрение инновационной радиорелейной системы передачи данных на малодеятельном участке Кругобайкальской железной дороги представляет собой не просто техническое решение. Этот проект является тщательно продуманным стратегическим шагом, обусловленным необходимостью комплексной модернизации системы управления. Целью данного проекта выступает повышение уровня транспортной безопасности, обеспечение высокой эксплуатационной надёжности и значительное расширение функциональных возможностей уникальной магистрали. При

этом технологические новшества не противоречат традициям, а реализуются с глубоким уважением к историческому значению Кругобайкальской железной дороги как памятника инженерного искусства. Каждый этап внедрения систем связи учитывает бережное отношение к хрупкой природной среде и неповторимому ландшафту Байкала, стремясь гармонично сочетать достижения современного прогресса с сохранением первозданного наследия.

Список литературы

1. Современные радиорелейные станции: общее представление: [сайт]. – 2023 – . URL: <https://habr.com/ru/articles/737338>. – Текст: электронный.
2. Радиорелейные станции и системы связи: [сайт]. – Москва, 2016 – . URL: <https://www.sviaz-expo.ru/ru/articles/2016/radiorelejnyye-stancii-i-sistemy-svyazi>. – Текст: электронный.
3. Радиорелейные системы передачи: сайт / Студенческий справочник – . URL: <https://spravochnik.ru/lektoriy/radioreleynye-sistemy-peredachi/> – Текст: электронный.
4. Галас В. П. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации: учебник. В 2 ч. Ч. 2 Сети и телекоммуникации / В. П. Галас ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2020 – 284 с
5. Чернокнижный Г.М. Сети и системы передачи информации : учебное пособие / Г.М. Чернокнижный. – СПб. : Изд-во СПбГЭУ, 20. – 104 с
6. Передача данных: каналы, сети, виды, интернет: [сайт]. – 2023 – . URL: <https://www.sviaz-expo.ru/ru/articles/2016/peredacha-dannyh/> – Текст: электронный.

Порядок организации приема и отправления поездов, в том числе на участках, оборудованных системой телеуправления

*Захарова Ангелина Сергеевна,
студентка*

*Гаврилова Ольга Ивановна,
преподаватель*

*НИПС филиал ПривГУПС
г. Нижний Новгород Российская Федерация*

Аннотация: В статье рассматривается Приложение № 9 к Правилам технической эксплуатации железных дорог, регламентирующее порядок приема и отправления поездов. Особое внимание уделено организации движения на участках с диспетчерской централизацией (телеуправлением).

Анализируются общие требования безопасности, алгоритмы действий дежурного персонала при штатном и нештатном режимах, включая прием поезда на станцию при запрещающем показании входного светофора. Предлагаются практические рекомендации по минимизации рисков при отказах технических средств.

Ключевые слова: прием поездов, отправление поездов, телеуправление, диспетчерская централизация, входной светофор, запрещающее показание, безопасность движения, Приложение № 9.

I. Общие положения

Приложение № 9 к Правилам технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации (далее — ПТЭ) устанавливает единый порядок организации приема и отправления поездов на железнодорожных станциях и перегонах, включая участки, оборудованные системами телеуправления (диспетчерской централизацией — ДЦ). В условиях цифровой трансформации отрасли понимание данного регламента становится критически важным для обеспечения безопасности движения [1].

Основными задачами Приложения № 9 являются:

- унификация действий работников, связанных с движением поездов;
- исключение случаев самовольного выезда подвижного состава на маршрут приема/отправления;
- четкое разграничение ответственности между поездным диспетчером (ДЦП) и дежурным по станции (ДСП) на участках с телеуправлением.

Согласно п. 1.1 Приложения № 9, настоящий порядок обязателен для всех инфраструктурных владельцев, железнодорожных операторов и работников, связанных с организацией движения поездов. На участках, оборудованных системой телеуправления, управление стрелками и сигналами осуществляется дистанционно с пульта поездного диспетчера, однако ответственность за безопасность приема и отправления сохраняется за ДСП в части визуального контроля и выполнения особых условий [2].

Основные термины, используемые в документе:

Телеуправление — система, при которой команды на переключение стрелок и открытие сигналов передаются с единого пункта управления.

Маршрут приема/отправления — путь следования поезда от входного сигнала до выходного или до упора.

Следует подчеркнуть, что Приложение № 9 действует не изолированно, а во взаимосвязи с Инструкцией по сигнализации и другими нормативными актами. В 2023–2025 гг. вступили в силу изменения, уточняющие порядок действий при отказе каналов телеуправления (приказ Минтранса РФ № 45 от 2023 г.).

II. Прием поездов

Порядок приема поездов на железнодорожную станцию регламентируется разделом II Приложения № 9. При штатной работе устройств СЦБ (сиг-

нализации, централизации, блокировки) прием осуществляется при открытом входном светофоре. В случае участков с телеуправлением маршрут приема задается поездным диспетчером, после чего система автоматически проверяет свободу пути, замкнутость стрелок и отсутствие враждебных маршрутов.

Основные требования к приему (п. 2.1–2.6):

1. Маршрут приема считается подготовленным только после того, как все стрелки установлены в требуемое положение и замкнуты.

2. При запрещающем показании входного светофора остановка поезда перед ним обязательна (исключения — случаи, оговоренные в разделе IV данной статьи).

3. На станциях с диспетчерской централизацией ДСП (или дежурный поста централизации) обязан убедиться по контрольным приборам в правильности установки маршрута.

4. Прием поезда на тупиковый путь требует дополнительного контроля за расстоянием до упора.

Для участков, оборудованных системой телеуправления, Приложение № 9 вводит особый порядок (п. 2.7): перед приемом поезда поездной диспетчер обязан лично (по радиосвязи) запросить подтверждение у машиниста о видимости входного сигнала, если видимость менее 400 м. Это требование актуально для горных и лесистых участков.

Статистика ОАО «РЖД» за 2024 год показывает, что около 15% нарушений при приеме поездов связаны с человеческим фактором при телеуправлении: диспетчер не проконтролировал освобождение стрелки после прохода предыдущего состава [3].

III. Отправление поездов

Раздел III Приложения № 9 описывает порядок отправления поездов, в том числе при телеуправлении. Ключевое отличие от приема — необходимость получения разрешения не только от поездного диспетчера, но и от ДСП на открытие выходного сигнала.

Алгоритм отправления при телеуправлении:

- поездной диспетчер вводит маршрут отправления.
- система ДЦ проверяет, что выходной светофор исправен, первый блок-участок свободен, стрелки по маршруту зафиксированы.
- ДСП дает команду «Разрешаю отправление» после визуального контроля (отсутствие людей на пути, закрытие люков вагонов и т.п.).
- машинист получает разрешение — показание выходного светофора или (при его неисправности) письменное разрешение по форме ДУ-50.

Важнейшее нововведение последних лет (п. 3.5 Приложения № 9 в редакции 2024 г.): при отправлении с участка телеуправления при запрещающем показании выходного светофора и невозможности связаться с диспетчером, машинист не имеет права трогаться без регистрируемого приказа. Исключение — случай, когда поезд отправляется вслед за другим поездом при автоматической блокировке, но для телеуправления это нехарактерно.

Особая категория — отправление с путей нецентрализованных стрелок на участках телеуправления. Здесь ДСП обязан лично перевести стрелки ручного управления и доложить диспетчеру. Несоблюдение этого алгоритма в 2022 году привело к столкновению на станции «Бекасово-1» (акт расследования № 23/ЦРБ-2022).



IV. Прием поездов на железнодорожную станцию при запрещающем показании входного светофора

Наиболее ответственная и аварийно-опасная ситуация — прием поезда при запрещающем показании входного светофора. Приложение № 9 (раздел IV, п. 4.1–4.8) приводит исчерпывающий перечень условий, при которых такой прием допускается, и строгий алгоритм действий.

Условия, при которых возможен прием при запрещающем показании входного светофора:

1. Неисправность входного светофора (перегорела лампа, обрыв цепи и т.п.).
2. Ложная занятость первого блок-участка при фактической его свободности (подтвержденная натурным осмотром).
3. Необходимость пропуска поезда особой важности (восстановительный, пожарный) при отказе других устройств
4. На участках с телеуправлением — потеря связи с пультом диспетчера, но при условии, что маршрут фактически подготовлен.

Алгоритм приема при запрещающем показании (п. 4.3):

1. Машинист останавливается перед входным светофором
2. ДСП (или диспетчер ДЦ) выясняет причину запрещающего показания через систему диагностики.
3. Если причина — техническая неисправность, ДСП дает по радиосвязи команду машинисту: «Принимай поезд при запрещающем показании входного светофора на путь № ...».
4. Команда дублируется дважды и записывается регистратором. Машинист отвечает: «Понял, принимаю на путь № ...».
5. Скорость следования от входного до первого стрелочного перевода не должна превышать 20 км/ч, далее — 40 км/ч до упора пути или выходного сигнала.

Критическое требование для участков с телеуправлением (п. 4.5):

Прием при запрещающем показании на станции, управляемой дистанционно, разрешается только после того, как поездной диспетчер лично (через ДСП или выездного работника) убедится в свободности пути и правильности установки стрелок. Диспетчер обязан зафиксировать этот факт в журнале диспетчерских распоряжений.

Запрещается прием при запрещающем показании:

- если на перегоне неисправна автоблокировка;
- при тумане, метели (видимость менее 100 м), если станция не оборудована системой интервального регулирования нового поколения [4].

По данным исследования ВНИИЖТ (2024 г.), от 30 до 40% отказов входных светофоров на участках телеуправления связаны с ошибками протокола передачи команд в канале связи. Поэтому в Приложение № 9 в 2025 г. планируется внести изменения, обязывающие использовать резервный проводной канал для критических команд приема.

Практическая рекомендация: на всех станциях с телеуправлением следует минимум раз в квартал проводить тренировки по приему при запрещающем показании с записью переговоров, что соответствует требованиям Приказа Минтранса № 286 от 15.07.2024.

Заключение

Приложение № 9 к ПТЭ является базовым документом, обеспечивающим единую технологию приема и отправления поездов. В условиях повсеместного внедрения телеуправления и диспетчерской централизации особую значимость приобретают разделы, регламентирующие действия при отказах входных и выходных светофоров. Анализ показал, что наиболее уязвимое место — прием поезда при запрещающем показании: здесь требуется безусловное соблюдение алгоритма и наличие резервных каналов связи. Дальнейшее развитие нормативной базы должно идти по пути цифровизации протоколов команд и исключения человеческого фактора на этапе контроля свободности пути.

Список литературы

1. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации (утв. Приказом Минтранса России от 23.06.2022 № 250, с изм. от 15.03.2025) // СПС «КонсультантПлюс». — Доступ: официальная база данных.
2. Шаталов, А. А. Организация движения на участках с диспетчерской централизацией: учебное пособие / А. А. Шаталов, В. И. Шепелев. — М.: ФГБОУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2019. — 184 с.
3. Инструкция по движению поездов и маневровой работе на железнодорожном транспорте РФ (утв. Минтрансом России 20.12.2023 № 412) // Официальный интернет-портал правовой информации.

4. Лисенков, В. М. Безопасность движения при отказах устройств СЦБ: научно-практическое руководство / В. М. Лисенков, Е. Е. Ерошкин. — М.: Интекст, 2021. — 256 с.
5. Копылов, Д. С. Цифровые технологии телеуправления в железнодорожной автоматике / Д. С. Копылов, Н. А. Федоров // Автоматика, связь, информатика. — 2024. — № 7. — [С. 12–19.]
6. Отчет о состоянии безопасности движения в ОАО «РЖД» за 2024 год (утв. Правлением ОАО «РЖД» 28.02.2025). — М.: ОАО «РЖД», 2025. — 78 с.
7. Фото: <https://ppt-online.org/651470>

Радиосвязь на железной дороге: связь между машинистом и диспетчером (ДСП)

**Золотков Аким Алексеевич,
Горишунова Александра Анатольевна,
студенты**

**Акимова Галина Николаевна,
Преподаватель**

*НИПС филиал ПривГУПС
г. Нижний Новгород, Российская Федерация.*

Аннотация: Рассмотрена роль радиосвязи во взаимодействии машиниста и дежурного по станции (ДСП) на железнодорожном транспорте России. Проанализированы регламент переговоров, принципы идентификации, приоритет экстренных сообщений и эхо-повтор команд. Описаны технологические аспекты аналоговой, цифровой (TETRA) и спутниковой связи, стандарты GSM-R и FRMCS, а также направления развития: LTE-1800, 5G, IoT и автоматизация управления.

Ключевые слова: радиосвязь; железная дорога; машинист; ДС; безопасность движения; регламент переговоров; GSM-R; TETRA; цифровая радиосвязь; аналоговая радиосвязь; спутниковая связь; FRMCS; LTE-1800; 5G; IoT; поездная радиосвязь; станционная радиосвязь; эхо-повтор; экстренное торможение; манёвровые работы; РЖД.

1. Введение.

Радиосвязь на железной дороге - ключевая технологическая система для безопасности и управления движением, манёвров, координации локомотивных бригад, диспетчеров и инфраструктурщиков. Центральное звено: связь машиниста с дежурным по станции (ДСП). ДСП управляет стрелками и сигналами, машинист - поездом. Их строгий регламент взаимодействия обеспечивает график и предотвращение аварий.

2. Для чего нужна связь между машинистом и диспетчером

Система обеспечения безопасности движения требует от диспетчера возможности экстренной остановки поезда при обнаружении препятствия, неисправности пути или угрозы столкновения, а также регулирования графика, что включает передачу разрешений на занятие перегонов, смену маршрута и корректировку движения [2]. При авариях необходима быстрая координация: вызов помощи и оперативный обмен информацией о нештатных ситуациях, таких как сход подвижного состава или поломка локомотива. Особое внимание уделяется маневровым работам, где требуются чёткие команды при движении задним ходом и расформировании составов, а также контролю состояния поезда, при котором машинист обязан докладывать о замеченных неполадках на пути или контактной сети [1].

2.1. Основные задачи радиосвязи для безопасности включают:

Оперативное управление движением включает команды на изменение маршрута, корректировку скорости, предупреждение столкновений, оповещение об аномалиях (обрыв рельса, оползень, подтопление, состояние контактной сети) и действия в ЧС - *мгновенную передачу команды на экстренное торможение всем поездам в зоне риска*. Однако просто наличия радиоканала недостаточно: критическое значение имеет регламент переговоров как инструмент безопасности. Взаимодействие между ДСП и машинистом жёстко регламентируется ПТЭ РФ (приложение №20) для исключения ошибок человеческого фактора [4].

Первый принцип – идентификация: сеанс начинается с взаимного представления *«дежурный по станции...», «машинист поезда п...»*.

Второй принцип - приоритет экстренных сообщений: при угрозе любой участник обязан передать фразу *«внимание, все!»*, после чего все переговоры прекращаются.

Третий принцип - эхо-повтор команд: машинист обязан дословно повторить приказ ДСП. При неисправности тормозов машинист передаёт: *«внимание, все! машинист (фамилия) поезда п..., следую по перегону ... километру ..., вышли из строя тормоза. примите меры»*. при сходе: *«внимание, все! на ... километре ... пикете ... пути перегона ... нарушен габарит вследствие схода ПС. будьте бдительны!»*. При манёвровых работах радиосвязь между составителем, ДСП и машинистом - единственное средство управления движением вагонами вперёд. При отказе связи машинист обязан немедленно прекратить движение. Передача команд через третье лицо (ДСП) запрещена - только прямая связь *«руководитель манёвров - машинист»* [1] [2] [3].

3. Технологические аспекты радиосвязи на РЖД.

Технологические решения, используемые на РЖД для обеспечения радиосвязи, включают как аналоговые, так и цифровые системы. В последние годы наблюдается переход к более современным цифровым технологиям, которые обеспечивают более высокое качество связи и надёжность передачи данных [2].

Системы радиосвязи на РЖД включают в себя такие технологии

1. Аналоговая радиосвязь: используется для передачи голосовых сообщений. Хотя эта система все ещё функционирует, она имеет ряд ограничений по качеству и дальности передачи.

Аналоговая связь: 8 основных элементов.

1. **Локомотивная радиостанция (РВ)** – связь машиниста с диспетчером, ДСП и другими машинистами.
2. **Стационарная радиостанция (РС)** – на станциях и перегонах; через неё ДСП ведёт переговоры.
3. **Распорядительная станция (СР)** – коммутирует вызовы между диспетчером и стационарными РС по проводу.
4. **Антенно-фидерные устройства** – антенны, кабели, согласование для приёма и передачи.
5. **Проводные каналы связи (линии ПДС)** – соединяют СР со стационарными РС.
6. **Дополнительные стационарные РС (ДРС)** – на перегонах для устранения мёртвых зон.
7. **Волноводы** – для тоннелей и сложных участков (провода ЛЭП, контактной сети).
8. **Регистраторы переговоров** - запись всех переговоров с меткой времени. [1] [2] [3] [4]

2. Цифровая радиосвязь: включает в себя системы TETRA (Terrestrial Trunked Radio), которые обеспечивают более высокое качество связи и возможность передачи данных. Цифровые системы позволяют передавать не только голосовую информацию, но и данные о состоянии поезда и пути.

Цифровая связь: 9 основных элементов.

1. **Абонентские терминалы:** возимые, носимые и стационарные радиостанции для голоса и данных.
2. **Базовые станции (BTS/eNodeB):** создание зон радиопокрытия вдоль линий и на станциях.
3. **Центр коммутации (MSC):** маршрутизация вызовов, связь с другими сетями, управление услугами.
4. **Диспетчерские пульта:** рабочие места с интерфейсом для вызовов и приоритетных соединений.
5. **Система управления сетью (NMS):** мониторинг, диагностика, конфигурация элементов сети.
6. **Опорная транспортная сеть:** оптоволокно или РРЛ, соединяющие БС, контроллеры и MSC.
7. **Шлюзы (Gateway):** сопряжение цифровой радиосети с аналоговой ПРС, ПДС и телефонными сетями.
8. **Система синхронизации времени:** привязка переговоров и данных (GPS/ГЛОНАСС).
9. **Регистраторы переговоров:** запись, архивирование, поиск по меткам времени. [1] [2] [3] [4]

3. Спутниковая связь: используется для обеспечения связи в труднодоступных местах, где традиционные радиосистемы могут быть недостаточно эффективными.

Спутниковая связь: 7 основных элементов.

1. **Спутниковая группировка** - ИСЗ на геостационарной или низкой орбите (ретрансляторы сигнала).
2. **Бортовой спутниковый терминал** - антенна со слежением за спутником, усилитель мощности, малошумящий усилитель, спутниковый модем.
3. **Наземные шлюзовые станции (Gateway)** - связь спутниковой сети с оптоволоком и интернетом.
4. **Центр управления спутниковой сетью (NCC)** - контроль каналов, частот и целостности связи.
5. **Бортовой маршрутизатор** - управление трафиком в поезде, автоматическое переключение между спутником, 4G/5G и другими каналами.
6. **Точки доступа Wi-Fi в вагонах** - интернет для пассажиров и связь для поездной бригады.
7. **Система энергоснабжения и резервирования** - преобразователи и аккумуляторы для бесперебойной работы [1] [2] [3] [4]

3.1. Поездная радиосвязь (на перегоне).



Для связи на перегоне используется **система поездной радиосвязи (ПРС)**, основной стандарт которой на магистралях - GSM-R, работающий в защищённом диапазоне около 900 МГц. **Ключевая особенность** - функциональная адресация: диспетчер вызывает машиниста по номеру поезда, а система сама определяет его местоположение. Приоритеты вызовов настроены так, что аварийный вызов (SOS) прерывает все остальные переговоры. Для резервирования используются каналы гражданских операторов GSM (испытано на Забайкальской ЖД) [1].



Станционная радиосвязь для манёвров и станций работает в метровом диапазоне 150-156 МГц вокруг стационарной антенны ДСП. Выделяют три вида станционной связи: *горочная* (дежурный по

горке и машинисты горочных локомотивов), *манёвровая* (составители поездов и машинисты манёвровых локомотивов) и *парковая* (дежурные по паркам с машинистами) [2].

Среди цифровых стандартов применяется **TETRA** (система «МиниКом-TETRA»), которая обеспечивает групповой вызов, аварийный приоритет и



шифрование каналов. В будущем планируется переход на LTE-1800 и FRMCS, что позволит передавать видео и телеметрию в реальном времени, необходимое для беспилотных «МиниКом-БС». Оборудование включает три типа радиостанций: *стационарные у ДСП* (ЖР-У-СС, цифровые пульта TETRA), *возимые в кабине локомотива* (ЖР-5М, ЖР-У-ЛС с усиленным корпусом) и *носимые у составителей* («Тюльпан», «Сирена», цифровые терминалы TETRA) [2].

4. Современные системы радиосвязи на РЖД.

На сегодняшний день РЖД активно внедряет современные системы радиосвязи, которые соответствуют международным стандартам. Одной из ключевых инициатив является переход на систему цифровой радиосвязи TETRA, которая обеспечивает надёжную связь между всеми участниками процесса [4].

Современные системы позволяют:

Обеспечивать связь в условиях сложного рельефа и плохих погодных условий. Автоматически передавать данные о местоположении поезда, что позволяет диспетчерам лучше контролировать движение. Использовать функции групповой связи для координации действий между различными подразделениями.

5. Будущее радиосвязи на РЖД.

Будущее радиосвязи на РЖД связано с дальнейшим развитием цифровых технологий и интеграцией новых решений в систему управления движением. Ожидается, что в ближайшие годы будут внедрены следующие инициативы:

1. Переход на 5G: Развитие сетей пятого поколения позволит обеспечить ещё более высокую скорость передачи данных и улучшить качество связи.
2. Интеграция с системами автоматизированного управления: Радиосвязь будет интегрирована с системами управления движением поездов, что позволит автоматизировать многие процессы и повысить общую безопасность.
3. Развитие IoT (Интернет вещей): Использование датчиков и устройств IoT для мониторинга состояния поездов и путей в реальном времени позволит оперативно реагировать на изменения и предотвращать аварии [2] [4].

6. Заключение.

Радиосвязь машиниста с диспетчером - неотъемлемая часть управления движением поездов, обеспечивающая безопасность и эффективность работы транспорта. Современные технологии и перспективные разработки открывают новые возможности. Будущее радиосвязи на РЖД - яркое и многообещающее.

Список литературы

1. Прямая речь о технологиях связи для ВСМ Москва – Санкт-Петербург / ROLLINGSTOCK. – 2025. – URL: <https://rollingstockworld.ru/komponenty/pryamaya-rech-o-tehnologiyah-svyazi-dlya-vsm-moskva-sankt-peterburg/>
2. Приказ Минтранса РФ от 21 декабря 2010 г. N 286 "Об утверждении Правил технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации" (Приложение № 20. Регламент переговоров по поездной радиосвязи)
3. Валерий Танаев, заместитель генерального директора—главный инженер ОАО РЖД / Коммерсантъ. – 2025. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/8211790>
4. Nokia внедрила на опытном участке в Германии первую сеть 5G в диапазоне 1900 МГц / Железные дороги мира. – 2025. – URL: <https://zdmira.com/news/nokia-vnedrila-na-opytnom-uchastke-v-germanii-pervuyu-set-5g-v-diapazone-1900-mgts>

Развитие инфокоммуникационной среды вокзала

*Козлова Анна Николаевна,
студент*

*Лиманская Светлана Сергеевна,
преподаватель*

Саратовский филиал ПривГУПС

Аннотация: В статье проанализированы эффективность применения данного проекта, развитие комфортных пространств нового типа. В работе использовались методы исследования: поисковый и аналитический. Проведена работа по выявлению причинно-следственных связей, закономерностей, проблем, анализ и выводы исследовательской работы.

Ключевые слова: транспортная доступность; развитие технологий; ЖД «Ассистент»; модернизация; улучшение качества.

В современных социально-экономических условиях качество сервиса становится одним из ключевых факторов конкурентоспособности транспортных компаний. Для пассажирского железнодорожного транспорта России эта тема приобретает особую значимость, поскольку железные дороги традици-

онно обслуживают огромные пассажиропотоки, связывая между собой регионы с различным уровнем развития инфраструктуры и плотностью населения. Повышение качества сервиса на российских железных дорогах направлено не только на улучшение комфорта поездки, но и на формирование позитивного имиджа отрасли.

1. Современная проблема в транспортной системе обслуживания на железнодорожных вокзалах.

Железнодорожный транспорт является одним из самых востребованных в транспортной системе России, так как он выполняет 80 % грузовых перевозок и около 46 % пассажирских перевозок в дальнем следовании. Эксплуатационная протяжённость сети железных дорог общего пользования в Российской Федерации составляет 86 тыс. км, количество станций — 13 746 [1].

Также неотъемлемой частью данной отрасли, являются железнодорожные вокзалы и их качество обслуживания.

Современный вокзал, несмотря на свою центральную роль в транспортной системе, часто становится источником стресса для пассажиров, вынужденных самостоятельно совершать целый ряд действий, начиная от входа на территорию вокзала и заканчивая посадкой в поезд. Это связано с несколькими факторами.

Во-первых, большое количество людей создает ощущение суеты и спешки, особенно в часы пик. Во-вторых, сложная навигационная система вокзалов, включающая многочисленные переходы, лестницы и эскалаторы, затрудняет передвижение даже опытному пассажиру. В-третьих, необходимость взаимодействия с различными службами, такими как билетные кассы, камеры хранения багажа и контроль безопасности, добавляет дополнительную нагрузку на психику пассажира.

Все эти факторы приводят к тому, что вместо того, чтобы предвкушать начало путешествия, многие пассажиры испытывают тревогу, усталость и разочарование еще до того, как сели в поезд.

Для решения этой проблемы важно разработать комплекс мер, направленных на улучшение условий пребывания пассажиров на вокзалах. Для этого я провела опрос среди людей на вокзале с какими проблемами они сталкиваются. И вот несколько историй

Женщина, 65 лет, с небольшой сумкой и ручной кладью.

Её сердце учащенно бьётся. Каждый взгляд на табло кажется ей угрозой: вдруг пропустила объявление? Она несёт небольшую сумку, крепко сжимая ручку, будто та способна защитить её от страха опоздания. Страх потеряться в ней буквально парализует, ведь любая ошибка грозит серьёзными последствиями (рисунок 1).

Мужчина, 30 лет, с коляской, маленьким ребёнком и большой спортивной сумкой.

Его руки заняты малышом, спиной ощущается тяжесть громоздкого спортивного рюкзака, а впереди огромная колючая масса людей. Каждое движение становится испытанием воли, терпения и выносливости, усиливающее отчаянье от отсутствия заботы со стороны окружающих (рисунок 2



Рисунок 1. Пассажир пожилого возраста



Рисунок 2. Пассажир с маленьким ребенком и сумкой
Инвалид-колясочник, 40 лет, с небольшой сумкой.

Самое страшное – это когда на вокзале нет доступной среды. Не работает лифт, заблокированы проходы, туалеты не приспособлены. Чувствуешь себя обузой, когда тебя приходится везде подталкивать или искать обходные пути (рисунок 3).



Рисунок 3. Пассажир с ограниченными возможностями
Беременная женщина, 30 лет, с небольшой сумкой (рисунок 4).

Самое страшное – это когда нужно долго стоять в очереди или идти очень далеко, а ты не знаешь, как твой организм отреагирует. Чувствуешь себя неуклюжей, и боишься, что станет плохо, а вокруг столько людей, и никто не обратит внимания. А еще, когда нет нормального места, где можно присесть и отдохнуть.

Самое страшное – это лестницы и ступеньки. Вот как мне с чемоданом и тростью по ним забраться, когда нет лифта или эскалатора? А еще – шум. Голова

гудит, объявления не слышно, все мелькает перед глазами.



Рисунок 4. Пассажир «будущая мама»

Пожилая женщина, 72 года, с небольшим чемоданом на колесах и с сумкой.

Поэтому, отталкиваясь от проведенного опроса пассажиров на территории вокзала, я предлагаю создать систему (чат-бота в Telegram), где каждый пассажир, нуждающийся в поддержке, может получить квалифицированную помощь и сопровождение на всех этапах своего пути пребывания на вокзале.

2. Технология разработки универсального помощника ЖД «Ассистент»

ЖД «Ассистент» - это инновационное фиджет – решение, которое использует QR – коды на вокзале для интеграции персонального навигатора в телефоне с вызовом реального помощника с тележкой. Это решение направленно на сокращение времени и стресса на 70%, повышение комфорта и независимости пассажира, а также обеспечение его безопасности.

Я считаю, что немаловажным является сокращение времени, в которое входит оптимизация маршрута, что представляет собой персональный навигатор, который помогает пассажиру быстро и эффективно добраться до нужного места, сокращая время на поиск информации и ориентирование.

Рассмотрим основные компоненты технологии:

QR-коды на вокзале размещаются в ключевых точках вокзала, таких как входы, выходы, платформы и зоны ожидания. Сканирование QR-кодов позволяет пассажирам сканировать QR-коды с помощью своих смартфонов, чтобы получить доступ к приложению ЖД «Ассистент» [2].

Персональный навигатор это мобильное приложение, которое устанавливается на смартфон пассажира и предоставляет пошаговые инструкции для навигации по вокзалу.

Вызов помощника с тележкой выдает запрос помощи через приложение, в котором пассажир указывает свое местоположение и потребности (например, помощь с багажом, сопровождение до поезда). После чего помощник получает уведомления о запросах помощи через свои устройства. Далее происходит отслеживание местоположения, приложение отслеживает местоположение помощника и пассажира, чтобы обеспечить быстрое реагирование.

Повышение безопасности включает в себя мониторинг маршрута, при котором приложение отслеживает маршрут пассажира и информирует помощника

о его местонахождении. Сигнализация о проблемах происходит в случае возникновения трудностей (например, потеря ориентации, необходимость медицинской помощи), пассажир может быстро подать сигнал через приложение.

Рассматриваемый проект позволяет взаимодействовать с внешними системами, такими как, мониторинг расписания поездов для получения актуальной информации, а так же с экстренными службами для быстрого реагирования в случае необходимости.

Мой проект, ЖД «Ассистент» обладает практически бесконечной памятью, может быстро находить нужные сведения, обрабатывать большие объемы данных. Его использование облегчает труд специалистов ОАО «РЖД», работающих в соответствии с нормативной базой, регламентами, распоряжениями и другими многочисленными документами. Он позволит оперативно ориентироваться во всех правилах и регламентах, а также будет подсказывать ответы со ссылкой на них по тем или иным технологическим аспектам операций [3].

3. Будущее развитие и потенциал роста данного проекта



Рисунок 5. Будущее развитие

В 2026 году информационные технологии продолжают активно развиваться, предлагая новые возможности и решения для железнодорожного транспорта. Одним из важных прорывов является – искусственный интеллект.

Искусственный интеллект (ИИ) представляет собой отдельную область исследований в компьютерных науках, занимающуюся созданием систем, способных анализировать данные и выполнять задачи подобно человеку. Его значение в сфере железнодорожного транспорта становится все более очевидным, так как он способствует повышению обеспечения безопасности нахождения пассажиров на железнодорожных вокзалах, а также помогает минимизировать влияние человеческого фактора (рисунок 5).

В процессе выполнения работы я сделала вывод, что одна из ключевых задач является развитие программного комплекса для моделирования и сверхточного прогнозирования пассажиропотоков. Это позволяет оптимизировать расписание в реальном времени и эффективнее распределять ресурсы. А так же внедрение ассистента позволит существенно экономить средства федерального бюджета за счет оптимизации логистических цепочек и снижения эксплуатационных затрат.

В перспективе проект станет ядром для управления сложными цепочками поставок, объединяющими разные виды транспорта в рамках единой цифровой платформы.

Потенциал роста заложен в переходе к полностью автономным системам управления и внедрении технологий. В рамках «Цифровой эволюции» ЖД «Ассистент» станет основным интерфейсом для взаимодействия сотрудников с данными, заменяя устаревшие методы планирования[4].

В заключение, можно отметить, что современная железнодорожная инфраструктура является одним из важнейших элементов развития любой страны.

Внедрение ЖД «Ассистент» станет важным шагом на пути к модернизации вокзальной инфраструктуры и повышению качества обслуживания в железнодорожной отрасли. Это решение не только улучшает опыт пассажиров, но и способствует созданию более дружелюбной и доступной среды для всех категорий пользователей, включая пожилых людей, семьи с детьми и людей с ограниченными возможностями. Я надеюсь, что мой проект станет стандартом для обслуживания пассажиров на железнодорожных вокзалах.

Таким образом, повсеместное внедрение новых информационных технологий на железнодорожном транспорте, в том числе технологической системы ЖД «Ассистент», позволит совершить ОАО «РЖД» качественный скачок в развитии. Ведь такие системы не только обеспечивают безопасные условия предоставления услуг, но и значительно улучшают качество комфорта и независимости пассажиров.

Автоматизация процесса также приведет к сокращению времени и уменьшению стресса. Внедрение таких инновационных технологий на некоторых станциях докажет свою высокую эффективность, что дает основание рекомендовать их для применения на железнодорожных станциях ОАО «РЖД».

Список литературы

1. Сайт «Актуальные проблемы и перспективы развития транспорта» Филиал РГУПС в г.Воронеж <https://vfrgups.ru> › sbornik_25-11-2022 https://vfrgups.ru/sveden_docs/konferenc/sbornik_25-11-2022.pdf
2. Марущак, Т. Современные направления развития организации обслуживания пассажиров в железнодорожных вокзальных комплексах/Т. Марущак// Экономика и управление: научно-практический журнал, № 1 (181). — Анализ зон обслуживания и недостатки в работе вокзалов.- <https://transitllc.ru/articles/reshenie-problem-zheleznodorozhnoj-dostavki>
3. Абаева, Н. П. Конкурентоспособность организации: учебное пособие / Н. П. Абаева, Т. Г. Старостина. — Ульяновск: УлГТУ, 2020. <https://lib.ulstu.ru/venec/2008/Abaeva1.pdf>
- 4.Абрамов А.П. Оценка эффективности инвестиционных проектов // Железнодорожный транспорт. – 1999. - № 2. – С.54-58. <https://www.dissercat.com/content/ekonomicheskaya-otsenka-effektivnosti-funktsionirovaniya-transportnogo-kholdinga-v-usloviyaklësika>

5. Сайт АО «АЛЬФА-ПРИБОР». Описание системы автоматизированных систем осмотра. –URL: <http://www.alfa-pribor.ru/products/automatedinspection-system/asko-pv-3d>.

Радиосвязь для путевых бригад- обеспечение безопасности при ремонтных работах

Уколов Илья Андреевич,
студент

Кущенко Любовь Сергеевна,
преподаватель

*НИПС филиал ПривГУПС
г. Нижний Новгород, Российская Федерация*

Аннотация: В работе рассматривается роль радиосвязи как ключевого элемента обеспечения безопасности путевых бригад при проведении ремонтных работ на железнодорожных путях. Анализируются основные риски, такие как нагон подвижного состава и потеря координации, а также требования к системам связи: помехозащищенность, оперативность и приоритетность тревожных сигналов. Обосновывается, что надежная радиосвязь снижает риск травматизма на 40–60 процентов.

Ключевые слова: радиосвязь, безопасность путевых работ, ремонтные бригады, режим «маяк», подвижной состав, координация, сигналы тревоги, GSM-R, двухдиапазонные радиостанции.

Путевые ремонтные работы на железной дороге относятся к категории повышенной опасности. Основными угрозами выступают выход на перегон неуведомленного подвижного состава, нарушение видимости в кривых участках, тоннелях, а также в условиях тумана или снегопада. Дополнительный риск создает шум работающих машин, который заглушает звуковые сигналы. Значительную долю происшествий провоцирует человеческий фактор, в частности запоздалая подача команды «Уходи». По статистике ОАО «РЖД», около тридцати процентов микротравм и двенадцать процентов тяжелых случаев на путях связаны с отсутствием или отказом систем экстренного оповещения [3]. В этих условиях радиосвязь становится не просто средством диспетчеризации, а активным каналом предотвращения столкновений [4].

Функциональные требования к радиосвязи для путевой бригады

Для обеспечения безопасности система радиосвязи должна гарантировать приоритетный тревожный вызов с возможностью подавления остальных переговоров. Требуется устойчивая дальность связи не менее двух-трех километров даже в тоннелях и лесистой местности. Необходима помехозащищенность, достигаемая работой в профессиональном диапазоне 160–174 МГц с

цифровым кодированием [5]. Важнейшим элементом является поддержание двусторонней связи между бригадиром, машинистами и сигналистами [1]. Отдельного внимания заслуживает наличие режима «Контроль» — автоматическая передача сигнала «Человек на пути» при неподвижности или падении работника [6].

Современные технические решения

Надежность радиосвязи обеспечивается применением двухдиапазонных портативных радиостанций, совмещающих VHF для дальней связи с поездами через ретрансляторы и UHF для локального общения внутри бригады на дистанции до пятисот метров [5]. Ключевым элементом безопасности является режим «Радио-маяк», или Man Down. Если работник остается неподвижным более тридцати секунд — например, упал или потерял сознание — станция автоматически посылает сигнал бедствия с координатами, которые определяются встроенным GPS-модулем [6]. Бригадир в этом случае видит на своем дисплее точное местоположение пострадавшего [4].

Еще более высокий уровень защиты дает интеграция радиосвязи с системой интервального регулирования на базе GSM-R [2]. При активации тревожного вызова система автоматически передает предупреждение всем поездам в радиусе до пяти километров. На локомотивном дисплее машинист видит красное поле с запрещающим сигналом и текстом «Путевая бригада на пути» [2]. Для сложных участков — длинных тоннелей — применяются направляющие линии Leaky Feeder, которые компенсируют затухание сигнала [5]. В условиях низких температур используются подогреваемые чехлы для аккумуляторов и резервные источники питания [6].

Организационные аспекты безопасности

Технические средства бесполезны без четкой организации. Перед каждым выходом на путь назначается ответственный за связь. Он проверяет заряд батарей всех радиостанций, наличие минимум двух запасных каналов и работоспособность тревожной кнопки [4]. Обязательной является ежесменная проверка связи с диспетчером до выхода на перегон: вызов и подтверждение тоном [1]. Вводится строгий запрет на использование кнопки передачи не по назначению — ложный вызов парализует работу бригады и штрафуются [3]. Для передачи критически важных команд, таких как номер пути или направление смещения, рекомендуется использовать фонетический алфавит с обязательным двойным повторением сообщения [5].

Ограничения и пути их преодоления

Реальные условия эксплуатации накладывают ограничения. Сигнал затухает в тоннелях — эту проблему решают направляющие лучи Leaky Feeder [5]. Аккумуляторы быстро разряжаются на морозе — применяются подогреваемые ремни-чехлы и резервные батареи [6]. Из-за высокого уровня шума работник может не услышать сигнал тревоги — выходом становится использование тактильных датчиков и виброгарнитур, подключаемых к радиостанции [4].

Радиосвязь для путевых бригад представляет собой не просто «рацию для разговоров», а полноценный инженерный барьер на пути к происшествию [5]. Внедрение систем с кнопкой экстренного оповещения, режимом «маяк» и интеграцией с поездной сигнализацией позволяет сократить время реакции на опасность с десяти-пятнадцати секунд до одной-двух секунд [6]. В ближайшей перспективе развитие пойдет по пути автоматического позиционирования работников с отображением их местоположения на дисплее машиниста, а также роботизированного оповещения, при котором датчик приближения поезда сам запускает тревожный сигнал без участия человека [2]. Главный вывод остается неизменным: каждый рубль, вложенный в надежную радиосвязь на перегоне, равноценен сохраненной человеческой жизни [3]. Поэтому стандарты безопасности должны требовать не менее двух независимых каналов оповещения — голосового и тревожного цифрового [1][4].

Список литературы

1. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 6 декабря 2021 г. № 853н «Об утверждении Правил по охране труда при содержании и ремонте железнодорожных путей и сооружений».
2. Стандарт EIRENE SRS (System Requirements Specification) версии 16.0, раздел «Функции безопасности GSM-R», 2020. Европейский институт стандартов в области железнодорожной связи.
3. Анализ производственного травматизма на железнодорожных путях в ОАО «РЖД» за 2023–2024 гг. – Служба охраны труда и промышленной безопасности ОАО «РЖД», Москва, 2025.
4. Инструкция по обеспечению безопасности движения поездов при производстве путевых работ (распоряжение ОАО «РЖД» от 15.03.2022 № 623/р).
5. Ковалев В.И., Петров С.А. Средства технологической радиосвязи на железнодорожном транспорте: учебное пособие. – М.: ФГБОУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2021. – 148 с.
6. Технические рекомендации по применению систем «Радио-маяк» (Map Down) для путевых бригад. – ВНИИЖТ (АО «ВНИИЖТ»), серия «Безопасность труда», выпуск 9, 2024.

Перспективы развития и использования радиосвязи на железнодорожном транспорте

*Хапин Андрей Алексеевич,
студент*

*Стоянова Ольга Федоровна,
Преподаватель*

*НИПС филиал ПривГУПС
г. Нижний Новгород, Российская Федерация*

Аннотация: статья рассматривает виды и роль радиосвязи и телекоммуникации на железнодорожном транспорте. Показаны диапазоны, в которых работает та или иная радиосвязь. Приведены примеры частоты ЖД-каналов.

Ключевые слова: железная дорога, радиосвязь, станционная радиосвязь, поездная радиосвязь, ремонтно-оперативная радиосвязь (РОРС), частоты ЖД-каналов, радиочастотный спектр, гектометровые волны (ГМВ), основные номиналы частот, метровые волны (МВ), дециметровые волны (ДМВ).

Железная дорога — это самый сложный организм, где безопасность и пунктуальность зависят от четкого взаимодействия всех служб. Радиосвязь на железных дорогах в России является основным средством управления движением и обеспечения безопасности. Современный железный транспорт переходит на цифровые стандарты, однако аналоговые системы по-прежнему занимают значительную долю в инфраструктуре. Для обеспечения бесперебойной работы подвижного состава и наземных служб используется специализированное оборудование, способное работать в сложной помеховой обстановке [2].

Виды радиосвязи на железных дорогах:

Структура коммуникации на ЖД транспорте строго иерархична. Нельзя использовать одну частоту для всех задач — это приведет к хаосу. Поэтому система разделена на функциональные группы. Существует несколько основных видов технологической радиосвязи, каждый из которых решает свои задачи и работает в определенном диапазоне [2].

Глобально можно выделить три ключевых сегмента, образующих единую экосистему управления перевозочным процессом: станционную, поездную и ремонтно-оперативную связь. Развертывание этих сетей требует использования профессионального оборудования (например, Motorola, Hytera, Комбат), способного поддерживать стабильный сигнал как на открытых перегонах, так и в условиях плотной городской застройки или тоннелей.

Станционная радиосвязь

Этот вид связи предназначен для управления технологическими процессами в пределах железнодорожной станции. Станционная радиосвязь критически важна для составителей поездов, дежурных по паркам и работников, занимающихся техническим обслуживанием вагонов.

Ключевой особенностью здесь является необходимость мгновенного соединения. Станционная сеть чаще всего организуется в диапазоне УКВ (МВ). Основная нагрузка ложится на каналы для маневровой и горочной работ. Четкие команды при роспуске составов с горки или при формировании поезда исключают аварийные ситуации [2].

Радиостанции для маневровой работы должны быть максимально надежными, иметь защиту от влаги и ударов, так как эксплуатируются в жестких условиях. В системе станционной радиосвязи обычно применяется симплексный режим, где все абоненты слышат друг друга, что повышает ситуационную осведомленность.

Поездная радиосвязь

Это стратегически важный уровень коммуникации. Системы поездной радиосвязи обеспечивают служебные переговоры между машинистами локомотивов и поездными диспетчерами (ДНЦ), а также дежурными по станциям (ДСП) в пределах диспетчерских кругов [4].

Организация поездной радиосвязи на протяженных участках пути требует наличия развитой сети стационарных ретрансляторов и волноводов. Главная задача — обеспечить непрерывность вызова на всем маршруте следования. Здесь применяются как гектометровые (ГМВ), так и метровые волны.

Надежность поездной системы напрямую влияет на график движения. В случае чрезвычайной ситуации именно через каналы поездной радиосвязи передаются сигналы бедствия или команды на экстренную остановку. Современные радиостанции, устанавливаемые в кабинах (например, возимые варианты от производителей, представленных в нашем каталоге), часто являются двухдиапазонными, чтобы обеспечивать дублирование каналов [1].

Ремонтно-оперативная радиосвязь (РОРС)

Третий кит, на котором держится обслуживание инфраструктуры — это ремонтно-оперативная радиосвязь (рорс). Она необходима для координации действий мобильных бригад: путейцев, энергетиков (контактная сеть), связистов и службы охраны.

В отличие от поездной радиосвязи на магистралях, РОРС часто локальна, но должна интегрироваться в общую систему. Здесь активно используются носимые рации, позволяющие рабочим работать на удалении от базы, сохраняя контакт с руководителем работ. Внутри ремонтных бригад часто используются безлицензионные LPD/PMR частоты для внутренней коммуникации, однако для выхода на дежурного по станции используются выделенные частоты РЖД [5].

Частоты ЖД-каналов.

Радиочастотный спектр железной дороги — это закрытый и строго регу-

лируемый ресурс. Для обеспечения совместимости оборудования на всей территории страны используется стандартизированная сетка частот. Оборудование, купленное для работы на ЖД, должно быть не только надежным, но и правильно запрограммированным.

Распределение каналов зависит от используемого диапазона.

Частоты каналов железной дороги диапазона ГМВ:

Гектометровые волны (ГМВ) или короткие волны (КВ) — это старейший стандарт, который все еще активно используется, особенно для поездной радиосвязи. Особенность этого диапазона в том, что радиоволна распространяется вдоль направляющих линий (проводов, подвешенных вдоль путей).

Работа ведется в диапазоне 2 МГц (2000 КГц).

Основные номиналы частот:

2130 КГц — первый канал (К1), основной для поездной связи на большинстве участков;

2150 КГц — второй канал (К2), часто используется как резервный или для маневровой и хозяйственной работы в старых системах.

Несмотря на подверженность атмосферным помехам, ГМВ обеспечивает большую дальность при наличии направляющих линий. Однако современные системы постепенно мигрируют в более высокие диапазоны.

Частоты каналов железной дороги диапазона МВ:

Метровые волны (МВ) или УКВ — это основной «рабочий инструмент» современной радиосвязи на ЖД. Качество звука здесь выше, а оборудование компактнее. В России для этих целей выделен участок спектра 151–156 МГц.

Сетки частот в диапазоне МВ имеют шаг 25 КГц.

151.775 МГц — часто используется для маневровой связи;

151.825 МГц — технологические операции (проверка тормозов);

151.875 МГц — поездной радиоканал (ПРС-УКВ);

152–154 МГц — выделены для различных служб (вагонники, ВОХР, энергетики) [3].

Для того чтобы радиостанции могли корректно работать в одной сети, используется система групповых тональных вызовов (CTCSS/DCS в аналоге или ID в цифре), что позволяет разделять абонентов на одной частоте.

Частоты каналов железной дороги диапазона ДМВ:

Дециметровые волны (ДМВ) — это территория новых цифровых стандартов (DMR, TETRA, GSM-R). Диапазон 450–470 МГц (и иногда 330 МГц) обеспечивает отличное проникновение сигнала в условиях городской застройки и внутри вокзальных комплексов.

Внедрение цифровых систем в ДМВ позволяет не только передавать голос, но и данные: телеметрию с локомотива, координаты GPS/ГЛОНАСС, текстовые сообщения. Это существенно разгружает голосовые каналы и повышает эффективность управления [3].

Заключение.

В ходе работы была рассмотрена структура радиосвязи на железнодорожном транспорте. Установлено, эффективное управление перевозками и

обеспечение безопасности движения невозможны без четкого разделения частотных ресурсов и функциональных сегментов связи.

Список литературы

1. Государственный стандарт (ГОСТ). Технические средства связи на железнодорожном транспорте. Правила эксплуатации и технические требования – М. Транспорт, 2020. [электронный ресурс] [[internet-law.ru>gosts/gost/63996/](http://internet-law.ru/gosts/gost/63996/)]
2. Иванов А. П. Основы радиосвязи на железнодорожном транспорте: учебное пособие для вузов – Лань 2021. [e.lanbook.com]
3. Петров С. В. Цифровые стандарты связи (TETRA, DMR, GSM-R) в системах управления инфраструктурой. – М. инфраструктура железных дорог, 2022. [электронный ресурс] [wireless-e.ru]
4. Техническая документация. Правила организации поездной радиосвязи и использования частотного спектра на объектах РЖД. – М. РЖД-Технологии, 2023. [internet-law.ru]
5. Сидоров К. М. проектирование систем ремонтно-оперативной радиосвязи (РОРС) в сложных условиях рельефа и застройки. – Екатеринбург: УрГУПС, 2019. [электронный ресурс] [en.ppt-online.org]

Железнодорожная связь как важная часть перевозочного процесса

*Широкова Карина Максимовна,
Малютин Данила Игоревич,
студенты*

*Гаврилова Ольга Ивановна,
преподаватель*

*НИПС филиал ПривГУПС
г. Нижний Новгород, Российская Федерация*

Аннотация: В статье рассматриваются современные направления развития радиосвязи на железнодорожном транспорте, включая цифровые стандарты связи и их внедрение в инфраструктуру железных дорог Российской Федерации. Особое внимание уделено роли радиосвязи в обеспечении безопасности движения поездов и эффективности управления перевозочным процессом. Проведен сравнительный анализ систем связи и обозначены перспективы их дальнейшей модернизации.

Ключевые слова: радиосвязь; железнодорожный транспорт; GSM-R; LTE-R; безопасность движения; цифровизация.

Радиосвязь является одним из ключевых элементов управления железнодорожным транспортом. В системе организации движения, на ОАО «РЖД»

она обеспечивает взаимодействие между диспетчерскими центрами, машинистами и службами инфраструктуры [1].

В условиях роста интенсивности перевозок и повышения требований к безопасности возрастает значение устойчивых и высокоскоростных каналов связи. Это делает актуальным переход от аналоговых систем к цифровым стандартам радиосвязи [2, 3].

Необходимо сказать о важном значении, использования связи в системе управления движением поездов на железнодорожном транспорте.

На железнодорожном транспорте радиосвязь выполняет следующие функции:

- обеспечение оперативного управления движением поездов;
- передача команд диспетчерского управления;
- информирование о внештатных ситуациях;
- координация работы станций и участков дорог.

В структурных подразделениях ОАО «РЖД» радиосвязь является частью комплексной системы управления безопасностью движения, включая автоматизированные системы контроля [1]. Нарушения связи могут привести к задержкам движения, нарушению графика движения поездов и снижению уровня безопасности, что подчеркивает критическую значимость данной технологии [5].

Современные условия жизненного темпа диктуют не стоять на месте, а развиваться и активно двигаться вперед.

В настоящее время на железнодорожном транспорте используются три основных уровня технологий: -аналоговые системы связи (устаревающий уровень); -цифровая система GSM-R; -перспективные системы LTE-R и 5G.

Система GSM-R уже внедряется на отдельных участках сети ОАО «РЖД» и обеспечивает стандартизированную цифровую связь между участниками перевозочного процесса [3, 4].

LTE-R рассматривается как следующий этап развития, позволяющий передавать не только голос, но и большие объемы данных в реальном времени, включая видео и диагностическую информацию [3].

В таблице 1 приведен сравнительный анализ систем радиосвязи транспортной отрасли.

Таблица 1 — Характеристика систем радиосвязи

Параметр	Аналоговая связь	GSM-R	LTE-R
Надежность	Средняя	Высокая	Высокая
Защищенность	Низкая	Высокая	Высокая
Передача данных	Ограниченная	Средняя	Высокая
Интеграция с системами управления	Нет	Частичная	Полная

Из данных сравнительного анализа видно, что цифровые системы связи обеспечивают более высокий уровень безопасности и позволяют интегрировать радиосвязь в единую цифровую инфраструктуру управления движением

[4, 6].

Внедрения новых систем связи позволит ускорить процесс интеграции в цифровую экономику страны.

По данным открытых источников и технических программ развития ОАО «РЖД», внедрение цифровых систем связи осуществляется поэтапно, начиная с наиболее загруженных участков сети [1].

Можно выделить следующие особенности:

- постепенная замена аналоговых систем;
- приоритетное внедрение на магистральных направлениях;
- интеграция с системами автоматического управления движением;
- повышение требований к надежности каналов связи.

Рассмотрев данное направление, можно предположить перспективные направления развития радиосвязи.

Основными направлениями развития радиосвязи являются:

- полный переход на цифровые стандарты связи;
- внедрение LTE-R и подготовка к технологиям 5G;
- создание единой цифровой платформы управления связью;
- расширение функций передачи данных в реальном времени.

В долгосрочной перспективе радиосвязь станет частью интеллектуальной транспортной системы, обеспечивающей автоматизированное управление перевозочным процессом и беспилотные технологии [2, 6].

Радиосвязь играет ключевую роль в обеспечении безопасности и эффективности функционирования железнодорожного транспорта. Современные технологии позволяют существенно повысить качество управления движением поездов и снизить риски возникновения аварийных ситуаций [5].

Развитие цифровых систем связи в холдинге ОАО «РЖД» является важным направлением модернизации транспортной инфраструктуры и соответствует мировым тенденциям цифровизации [1, 6].

Список литературы

- 1.Официальный сайт Российские железные дороги. – <https://www.rzd.ru> (дата обращения: 25.04.2026).
- 2.Министерство транспорта Российской Федерации. – <https://mintrans.gov.ru> (дата обращения: 25.04.2026).
- 3.ITU-R. Railway Radiocommunication Systems. – International Telecommunication Union, 2020.
- 4.GSM-R Association. Global System for Mobile Communications – Railway, 2021.
- 5.Савельев, А.В. Системы связи на железнодорожном транспорте. – М.: Транспорт, 2019.
- 6.Кузнецов, И.Н. Цифровизация транспортных систем // Транспортная наука и техника. – 2021. – № 4. – С. 33–39.

Секция 3. История развития радиотехники, электроники и связи

Как диспетчер управлял поездами без компьютера: эра кодовых рельсовых цепей

*Баринова Виктория Евгеньевна,
студентка*

*Гаврилова Ольга Ивановна,
преподаватель*

*НИПС филиал ПривГУПС
г. Нижний Новгород, Российская Федерация*

***Аннотация** В статье на примере кодовых (тональных) рельсовых цепей показано, как диспетчеры управляли движением поездов в эпоху до микропроцессоров. Раскрывается физический принцип передачи команд с помощью амплитудно-импульсной модуляции в диапазоне 100–2000 Гц. Особое внимание уделено советской системе Чавдарова (1960-е гг.), её отличиям от зарубежных аналогов и причинам долгожительства. Сделан вывод, что низкочастотные тональные цепи остаются работающим резервом на многих участках железных дорог РФ и демонстрируют инженерный баланс между функциональностью и надёжностью*

***Ключевые слова:** рельсовая цепь, тональная сигнализация, частотное кодирование, амплитудно-импульсная модуляция, диспетчерская централизация, автоблокировка, система Чавдарова, LC-фильтр, релейная логика, АЛС-ЕН, отказоустойчивость, железнодорожная автоматика 1960-х.*

До появления компьютеров движение поездов регулировалось с помощью электромеханических устройств, и основой любой системы интервального регулирования была рельсовая цепь — два рельса, электрически изолированные друг от друга. На один конец такой цепи подавалось напряжение, на другом стояло реле. Пока рельсы свободны, ток течёт, реле замкнуто. Как только колёсные пары поезда въезжают на этот участок, они замыкают рельсы между собой (шунтируют цепь), ток падает, реле отпускает якорь — и сигнал на светофоре переключается на красный [1, стр. 44–47].

Таким образом диспетчер узнавал, что перегон занят. Однако этого было мало. Диспетчеру надо было не просто знать, где находится поезд, но и дистанционно управлять его скоростью, давать команды на торможение, разрешать или запрещать движение. Механическая тяга тросов или пучки проводов вдоль путей требовали огромных затрат и часто повреждались. Возникла идея использовать те же рельсы не только для детектирования поезда, но и для пе-

передачи команд. Классическая рельсовая цепь на постоянном токе или промышленной частоте 50 Гц может передавать всего один бит информации: «свободно» (ток есть) или «занято» (тока нет). Нужен был способ закодировать несколько разных указаний, причём так, чтобы они не смешивались с помехами от тягового тока и искрения. [3, стр. 87].

Представляется примечательным, что инженеры прошлого века смогли выявить в железнодорожных рельсах не только их основную функцию как направляющего пути, но и их потенциал в качестве среды для передачи сигналов. В условиях современного развития телекоммуникационных технологий, характеризующихся повсеместным использованием специализированных кабельных систем и беспроводных сетей, сложно в полной мере оценить рациональность использования существующих инфраструктурных элементов для экономии ресурсов. Тем не менее, логика того периода была строго прагматичной: учитывая наличие уже проложенных рельсовых путей и протекание по ним электрического тока, возникал закономерный вопрос о возможности использования этого тока для передачи информации. Данный подход ассоциируется с давним принципом минимизации ресурсов в полевых условиях, который заключается в эксплуатации любой доступной среды для трансляции сигналов, включая, например, водопроводные коммуникации. В данном контексте рельсы служили эффективным проводником, поскольку их трассировка соответствовала маршрутам движения подвижного состава, что исключало необходимость в прокладке отдельной инфраструктуры.

Решение пришло в 1950–60-е годы с переходом от постоянного тока к переменному звуковому диапазону (от 100 до 2000 Гц). Если на рельсы подавать не постоянное напряжение, а синусоидальный сигнал определённой частоты, то можно создать несколько независимых каналов, где каждая частота несёт свою команду. Например, 420 Гц — «разрешённая скорость 40 км/ч», 780 Гц — «приготовиться к остановке», 1680 Гц — «экстренное торможение» [5, стр. 152–154]. На локомотиве устанавливался приёмник с полосовыми фильтрами, который выделял «свои» частоты и игнорировал все остальные — в том числе тяговый ток 50 Гц и его гармоники. Но просто включать частоту было ненадёжно: наводки от соседних цепей или грозовые разряды могли имитировать полезный сигнал. Поэтому частоту стали кодировать — прерывать её по определённому закону. Например, непрерывная посылка 420 Гц означала «40 км/ч», а та же частота, но с паузами (0,5 секунды включено, 0,5 — выключено) — «снизить до 20 км/ч». Это называется амплитудно-импульсной модуляцией. Таким образом, одна и та же несущая частота могла передавать несколько команд в зависимости от ритма включений. [2, стр. 118].

Анализ данного метода позволяет провести аналогию с принципами азбуки Морзе. В последней информация передается одним тоном, смысл которого определяется длительностью сигналов и интервалами между ними. Эффективность и простота реализации обусловлены тем, что система не требует сложных кодеков, ограничиваясь применением таймерных и релейных эле-

ментов. Однако, имеется существенное различие: в радиосвязи характер шумов может быть весьма разнообразным, тогда как в рельсовых цепях доминирующую помеху составляет тяговый ток частотой 50 Гц и его гармонические составляющие. При выборе рабочих частот для команд инженеры сознательно исключали значения, кратные 50 Гц, что обеспечивало эффективную фильтрацию нежелательных сигналов. Данный подход демонстрирует собой пример проектирования, ориентированного на минимизацию влияния помех, когда вместо непосредственного противодействия источнику помех осуществляется переход в иную часть частотного спектра.

Кодовая рельсовая цепь 1960–70-х годов включала генератор тональных частот (обычно ламповый или транзисторный автогенератор, настроенный на одну из стандартных частот), кодовый шлейф — релейное или полупроводниковое устройство, которое включало и выключало генератор по заданному временному закону, собственно рельсовую линию, по которой сигнал распространялся на расстояние до 1,5–2 км, а для прохождения через изолирующие стыки ставились дроссель-трансформаторы, пропускающие тональные частоты, но задерживающие тяговый ток. На локомотиве работал приёмник: индуктивная катушка, подвешенная над рельсом, или контактные щётки на колёсных парах, затем полосовые фильтры, детектор и дешифратор, который по виду прерываний зажигал соответствующую лампу на пульте машиниста: «40», «20», «0» [1, стр. 91–93].

Диспетчер, сидя за пультом, видел на табло занятость всех перегонов — каждый участок пути подсвечивался красным, если рельсовая цепь была зашунтирована поездом. Система была логической: как только поезд покидал одну цепь и входил в следующую, автоматически менялись коды в предыдущих цепях, чтобы идущие следом составы получали команду снизить скорость. Диспетчер мог вмешаться только в особых случаях — например, дать команду «пропустить встречный по одному пути» или отменить автоматический сигнал. [3, стр. 206].

В Советском Союзе основоположником тональных рельсовых цепей стал С.С. Чавдаров. В 1962 году он опубликовал теоретические основы, а к концу 1960-х годов его система начала внедряться на Московской и Октябрьской железных дорогах. В отличие от американских и европейских аналогов, советская разработка делала упор на максимальное использование существующей релейной базы и исключение дорогих кварцевых фильтров. Система Чавдарова позволяла передавать до четырёх различных команд по одной частоте за счёт разной скважности импульсов, а всего на перегоне использовалось до трёх различных несущих частот, что давало до 12 различных сигналов [4, стр. 13–17].

Тональные рельсовые цепи дали три главных преимущества: помехоустойчивость, автоматическую смену и многоканальность. Вся эта логика работала без единого микропроцессора. Дешифраторы строились на реле, диодах, транзисторах и тиристорах. Например, релейный дешифратор кода со-

стоял из нескольких поляризованных реле, которые последовательно переключались в такт с приходящими импульсами, и если последовательность совпадала с заданной, выходное реле срабатывало и зажигало лампу «40 км/ч». [5, стр. 167–169].

Особого внимания заслуживает способность советской инженерии разрабатывать решения в условиях технологической блокады. В частности, когда на Западе была доступна возможность приобретения импортных кварцевых фильтров, их производство в СССР оставалось крайне ограниченным. В ответ на данное ограничение Чавдаров и его коллеги предложили использовать стандартные LC-контуры, состоящие из катушек индуктивности и конденсаторов. Это решение продемонстрировало преимущества в экономической эффективности и ремонтопригодности. Именно такая конструкция обеспечила высокий уровень эксплуатационной живучести: LC-фильтр подлежит восстановлению в полевых условиях, например, путем перемотки, тогда как кварцевый резонатор в случае отказа обычно требует полной замены.

Главный недостаток старых кодовых рельсовых цепей — низкая скорость передачи данных, всего 1–2 бита в секунду (один перепад частоты или одна пауза). Поэтому команды были только самыми простыми: 3–4 градации скорости плюс сигнал «стой». Нельзя было передать, например, длину состава или цель поездки. Тем не менее, именно эти системы стали фундаментом для современных цифровых систем, таких как российская АЛС-ЕН (автоматическая локомотивная сигнализация с непрерывным каналом передачи). В алгоритмах АЛС-ЕН до сих пор используются те же принципы частотного кодирования, но с цифровой модуляцией и проверкой контрольной суммы. Удивительно, но тысячи километров железных дорог в России и бывших республиках СССР до сих пор работают на кодовых рельсовых цепях, спроектированных в 1960–80-х годах. Они дешёвы, ремонтопригодны и исключительно надёжны: отказ рельсовой цепи — редкое событие, а при отказе система переходит в «защитное состояние» (красный сигнал), чего не всегда можно добиться от сложной электроники. Когда сегодня диспетчер кликает мышкой на ярком экране, отдавая команду поезду за 200 км, он редко задумывается, что фундамент этого управления был заложен в эпоху ламп, реле и чистых синусоидальных тонов. Эра кодовых рельсовых цепей — это время, когда инженеры без микропроцессоров смогли превратить стальную колею в среду передачи команд, и уроки того времени до сих пор применяются в современной автоматике [1, стр. 215].

Список литературы

1. Лисенков В.М., Бестемьянов П.Ф. Системы железнодорожной автоматики и телемеханики: учебник для вузов. — М.: ФГБОУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2018.
2. Кравцов Ю.А., Нестеров В.Л. Тональные рельсовые цепи в автоблокировке // Журнал «Автоматика, связь, информатика». — 2019. — № 7.

3. Сапожников В.В., Кононов В.А. Основы теории рельсовых цепей. — М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2021.
4. Быстревский В.И., Розенберг Е.Н. Кодовые рельсовые цепи: от автоматики к телемеханике // Транспорт Российской Федерации. — 2022.
5. Шалягин Д.В., Игнатьев А.А. Устройства железнодорожной автоматики: рельсовые цепи и их кодирование. — СПб.: Издательство Петербургского государственного университета путей сообщения, 2020.

История инноваций в радиотехнике и электросвязи

Праздничных Пётр Алексеевич,
Студент

Бирюкова Светлана Ивановна,
преподаватель

СамКЖТ -

*структурное подразделение ФГБОУ ВО "Приволжский государственный
университет путей сообщения"
г. Самара, Российская Федерация*

Аннотация: Радиотехника в России имеет важное значение в производственных сферах и государственных структурах, и изучение истории её возникновения и развития необходимо для понимания её назначения, технических особенностей, преимуществ и недостатков, а также с целью выявления тенденций и закономерностей, определяющих экономическое и общественно-политическое развитие.

Ключевые слова: Технологии, радиосвязь, принципы электроники, устойчивое развитие технологии.

Все устройства и элементы, использующие принципы радиофизики, обязаны основателю целого направления в области техноинженерии – Попову Александру Степановичу, который 7 мая 1895 года на заседании Русского физико-химического общества презентовал первый в мире радиоприёмник, включающий в своё устройство когерер, антенну и заземление. Он усовершенствовал когерер (трубку с металлическими опилками, подключённую к антенне и заземлению), добавив его в схему реле, что повысило чувствительность прибора и снизило уровень помех. А также был изготовлен автоматический механизм встряхивания: ударник звонка срабатывал после приёма сигнала и возвращал опилки в исходное состояние [5, стр. 16]. Благодаря этим улучшениям

прибор стал пригоден для многократного использования, а презентация на заседании стала основанием для создания в России Дня радио – 7 мая.

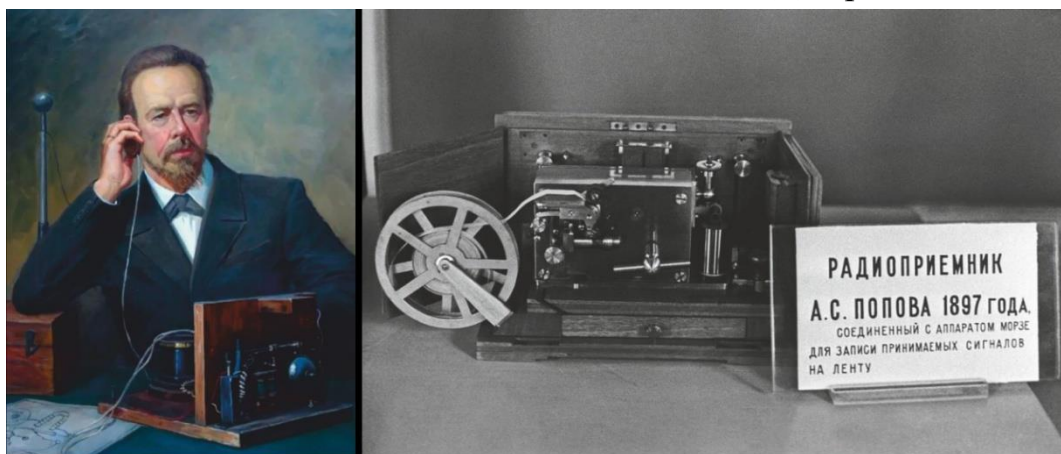


Рисунок 1 – изобретение А. С. Попова, https://cdn-media.tass.ru/width/1020_b9261fa1/tass/m2/uploads/i/20190314/4982093.jpg

Более того, Попов с помощью этого прибора уже в 1896 передал первую в истории радиограмму – “Генрих Мерц”, а в 1900 его радиосвязь впервые работала в реальной спасательной операции: благодаря ей удалось координировать снятие с мели броненосца “Генерал-адмирал Апрашкин” у острова Гогланд [4, С. 437].

Вскоре в России (советский период: 1910-1930 гг.) появилась радиоламповая промышленность, связанная с производством радиоламп, которые используются для усиления, генерации, преобразования и выпрямления электрических сигналов. Её основателем является Михаил Александрович Бонч-Бруевич, создавший в 1915 первую в России “катодную реле”, а позже – первую полностью электролампу, прозванную “бабушкой”. Он же в 1918 стал руководителем разработки отечественных усилительных и генераторных ламп в Нижегородской радиолaborатории (НРЛ) [3, С. 27].

Важнейшим документом того времени для развития радиотехники считается декрет Владимира Ильича Ленина 19 июля 1918 о централизации радиотехнического дела РСФСР, вот краткое изложение некоторых его положений [3, С.18].

“Все постоянные радиотелеграфные станции, склады и крупные ремонтные мастерские...переходят немедленно со дня опубликования настоящего декрета в ведение Комиссариата почт и телеграфов с персоналом и имуществом”

“При Радиотехническом совете образуется особый Инспекторское-ревизионный отдел”

“Радиотехническому совету вменяется в обязанность:

А) Составление плана устройства и эксплуатации сети постоянных радиостанций и высший надзор за выполнением этого плана,

Б) Согласование хозяйственно-технической деятельности различных комиссариатов,

В) Выработка «норм и правил» технических условий в области радиостановок”

Помимо этого в 1920 вышло постановление ВЦИК “Об организации радиотелеграфного дела в РСФСР” [4, С. 95], способствовавшее росту строительства радиостанций, например, Центральной радиотелефонной станции в Москве как первой в России ширококвотельной радиостанции, построенной, кстати, на основании четвёртого программногo декрета Ленина, из девяти, от 17 марта 1920 “О создании в срочном порядке Центральной радиотелефонной станции с радиусом действия 2000 вёрст” (Этот декрет принято считать как первый в мире государственньй акт, специально посвящённый проблемам радиовещания). Именно на этой радиостанции работал легендарный диктор Юрий Левитан, а называлась она позже “Первая программа Всесоюзного радио”.

Дальше на ход распространения радиовещания повлияло создание в 1921 Российского телеграфного агенства РОСТА (позднее Радиокомитет). Оно готовило базовый материал для радиостанций, что способствовало унификации информационной повестки. Так в 1924-1927 годах образовались основные жанры радиожурналистики: радиогазета, радиожурнал, репортаж, всеми любимая утренняя гимнастика и др., и радиовещание стало ориентироваться на различные адресные группы.

Именно в сентябре 1926 на Московско-Курской железной дороге началась опытная эксплуатация вагона-радиостанции имени А. С. Попова, показывавшая, что радиосвязь может использоваться для передачи звуковой информации во время движения поезда.

Уже в 1930 годах началось серийное производство радиоприёмников и телевизоров (именно освоение радиотехники сыграло ключевую роль в создании первых телевизоров, например, послужив технологической базой для передачи сигналов на большие расстояния), к примеру, завод имени Козицкого освоил выпуск телевизионных приёмников “Б - 2” с диском Нипкова.

27 мая 1940 начала регулярные передачи московская радиовещательная станция РВ-84, та самая, которую во время Великой Отечественной войны эвакуировали в Казань, и из которой читались сводки и приказы. В середине 1940 годов в СССР возник первый специализированный научно-производственно-технологический комплекс “электровакуумная промышленность”, ставший базой для атомного и ракетного приборостроения и даже конструирования первых ЭВМ. Кроме того, расширилось производство радиоприёмников в связи с открытием новых радиозаводов, среди которых: Минский с выпуском приёмников “Пионер”, “КИМ”, “Маршал”, Омский имени А. С. Попова с серийником “Ручей”, Рижский, производящий приёмники высшего класса “Фестиваль” с дистанционным управлением.

К 50-летию изобретения радио, в победном 1945, в честь Александра Попова Академия наук СССР учредила Золотую медаль его имени, которая присуждается за выдающиеся достижения в области развития методов и средств радиоэлектроники. Примерно в это же время в стране началось активное внедрение поездной радиосвязи: 1947 – разработка первой железнодорожной радиостанции ЖР-1 гектометрового диапазона и ЖР-2 УКВ диапазона, 1954 –

внедрение ЖР-3 с повышенной помехозащищённостью и большей дальностью действия в 1,5 раза, 1958 – разработка ЖР-5 УКВ диапазона. Тогда же и составлялись регламенты переговоров и руководства по эксплуатации поездных радиостанций.



Рис 2. Радиовещательная станция РВ-84

К 50-летию изобретения радио, в победном 1945, в честь Александра Попова Академия наук СССР учредила Золотую медаль его имени, которая присуждается за выдающиеся достижения в области развития методов и средств радиоэлектроники. Примерно в это же время в стране началось активное внедрение поездной радиосвязи: 1947 – разработка первой железнодорожной радиостанции ЖР-1 гектометрового диапазона и ЖР-2 УКВ диапазона, 1954 – внедрение ЖР-3 с повышенной помехозащищённостью и большей дальностью действия в 1,5 раза, 1958 – разработка ЖР-5 УКВ диапазона. Тогда же и составлялись регламенты переговоров и руководства по эксплуатации поездных радиостанций.

В конце 1940-начале 1950 годов в СССР наблюдалась “транзисторная революция” – массовые исследования в области полупроводников и последующее их внедрение, в том числе и в области радиотехники. Так в Физическом институте Академии науки Ленинградском физико-техническом институте создавались экспериментальные образцы германиевых транзисторов, их разработки позволили значительно уменьшить размеры устройств, сделав их более надёжными и эффективными, что послужило открытию новой вехи в развитии технологии изготовления радиоприёмников. Первые советские транзисторные радиоприёмники “Спидола” стали портативными и могли работать от батареек. Особенно примечателен факт использования транзисторов в передающей аппаратуре первого в мире спутника Земли (1954).

В то же время к концу 1950 годов были подготовлены первые серийные образцы советской магнитолы, а в 1964 вышел первый советский кассетный магнитофон “Десна”, предназначенный для записи музыкальных и речевых

программ на магнитную ленту с микрофона, радиоприёмника, радиосети, телевизора и воспроизведения их на внутренний громкоговоритель, и с этого момента началась легендарная эпоха магнитофонов, и не только кассетных.

В 1970 годах в магазинах радиотехники стояла эксклюзивная “Симфония- 003” – стереофоническая сетевая ламповая радиола высшего класса, включающая в себя радиоприёмник с диапазонами ДВ, СВ, КВ 1, 2, 3, 4 и УКВ, усилитель мощности и акустические системы. А в 1979 Ленинградский завод “Радиоприбор” выпустил первый переносной стереофонический радиоприёмник высшего класса, способный принимать как монофонические радиовещательные станции, так и стереофонические программы и грамзаписи. В 1980 производственное объединение “Радиотехника” выпустило первые в СССР акустические системы S-90(35AC-212), соответствующие мировому стандарту Hi-Fi – их диапазон воспроизводимых частот был от 31, 5 до 20000 Гц.

В этом десятилетии проходил новый этап совершенствования средств поездной радиосвязи, в частности, состоялась разработка комплексной системы радиосвязи с использованием радиостанций ЖР-У, обеспечивавшей совместную работу с переносными радиостанциями “Сирена” и “Тюльпан”. Но уже к концу 1980 годов создали новую систему “Транспорт”, охватывающую поездную, станционную и ремонтно-оперативную радиосвязь. В систему входят 7 типов стационарных, семь типов возимых и 4 типа носимых радиостанций [6, стр. 29].

В 1990 годы закончилась эпоха Советского Союза, и переход к рыночной экономике ставил радиоэлектронику с настоящими трудностями и вызовами. Развитие радиотехники перестало быть приоритетным для страны, но вместе с тем это время открыло доступ к мировому рынку радиоэлектронных компонентов, и исходя из вытекающих обстоятельств эта сфера стала трансформироваться. В эту эпоху начался масштабный переход от аналоговых технологий к цифровым, на смену уже устаревшим радиоприёмникам и магнитол стали приходить модные на то время плееры, работающими с CD/DVD-дисками. Примерно с середины десятилетия появилась новинка среди объектов развития – мобильная связь. Это время первых “трынделок” и “мобильников”, распространения технологии связи второго поколения (2G), способной передавать текстовую информацию, с последующим развитием до третьего, четвёртого поколений (3G-4G), отдельно внедрения других технологий: Bluetooth, Wi-fi и прочих [1, стр. 2]. И несмотря на мировой и внутригосударственный кризисы, эта отрасль не потеряла и не исчерпала себя, наоборот, сквозь начало третьего тысячелетия принимает новые изменения: увеличение скорости передачи данных, развитие спутниковых и беспилотных коммуникаций для глобального покрытия интернетом, интеграции с искусственным интеллектом и многое другое, а в России в условиях геополитических ограничений и необходимости технологического импортозамещения стратегическим приоритетом стало эффективное управление радиочастотным спектром. Все эти факторы прямо доказывают стратегическую важность радиотехники в стране [2, стр. 2].

Список литературы

1. Государственная программа Российской Федерации «Развитие энергетики». - [электронный ресурс]//Официальный сайт Министерства энергетики Российской Федерации.–Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/activity/government-program/> (дата обращения 07.05.2026)
2. АО «Издательский дом» «Гудок».-. [электронный ресурс]// Официальный сайт АО «Издательский дом»//www.GUDOK.RU/
<https://gudok.ru/newspaper/?ID=692463>
(дата обращения 06.05.2026г)
- 3.Стафеев В.И.Начальные этапы становления полупроводниковой электроники в СССР (К 60-летию открытия транзистора)//Физика и техника полупроводников, 2010. Т. 44. Вып. [https://www.livelib.ru/book/169170/r: eadpart-nesostoyavshayasya-informatsionnaya-revolyuetsiya-usloviya-i-tendentsii-razvitiya-v-sssr-elektronnoj-promyshlennosti-ismi-19401969-gg-nikolaj-simonov](https://www.livelib.ru/book/169170/r:eadpart-nesostoyavshayasya-informatsionnaya-revolyuetsiya-usloviya-i-tendentsii-razvitiya-v-sssr-elektronnoj-promyshlennosti-ismi-19401969-gg-nikolaj-simonov)
(дата обращения 06.05.2026г)
- 4.Новый энциклопедический словарь. М.: Большая российская энциклопедия. - 2012. - с. 996.
- 5.Электронная библиотека Института электроники и электротехники - [электронный ресурс]//Официальный сайт // www.ieee.org. Саймон Вильям. iКона. Стив Джобс. – М.: Изд-во «Манн, Иванов и Фербер», 2014. Inventor of cell phone: We knew someday everybody would have one// By Tas Anjarwalla, Special to CNN.<https://www.livelib.ru/book/169170/readpart-nesostoyavshayasya-informatsionnaya-revolyuetsiya-usloviya-i-tendentsii-razvitiya-v-sssr-elektronnoj-promyshlennosti-ismi-19401969-gg-nikolaj-simonov> (дата обращения 06.05.2026г)
- 6.Института электроники и электротехники.-[электронный ресурс]//Официальный сайт (IEEE) // www.ieee.org. Саймон Вильям. iКона. Стив Джобс. – М.: Изд-во «Манн, Иванов и Фербер», 2016. Inventor of cell phone: We knew someday everybody would have one// By Tas Anjarwalla, Special to CNN.Подробнее на livelib.ru:<https://www.livelib.ru/book/169170/readpart-nesostoyavshayasya-informatsionnaya-revolyuetsiya-usloviya-i-tendentsii-razvitiya-v-sssr-elektronnoj-promyshlennosti-ismi-19401969-gg-nikolaj-simonov> (дата обращения 07.05.2026)

История развития железнодорожной связи

*Витебская Анастасия Александровна,
студентка*

*Гаврилова Ольга Ивановна
Преподаватель*

*НИПС филиал ПривГУПС,
г. Нижний Новгород, Российская Федерация*

Аннотация: В статье рассматривается исторический путь развития систем связи на железнодорожном транспорте от момента зарождения первых линий до внедрения современных цифровых и оптоволоконных технологий. Анализируются ключевые этапы эволюции технических средств — от примитивных оптических и звуковых сигналов к электрическому телеграфу, телефонной связи, многоканальным системам передачи и волоконно-оптическим линиям. Особое внимание уделяется отечественному опыту становления железнодорожной телекоммуникационной инфраструктуры, рассматриваются факторы, определившие логику её развития в контексте требований безопасности и непрерывности перевозочного процесса.

Ключевые слова: железнодорожная связь, история электросвязи, оптический телеграф, электрический телеграф, железнодорожный транспорт, направляющие системы передачи, волоконно-оптическая связь, телекоммуникационные технологии.

Первые десятилетия существования железных дорог совпали по времени с активным поиском эффективных способов оперативной передачи сообщений на расстояние. До появления электрического телеграфа основным средством связи на железных дорогах служили простейшие визуальные и звуковые сигналы — семафоры, флаги, рожки и свистки. Эти средства позволяли передавать ограниченный набор команд в пределах прямой видимости, что было явно недостаточно для управления движением на развёрнутой сети [2, стр. 21-29].

Подлинной революцией в организации железнодорожного движения стало изобретение и практическое внедрение электрического телеграфа. В 1830-1840-х годах, когда в ведущих странах мира развернулось активное строительство железнодорожных линий, электрический телеграф оказался технологией, пришедшей как нельзя более к месту. В отличие от оптического телеграфа, электрический обеспечивал практически мгновенную передачу сообщений на любое расстояние, не зависел от времени суток и погоды, позволял организовать двустороннюю связь [2, стр. 60-70].

На железных дорогах электрический телеграф начал применяться в первую очередь для нужд диспетчерского управления движением. С возникновением первых телеграфных линий вдоль железнодорожных путей стало

возможным оперативно информировать станции о времени прибытия и отправления поездов, передавать распоряжения о закрытии и открытии перегонов, координировать встречное движение на однопутных участках. Телеграфная связь стала основой для создания первых систем интервального регулирования движения поездов — важнейшего элемента обеспечения безопасности [2, стр. 82-96].

Следующим значительным шагом в эволюции железнодорожной связи стало внедрение телефонии. Если телеграф позволял передавать дискретные сообщения, то телефонная связь дала возможность операторам и диспетчерам вести непосредственные речевые переговоры, что существенно повысило оперативность принятия решений и снизило вероятность ошибок при передаче информации [2, стр. 97-107].

Первые телефонные аппараты появились на железных дорогах в конце 1870-х — начале 1880-х годов, практически сразу после изобретения телефона А. Г. Беллом. Первоначально телефонная связь использовалась как вспомогательное средство для связи внутри станций и на магистральных линиях в дополнение к телеграфу. Однако преимущества речевой коммуникации оказались столь очевидны, что уже к началу XX века телефонные линии стали неотъемлемым элементом железнодорожной инфраструктуры [2, стр. 108-120].

Период с 1920-х по 1950-е годы характеризовался бурным развитием техники многоканальной связи. Рост объёмов перевозок и усложнение технологии движения потребовали передачи всё возрастающих потоков информации между диспетчерскими пунктами, станциями и узлами. Решением проблемы стала разработка систем уплотнения линий связи на основе частотного и временного разделения каналов [2, стр. 151-182].

На железных дорогах активно внедрялись симметричные кабельные линии, обладавшие значительно большей пропускной способностью и помехозащищённостью по сравнению с воздушными линиями. Прокладка кабелей вдоль железнодорожных путей потребовала решения целого ряда технических проблем, связанных с влиянием тягового тока электрифицированных линий, грозовых разрядов и других электромагнитных помех. Теоретические основы защиты кабельных линий от внешних влияний были заложены в работах отечественных учёных и нашли практическое воплощение в конструкциях железнодорожных кабелей связи [3].

В Советском Союзе в 1920-1930-х годах велась активная работа по созданию единой сети связи на железных дорогах. Были разработаны типовые схемы организации связи на станциях и перегонах, созданы первые руководящие документы по эксплуатации и техническому обслуживанию средств связи. Этот период стал временем формирования системного подхода к развитию железнодорожной телекоммуникационной инфраструктуры [2, стр. 183-197].

Великая Отечественная война нанесла серьёзный урон железнодорожному хозяйству СССР: значительная часть линий связи была разрушена или

повреждена. Послевоенный период (1945-1958 годы) стал временем масштабных восстановительных работ и одновременно — этапом качественного обновления технической базы железнодорожной связи. Утраченное не просто восстанавливалось, но воссоздавалось на новом, более высоком техническом уровне [2, стр. 198-209].

В эти годы активно внедрялись более совершенные типы кабелей, аппаратура уплотнения линий связи с большей пропускной способностью, улучшались системы диспетчерского контроля и управления. Особое внимание уделялось повышению надёжности и помехоустойчивости связи в условиях электрификации всё новых железнодорожных линий. Развитие железнодорожной связи шло параллельно с общим прогрессом отечественной электротехнической и кабельной промышленности [5, стр. 220].

На железных дорогах активно внедрялись симметричные кабельные линии, обладавшие значительно большей пропускной способностью и помехозащищённостью по сравнению с воздушными линиями. Прокладка кабелей вдоль железнодорожных путей потребовала решения целого ряда технических проблем, связанных с влиянием тягового тока электрифицированных линий, грозовых разрядов и других электромагнитных помех. Теоретические основы защиты кабельных линий от внешних влияний были заложены в работах отечественных учёных и нашли практическое воплощение в конструкциях железнодорожных кабелей связи [3, стр. 1].

Период с конца 1950-х до середины 1990-х годов в истории железнодорожной связи характеризуется господством симметричных кабельных линий и систем передачи с частотным разделением каналов. Были созданы и внедрены системы передачи типа К-24, К-60, К-120, позволявшие организовать на одной кабельной линии десятки и сотни каналов связи одновременно [2, стр. 210-240].

В эти годы сложилась разветвлённая сеть железнодорожной связи, охватывавшая всю страну и включавшая магистральные, дорожные, узловые и станционные уровни. Была создана система технологической связи, объединявшая поездную диспетчерскую связь, связь энергодиспетчера, связь ремонтно-восстановительных бригад и другие виды оперативной коммуникации. На смену ручным телефонным станциям пришли автоматические и квазиэлектронные АТС [6, стр. 87].

Вопросам защиты линий связи от внешних электромагнитных влияний в этот период уделялось особое внимание. Теория взаимного влияния между цепями в симметричном кабеле, теория влияния внешних электромагнитных полей, меры защиты от гальванического влияния токов в земле и коррозии подземных кабельных сооружений были детально разработаны и нашли отражение как в научных трудах, так и в нормативных документах [2, 4, 6, 7, стр. 360-390].

Начиная с середины 1990-х годов, в развитии железнодорожной связи наступил новый этап, связанный с внедрением волоконно-оптических техно-

логий. Волоконно-оптические кабели обладают рядом фундаментальных преимуществ перед симметричными кабельными линиями: практически неограниченная полоса пропускания, полная нечувствительность к электромагнитным помехам, очень низкие потери сигнала, большая длина участков регенерации, высокая защищённость от несанкционированного доступа [2, стр. 241-267].

Прокладка волоконно-оптических кабелей вдоль железнодорожных путей оказалась экономически и технологически оправданной. Железные дороги, имеющие собственную развитую инфраструктуру и полосу отвода, стали идеальной средой для создания магистральных оптоволоконных линий связи, используемых не только для нужд железнодорожного транспорта, но и для предоставления услуг сторонним операторам связи. При этом возникла необходимость в решении новых технических проблем, таких как электротермическое воздействие контактной сети электрифицированных железных дорог на подвесной волоконно-оптический кабель [5, стр. 1].

Современный этап развития железнодорожной связи характеризуется переходом к цифровым технологиям на всех уровнях. Традиционные аналоговые системы уступают место интегральным цифровым сетям, объединяющим передачу голоса, данных и видео. Широкое внедрение получают технологии IP-телефонии, волоконно-оптические системы передачи SDH (синхронной цифровой иерархии) и DWDM (плотного спектрального мультиплексирования) [5, стр. 231].

Будущее железнодорожной связи связывается с дальнейшим развитием оптоволоконных технологий, внедрением систем связи пятого поколения (5G), использованием принципов «интернета вещей» для мониторинга состояния подвижного состава и инфраструктуры. Значительные перспективы открываются в области использования искусственного интеллекта для анализа данных, передаваемых по каналам связи, и автоматизации процессов управления движением [2, стр. 241-267].

Список литературы

1. Савин, Е. З. Линии железнодорожной связи : учебное пособие / Е. З. Савин. — Москва : УМЦ ЖДТ, 2025. [1-7, с. 360-390] <https://umczdt.ru/books/970/296816/>
2. Семенюта, Н. Ф. История электрической связи на железнодорожном транспорте (прошлое, настоящее и будущее) : научно-популярное издание / Н. Ф. Семенюта, И. А. Здоровцев. — М. : ГОУ "УМЦ ЖДТ", 2008. [2, с. 14-20, 21-29, 60-70, 82-96, 97-107, 108-120, 151-182, 183-197, 198-209, 210-240, 241-267, 279-291] https://rusneb.ru/catalog/010003_000061_97a1cabb23e84f8e5ec44cc548ac17ba/
3. Лебедев, А. В. История становления и развития железнодорожных путей сообщения России во второй половине XIX – начале XX в. : (по материа-

лам Северной железной дороги) : автореферат диссертации ... кандидата исторических наук / А. В. Лебедев. — Архангельск, 2010. [3, с. 1]
https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_003492109/

5. Сазыкин, Г. В. Общий курс железных дорог : учебник для вузов / Г. В. Сазыкин. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. [5, с. 1-231]
<https://urait.ru/book/obschiy-kurs-zheleznih-dorog-568215?ysclid=motw9v1lr7848258961>

6. Васильев, А. В. Системы коммутации на железнодорожном транспорте : конспект лекций. Ч. 1 : Эволюция и особенности функционирования систем коммутации на железнодорожном транспорте / А. В. Васильев, А. С. Хохрин. — Самара : СамГУПС, 2024. [6, с. 87]
<https://e.lanbook.com/book/434531?category=931&publisher=>

История развития радиотехники, электроники и связи: от первых открытий до современных телекоммуникационных систем

*Ефимова Виктория Алексеевна,
студентка*

*Гаврилова Ольга Ивановна,
преподаватель*

*НИПС филиал ПривГУПС,
г. Нижний Новгород, Российская Федерация*

Аннотация: в данной статье мы должны проследить за основными этапами развития радиотехники, электроники и связи, выделив ключевые открытия и изобретения, а также узнать их применение в транспортной сфере.

Ключевые слова: электроника, радиосвязь, радиотехника, связь, сотовая связь, электричество, цифровые системы.

История развития радиотехники, электроники и связи представляет собой захватывающую хронику научных открытий и технических изобретений, кардинально изменивших жизнь человечества. За последние полтора столетия пройден путь от первых экспериментов с электричеством до создания глобальных систем связи, обеспечивающих мгновенный обмен информацией в любой точке планеты.

Для специалистов железнодорожного транспорта изучение истории развития этих областей особенно важно, так как современные системы управления движением поездов, железнодорожной связи и автоматики базируются на достижениях радиотехники и электроники. Понимание исторических этапов

развития помогает лучше осознать принципы работы современного оборудования и перспективы его дальнейшего совершенствования. Первые исследования электричества

История электричества начинается в XVII веке с первых экспериментов по изучению статического электричества. В 1600 году английский физик Уильям Гильберт ввел сам термин «электричество» и описал свойства янтаря притягивать легкие предметы после натирания.

В XVIII веке были сделаны важные открытия:

- 1745 год - изобретение лейденской банки (первого конденсатора) голландским физиком Питером ван Мушенбруком;

- 1752 год - Бенджамин Франклин доказал электрическую природу молнии;

- 1785 год - Шарль Кулон сформулировал закон взаимодействия электрических зарядов

Открытие электромагнетизма

XIX век стал периодом фундаментальных открытий в области электромагнетизма:

- 1820 год - датский физик Ханс Кристиан Эрстед обнаружил, что электрический ток создает магнитное поле. Это открытие связало электричество и магнетизм в единую науку.

- 1820-е годы - Андре-Мари Ампер разработал теорию электродинамики и сформулировал законы взаимодействия токов.

- 1827 год - Георг Ом открыл закон, связывающий силу тока, напряжение и сопротивление (закон Ома).

- 1831 год - Майкл Фарадей открыл явление электромагнитной индукции, заложив основы электротехники. Он также ввел понятия электрического и магнитного полей.

Изобретение телеграфа - первая электрическая связь

1832 год - русский ученый Павел Львович Шиллинг создал первый в мире электромагнитный телеграф и продемонстрировал его работу в Санкт-Петербурге. Это было первое практическое применение электричества для передачи информации на расстояние.

1837 год - американцы Сэмюэл Морзе и Альфред Вейл разработали телеграфный аппарат и знаменитый код Морзе, который использовался более 150 лет.

1843 год - в России построена первая телеграфная линия Санкт-Петербург - Царское Село.

1852 год - в России открыта телеграфная линия Москва - Санкт-Петербург, а затем и линия вдоль Николаевской железной дороги, что стало первым применением электрической связи на железнодорожном транспорте [1].

Теоретическое предсказание электромагнитных волн

1864-1873 годы - шотландский физик Джеймс Клерк Максвелл создал теорию электромагнитного поля, математически описав электромагнитные

волны. Его уравнения показали, что электрические и магнитные поля могут распространяться в пространстве со скоростью света.

Экспериментальное подтверждение

1887-1888 годы - немецкий физик Генрих Рудольф Герц экспериментально доказал существование электромагнитных волн, предсказанных Максвеллом. Он создал генератор и приемник радиоволн, продемонстрировав их распространение, отражение. В его честь единица измерения частоты названа «герц».

Изобретение радио

7 мая 1895 года - русский физик Александр Степанович Попов продемонстрировал первый в мире радиоприемник на заседании Русского физико-химического общества в Санкт-Петербурге. Этот день отмечается как День радио.

1896 год - Попов осуществил первую в мире радиопередачу на расстояние около 250 метров, передав слова «Генрих Герц».

1897 год - Гульельмо Маркони запатентовал свою систему беспроводной телеграфии в Англии и основал первую компанию беспроводной связи.

1899 год - установлена радиосвязь через Ла-Манш (45 км) между Англией и Францией.

1901 год - Маркони осуществил трансатлантическую радиосвязь между Англией и Ньюфаундлендом (расстояние около 3500 км) [4].

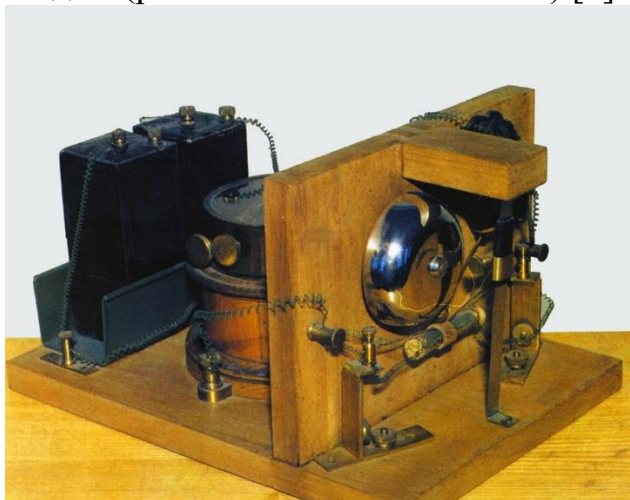


Рисунок 1 - Первый радиоприемник А.С. Попова

Развитие радиосвязи на железнодорожном транспорте

1900-е годы - началось применение радиосвязи на морском флоте и железных дорогах для обеспечения безопасности движения.

1910-е годы - в России созданы первые железнодорожные радиостанции для связи между станциями и поездами.

Изобретение электронной лампы

1904 год - английский физик Джон Амброс Флеминг изобрел диод - первую электронную лампу для детектирования радиосигналов.

1906 год - американский инженер Ли де Форест создал триод - лампу с

сеткой, способную усиливать электрические сигналы. Это открытие дало толчок развитию усилительной техники.

1910-1920-е годы - совершенствование электронных ламп привело к созданию мощных передатчиков и чувствительных приемников [3].

Рождение радиовещания

1906 год - канадский изобретатель Реджинальд Фессенден осуществил первую в мире радиопередачу голоса и музыки.

1920 год - в США начала работу первая регулярная радиовещательная станция KDKA в Питтсбурге.

1922 год - в Москве начала работу первая советская радиовещательная станция имени Коминтерна.

1920-1930-е годы - быстрое развитие радиовещания во всем мире, создание радиосетей.



Рисунок 2 - Первые электронные лампы: диод и триод

Развитие телефонии и проводной связи

1876 год - Александр Грэм Белл запатентовал телефон.

1878 год - в России открыта первая телефонная станция в Санкт-Петербурге.

1880-е годы - создание первых автоматических телефонных станций (АТС).

1920-1930-е годы - развитие междугородной и международной телефонной связи, прокладка подводных кабелей.

Радиотехника на железнодорожном транспорте в межвоенный период

1920-1930-е годы - внедрение автоблокировки и диспетчерской централизации на железных дорогах, основанных на электрической и радиотехнике.

1930-е годы - создание первых систем поездной радиосвязи в СССР.

Изобретение транзистора

1947 год - физики Уильям Шокли, Джон Бардин и Уолтер Браттейн в лабораториях Bell Labs изобрели первый точечный транзистор. Это открытие произвело революцию в электронике.

1950-е годы - разработка биполярных транзисторов, начавших вытеснять электронные лампы.

Преимущества транзисторов:

- малые размеры и вес;
- низкое энергопотребление;
- высокая надежность;
- долговечность.



Рисунок 3 - Первый транзистор 1947 года и современные транзисторы [5]

Создание интегральных схем

1958 год - Джек Килби (Texas Instruments) создал первую интегральную схему (микросхему), объединив несколько компонентов на одном кристалле германия.

1959 год - Роберт Нойс (Fairchild Semiconductor) независимо разработал свою версию интегральной схемы на кремнии.

1960-1970-е годы - быстрое развитие микроэлектроники:

- Малые интегральные схемы (МИС) - до 100 элементов;
- Средние интегральные схемы (СИС) - до 1000 элементов;
- Большие интегральные схемы (БИС) - до 100 000 элементов [2].

Появление компьютеров и цифровой техники

1940-е годы - создание первых электронно-вычислительных машин (ЭВМ) на электронных лампах (ENIAC, 1946).

1950-1960-е годы - ЭВМ второго поколения на транзисторах.

1960-1970-е годы - ЭВМ третьего поколения на интегральных схемах.

1971 год - компания Intel выпустила первый микропроцессор 4004, положивший начало эре персональных компьютеров.

Развитие спутниковой связи

1957 год - запуск первого искусственного спутника Земли в СССР, передававшего радиосигналы.

1962 год - запуск первого телекоммуникационного спутника Telstar.

1965 год - создание системы спутниковой связи «Орбита» в СССР.

1970-е годы - развитие систем спутниковой связи и телевидения.

Развитие мобильной связи

1979 год – в Японии развернута первая система сотовой связи 1G.

1980-е годы – появление аналоговых систем мобильной связи первого поколения (1G).

1990-е годы – переход к цифровым системам второго поколения (2G):

- 1991 год – запуск стандарта GSM в Европе;

- Цифровая передача голоса и данных;

- SMS-сообщения.

2000-е годы – системы третьего поколения (3G):

- Высокоскоростная передача данных;

- Видеозвонки;

- Мобильный интернет.

2010-е годы – системы четвертого поколения (4G/LTE):

- Скорость передачи до 100 Мбит/с и выше;

- IP-телефония;

- Стриминг видео.

2020-е годы – внедрение систем пятого поколения (5G):

- Сверхвысокая скорость (до 10 Гбит/с);

- Минимальные задержки;

- Поддержка Интернета вещей (IoT) [4].

В заключение хочу сказать, что история развития радиотехники, электроники и связи – это путь от простых экспериментов с электричеством до сложнейших цифровых систем, охватывающих весь земной шар. За неполных два столетия человечество прошло удивительную эволюцию.

Для железнодорожного транспорта эти достижения имеют особое значение. Современные системы управления движением поездов, железнодорожная радиосвязь GSM-R, системы автоблокировки и диспетчерской централизации – все это основано на достижениях радиотехники и электроники.

Будущее отрасли связано с дальнейшей цифровизацией, внедрением технологий Интернета вещей, искусственного интеллекта и систем автономного управления. Специалистам железнодорожного транспорта необходимо постоянно совершенствовать свои знания в области радиотехники, электроники и связи, чтобы эффективно эксплуатировать современное оборудование и внедрять инновационные решения.

Список литературы

1. Баскаков С.И. Радиотехника: история и современность. – М.: Техносфера, 2018.

2. Современные системы связи на железнодорожном транспорте: Учебное пособие / Под ред. В.А. Кудряшова. – М.: Маршрут, 2019.

3 Midlandrus - [электронный ресурс] // Радиосвязь на железных дорогах в России. Радиосвязь на железных дорогах в России: виды, частоты ЖД-каналов — Midland-rus

4. Физика и техника радиосвязи: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 2020

5.RusTem – [электронный ресурс] // Первый транзистор 1947 года Продемонстрирован первый в мире транзистор - Знаменательное событие

История развития радио в Нижнем Новгороде

*Зеленцов Дмитрий Аркадьевич
Аббасов Руслан Ариф Оглы,
студент ы*

*Акимова Галина Николаевна,
преподаватель*

*НИПС филиал ПривГУПС
г. Нижний Новгород, Российская Федерация*

Аннотация: *Статья посвящена истории становления и развития радиовещания в России, ключевым центром которого в начале XX века стал Нижний Новгород. В работе рассматривается деятельность Нижегородской радиолaborатории (НРЛ), основанной в 1918 году, где под руководством Михаила Бонч-Бруевича были проведены пионерские эксперименты. Особое внимание уделено историческим вехам: первой голосовой радиопередаче 27 февраля 1919 года и началу регулярного вещания в 1924 году.*

Ключевые слова: *радио; Нижегородская радиолaborатория; г. Нижний Новгород, Петр Алексеевич Остряков, Михаил Бонч-Бруевич, Олег Владимирович Лосев.*

Введение

Радио стало одним из важнейших изобретений XX века, которое кардинально изменило способы передачи информации. Оно позволило быстро распространять новости, музыку и знания на большие расстояния.

Нижний Новгород сыграл значительную роль в развитии радиотехники в России. Именно здесь проводились одни из первых экспериментов с радиосвязью, а также создавались технологии, которые позже применялись по всей стране.

Таким образом, изучение истории радио в Нижнем Новгороде помогает понять, как формировалась современная система массовой информации.

Нижегородская радиолaborатория

Центром развития радиотехники стала Нижегородская радиолaborатория, основанная в 1918 году.

Она находилась в Нижнем Новгороде и стала одним из первых научных учреждений, занимающихся радиосвязью в Советской России. [1]

В лаборатории работали ведущие ученые и инженеры. Здесь проводились эксперименты по передаче радиосигналов, создавались первые передатчики и приемники.

Первые слова в эфире Нижегородской радиолaborатории, ознаменовавшие начало голосового радиовещания в России 27 февраля 1919 года, произнес радиотехник Петр Алексеевич Остряков. [4] «Алло! Алло! Говорит Нижегородская радиолaborатория».[2]

В 1918 году была создана первая радиостанция. Уже в 1919 году удалось передать первую голосовую радиопередачу, что стало большим достижением, так как до этого использовался только телеграф.

Важную роль в этом сыграл ученый Михаил Бонч-Бруевич, который руководил разработками.

В Нижегородской радиолaborатории (НРЛ) он занимал должность руководителя и являлся ключевым разработчиком с 1918 по 1928 год. Под его руководством лаборатория стала центром советской радио инженерии, где он занимался разработкой мощных генераторных ламп, созданием первого в мире радиовещательного концерта и развитием радиосвязи. [3]

Регулярное радиовещание началось в 1924 году.

Первые передачи были очень простыми и включали:

- новости
- музыкальные произведения
- объявления для населения

В то время радиоприемников было очень мало - всего несколько штук на весь город. Поэтому люди собирались в общественных местах, чтобы послушать передачи.[5]

Развитие радио

В 1920–1930-е годы радио в Нижнем Новгороде активно развивалось.

Город стал одним из главных центров радиотехники в стране. Здесь создавались мощные передатчики, а радиосигналы принимались даже за пределами СССР.

Радио постепенно становилось массовым средством информации и начало играть важную роль в жизни общества.

Одним из известных ученых Нижегородской радиолaborатории был Олег Владимирович Лосев.

Он занимался развитием радиотехники и исследованием полупроводниковых приборов. В 1920-х годах Лосев создал прибор под названием «Кристадин». Это был одним из первых кристаллических усилителей радиосигнала. Его использовали для улучшения работы радиоприемников и повышения качества связи.

Разработка Лосева стала важным этапом в развитии радиоэлектроники, а его исследования позже повлияли на создание современных полупроводниковых устройств.

Во времена Великой Отечественной войны радио стало жизненно важным средством связи.

Оно выполняло несколько функций:

- передавало сводки с фронта,
- информировало население,

- поддерживало моральный дух людей.

Люди слушали сообщения о ходе войны, победах и потерях. Радио объединяло страну и помогало сохранять уверенность в победе.[6]

После окончания войны радио продолжило активно развиваться.

Увеличилось количество радиостанций, улучшилось качество передачи звука, появились новые программы – образовательные, культурные и развлекательные.

Радио стало неотъемлемой частью повседневной жизни людей.

Радио долгое время оставалось главным источником информации и сегодня ГТРК «Нижегород» продолжает традиции, вещая на частотах «Радио России», «Маяк» и «Вести FM» более 40 часов в неделю.

Заключение

История радио в Нижнем Новгороде показывает, как быстро развивались технологии связи.

Город сыграл важную роль в становлении радиовещания в России - от первых экспериментов до современного цифрового радио.

Сегодня радио продолжает развиваться, оставаясь важным средством информации и общения.

Список литературы

1. Музей «Нижегородская радиолaborатория» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nrl.unn.ru/> (дата обращения 19.05.2024). 90 лет назад в русском радиоэфире слова заменили азбуку Морзе [Электронный ресурс] // Вести.ru. – Режим доступа: <https://www.vesti.ru/article/2204943> (дата обращения 19.05.2024).

2. Михаил Бонч-Бруевич: от радиотелефона до «широковещания» [Электронный ресурс] // Ростех. – Режим доступа: <https://rostec.ru/media/news/mikhail-bonch-bruevich-ot-radiotelefona-do-shirokoveshchaniya/> (дата обращения 19.05.2024).

3. Остряков П.А. [Электронный ресурс] // Школы военных инженеров в 1701–1960 годах. – Режим доступа: https://viupetra2.3dn.ru/publ/ostriakov_p_a/13-1-0-173 (дата обращения 19.05.2024).

4. 100 лет назад впервые в России в радиоэфире зазвучала музыка [Электронный ресурс] // Вести Нижний Новгород. – Режим доступа: <https://vestinn.ru/news/society/201358/> (дата обращения 19.05.2024).

5. Говорит город Горький. Как работало радио в Великую Отечественную войну [Электронный ресурс] // АиФ Нижний Новгород. – Режим доступа: <https://nn.aif.ru/society/details/govorit-gorod-gorkiy-kak-rabotalo-radio-v-velikuyu-otechestvennuyu-voynu> (дата обращения 19.05.2024).

Эволюция средств связи на транспорте: железнодорожная отрасль

*Красильникова Екатерина Дмитриевна,
Малофеева Елизавета Алексеевна,
студентки*

*Гаврилова Ольга Ивановна,
преподаватель*

*НИПС филиал ПривГУПС,
г. Нижний Новгород, Российская Федерация*

Аннотация: В работе представлен систематизированный обзор развития технических средств связи на железнодорожном транспорте с середины XIX века по настоящее время. Рассматриваются этапы внедрения телеграфной, телефонной, диспетчерской и волоконно-оптической связи. Особое внимание уделено региональному опыту Горьковской магистрали, где внедрялись многие инновационные решения.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, технологическая связь, поездная диспетчерская связь, Горьковская железная дорога, ВОЛС, GSM-R.

Связь на железнодорожном транспорте с самого начала формировалась не как вспомогательная, а как критически важная подсистема, обеспечивающая безопасность движения и оперативное управление перевозками. В отличие от сетей общего пользования, железнодорожная связь всегда проектировалась с учётом жёстких требований: высокая надёжность, безусловный приоритет служебных переговоров и устойчивость к мощным электромагнитным помехам от тяговых сетей.

В России исторически сложилась многоуровневая система технологической связи, которая полностью повторяла иерархию управления железными дорогами: магистральный, дорожный, отделенческий и местный (станционный) уровни. Это позволяло сочетать централизованное руководство с оперативностью на местах.

Эволюцию железнодорожной связи можно разделить на несколько крупных этапов. Первый из них связан с телеграфом, затем пришла эпоха телефонных и селекторных систем, позже - поездной диспетчерской связи. Во второй половине XX века началась масштабная кабелизация и переход на аналоговые многоканальные системы, а с 1990-х годов - цифровизация и внедрение волоконной оптики. Сегодня отрасль движется к концепции «Цифровой железной дороги» [4]. Рассмотрим эти этапы подробнее на примере Горьковской магистрали.

Телеграфная связь (1830-1880 гг.)

Первые российские железные дороги строились уже с пониманием того,

что без оперативной информации невозможно управлять движением. Горьковская магистраль ведёт свою историю от Московско-Нижегородской дороги, открытой 1 августа 1862 года [6]. Ещё в 1843 году, параллельно с прокладкой Николаевской железной дороги, началось строительство воздушных линий телеграфа.

На Московско-Нижегородской линии монтировали четыре железных провода диаметром 4 мм. Три использовались для телеграфии, а четвёртый, сигнальный, - для передачи звуковых сигналов колоколом. Примечательно, что уже тогда было введено функциональное разделение каналов: первый («поездной») провод соединял станции для согласования отправления поездов, второй связывал станции с паровозными депо, а третий обеспечивал служебную связь между Москвой, Владимиром, Ковровым и Нижним Новгородом [7].

Ключевым техническим решением того времени стала телеграфная блокировка: занятость перегона автоматически фиксировалась телеграфным сигналом, который запрещал отправление следующего поезда. По сути, это был прообраз современных систем интервального регулирования движения.

Телефонная связь и селекторные системы (1880-1917 гг.)

Значимый этап связан с работами Павла Михайловича Голубицкого. В 1880 году он начал эксперименты по одновременной передаче телеграфных и телефонных сообщений по одним и тем же проводам. Тремя годами позже Голубицкий оборудовал первую телефонную станцию на 10 линий в Петербургском паровозном депо, а в 1884 году создал аппараты для связи остановившегося поезда со станцией.

Нижний Новгород вошёл в историю связи как место уникального технического прорыва. 20 июня 1881 года здесь была запущена первая в России гражданская телефонная линия. Кабель длиной 1547 метров соединил Георгиевскую пристань на Волге с квартирами директоров пароходного общества «Дружина». На линии установили четыре телефона «Siemens». Чтобы решить проблему слабого звука вызова, вместо свистков к аппаратам быстро приспособили электрические звонки.

В августе 1885 года в Нижнем Новгороде заработала городская телефонная станция на 50 номеров, и тогда же проложили первый в России подземный телефонный кабель - около километра [8]. К 1913 году руководство Московско-Курской-Нижегородской-Муромской дороги приняло решение о сплошной телефонизации. Уже через три года плотность телефонных аппаратов достигла одного на 25 работников.

Поездная диспетчерская связь (1920–1960 гг.)

После революции управление железными дорогами было централизовано. 31 мая 1918 года ВЦИК утвердил «Положение об управлении железнодорожными путями», впервые выделившее хозяйство связи и сигнализации в самостоятельную электротехническую службу. В октябре 1923 года на участке Москва - Александров ввели диспетчерское руководство движением, оборудовав линию аппаратурой с селекторным вызовом.

В 1936 году из состава Московско-Курской дороги выделили самостоятельную Горьковскую железную дорогу [9]. В том же году создали дорожную лабораторию сигнализации и связи под руководством Е.Н. Тихонюка. Началась подвеска проводов типа «ДГП» (дальняя громкоговорящая связь), а телеграфную станцию оснастили аппаратами Бодо [7].

С 1939 года в Нижнем Новгороде работает Малая Горьковская железная дорога имени М. Горького. Показательно, что в 1958 году её станции и локомотивы оборудовали поездной радиосвязью, а устаревшую электрожелезную систему заменили автоблокировкой [10]. В эти же годы развивались другие виды: постанционная связь (ПС), линейно-путевая (ЛПС) и станционная связь.

Этап цифровизации (1960-2010 гг.)

С 1965 года началась плановая замена воздушных линий на кабельную прокладку. К 1990 году на основных направлениях заменили 80% линий [1]. Техническую основу составили системы с частотным разделением каналов К-24Т и К-3Т [3]. В 1974 году провели унификацию станционной аппаратуры, создав три типа устройств: КАСС-ДСП (для дежурного по станции), КАСС-ДЦ (для диспетчера централизации) и КАСС-ДСЦ [2].

Первая магистральная волоконно-оптическая линия связи (ВОЛС) Москва - Ростов-на-Дону - Краснодар - Новороссийск - Сочи протяжённостью 2200 км была проложена в 1993 году. К 2005 году сеть ВОЛС превысила 50 000 км, охватив все 17 железных дорог России.

Нижегородский этап этой революции наступил в 2003 году: Горьковская дорога и компания «ТрансТелеКом» ввели участок ВОЛС «Агрыз - Дружинино» длиной 500 км стоимостью 250 млн рублей, объединив северный и южный участки в единую сеть [7]. А в 2008 году ГЖД приступила к внедрению цифровой радиосвязи стандарта GSM-R на участке Петушки – Нижний Новгород. Новая система позволила интегрировать поездную, станционную и ремонтно-оперативную радиосвязь, организовать автоматическую диагностику состава и передачу видео на локомотив.

Современное состояние и перспективы.

Сегодня сеть технологической связи ОАО «РЖД» представляет собой мультисервисную инфраструктуру, объединяющую голос, данные и видео. Основу по-прежнему составляет ВОЛС, дополненная радиорелейными и спутниковыми системами.

Новую страницу истории Горьковской магистрали открыл проект скоростного движения Нижний Новгород - Москва - Санкт-Петербург. До его запуска время в пути составляло 5-8 часов, сейчас - 3 часа 50 минут, а в перспективе планируется сократить его до 3 часов.

Стратегическими направлениями развития до 2030 года остаются внедрение стандартов 5G для управления движением и видеоаналитики, создание системы автоведения поездов («умный локомотив») и активное использование спутниковой навигации ГЛОНАСС. Вместе с тем сохраняются и серьёзные проблемы: необходимость поддерживать устаревшие аналоговые системы на

малодеятельных линиях, обеспечение кибербезопасности цифровой инфраструктуры и унификация разнородного оборудования [4].

Вывод.

Рассмотренный материал позволяет сделать несколько обобщающих выводов. Прежде всего, история железнодорожной связи убедительно показывает, что связь никогда не была второстепенной «пристройкой» к транспорту. Напротив, каждый новый вид связи - от телеграфа до оптоволокна - внедрялся для решения конкретных задач управления перевозками, и без него дальнейшее развитие движения было бы просто невозможным. Во-вторых, в России (и в СССР) сложилась самобытная инженерная школа: большая часть оборудования, от аппаратов Голубицкого до цифровых систем 2000-х годов, разрабатывалась и выпускалась отечественной промышленностью, а не копировалась зарубежными образцами.

Особого внимания заслуживает роль Нижегородского региона. Именно здесь в 1881 году заработала первая в России гражданская телефонная линия, в 1885 году - первый подземный кабель, а в 2008 году стартовал пилотный проект по внедрению GSM-R. Горьковская железная дорога на протяжении полутора веков остаётся не рядовой магистралью, а полигоном для отработки передовых решений. Наконец, временной промежуток перехода от аналоговых систем к цифровым занял около 40 лет - это очень медленный процесс, который сопровождался полной заменой всей линейной инфраструктуры (от воздушных проводов до волоконной оптики). Сегодня концепция «Цифровой железной дороги» фактически стирает грань между связью, автоматикой и управлением, превращая их в единую информационно-управляющую систему. И исторический опыт Горьковской магистрали показывает, что этот тренд будет только усиливаться.

Список литературы

1. Рязанцев Б.С., Бунин Д.А., Степанов Н.М., Шацев Н.З. Развитие автоматики, телемеханики и связи на железных дорогах. - М.: Транспорт, 1986.с. 279.
2. Шмытинский В.В., Глушко В.П. Многоканальная связь: от специализации к универсализации // Автоматика, связь, информатика. -2023.-№3.С.2-7.
3. Семенюта Н.Ф., Здоровцев И.А. История электрической связи на железнодорожном транспорте (прошлое, настоящее и будущее). - М.: ГОУ «УМЦ ЖДТ», 2008.-432с.
4. Сороко В.И., Кайнов В.М., Казиев Г.Д. Автоматика, телемеханика, связь и вычислительная техника на железных дорогах России: энциклопедия в 2 т. - М.: НПФ «Планета», 2006. - 520 с.
5. Упоров И.В. Появление железнодорожного транспорта в России (организационный аспект) // Вопросы истории. - 2024. - № 5-2. - С. 168-171.
6. Жаркова Е.А. История развития предприятий железнодорожного транспорта: от тепловозной тяги к цифровому локомотиву // Экономика и бизнес.-2024.-№5-2.-С.168–171.

7. Халин А.А. Система путей сообщения Нижегородского Поволжья и её роль в социально-экономическом развитии региона (30–90-е гг. XIX в.). - Нижний Новгород: Волго-Вятская академия государственной службы, 2005.- 310с.

8. 140 лет назад, 20 июня 1881 г., в Нижнем Новгороде была проведена первая в России линия телефонной связи // Центральная библиотека г. Бор.- URL:<https://ok.ru/borskayabiblioteka/topic/154254399405038>

9. Приказ об учреждении Горьковской железной дороги был подписан 14 мая 70 лет назад // НТА-Приволжье. - 2016. - 12 мая. - URL: https://nta-pfo.ru/news/society/2006/news_384688/

10. Малая Горьковская железная дорога имени М. Горького // Министерство транспорта и дорожного хозяйства Республики Татарстан. - URL:<https://mindortrans.tatarstan.ru/malaya-gorkovskaya-zheleznaya-doroga-imeni.htm>

История раций

*Кишкин Максим Анатольевич,
студент*

*Гаврилова Ольга Ивановна,
преподаватель*

*НИПС филиал ПривГУПС,
г. Нижний Новгород, Российская Федерация*

Аннотация: в статье рассмотрена история раций, также были рассмотрены люди, которые внесли вклад в развитие раций, рассмотрены применение раций на поле боя и в мирное время, принцип их работ.

Ключевые слова: рация, радиосвязь, радиоволны, частота, Motorola.

История раций берет свое начало с момента, когда человечество осознало потенциал беспроводной передачи звука.

В 1886 году немецкий ученый Генрих Герц совершил революционное открытие, проведя первый эксперимент по передаче радиоволн. Несмотря на то, что сам Герц не видел практического применения своим находкам, он убедительно доказал возможность создания, улавливания и измерения этих невидимых волн.

Это фундаментальное открытие, о котором Герц и его современники не могли и помыслить, стало отправной точкой для изобретения беспроводного телеграфа, радио и телевидения. В знак признания его заслуг, единицы измерения электрических и радиочастот, такие как килогерц (кГц) и мегагерц (МГц), используемые, в том числе, для двусторонней радиосвязи, носят его имя [1, стр. 1-5].

Претенденты:

История мобильной радиосвязи началась задолго до появления привычных нам раций. Уже в 1923 году старший констебль полиции Виктории, Фредерик Уильям Дауни, считается пионером, внедрившим двусторонние радиостанции в патрульные машины. Эти ранние устройства, хоть и были революционными, были настолько громоздкими, что занимали всё заднее сиденье автомобиля.

Значительный вклад в развитие двусторонней радиосвязи внес Хенрик Магнуски. В 1936 году он получил первый патент на эту технологию. Будучи польским специалистом, в 1939 году он отправился в Нью-Йорк, чтобы изучить американские разработки в области радиопередатчиков. Начавшаяся война кардинально изменила его планы: в 1940 году Магнуски присоединился к компании Galvin Manufacturing Corporation (GMC), которая впоследствии стала известна как Motorola.

Именно Galvin Manufacturing Company (будущая Motorola) в 1943 году разработала для вооруженных сил США модель SCR-300. Это устройство считается первой полноценной портативной рацией.

Параллельно с этим, Альфред Дж. Гросс, радиоинженер, также активно работал над технологиями, которые легли в основу первых раций, в период с 1934 по 1941 год.

Однако, несмотря на патент Магнуски, канадский изобретатель Дональд Хингс чаще всего признается создателем рации. В 1937 году он разработал портативную систему радиосигнализации, первоначально названную «Pack-Set». Изначально устройство предназначалось для помощи пилотам связи во время его работы в CM&S. Позже, во время Второй мировой войны, Хингс был переведен в Министерство национальной обороны и Национальный исследовательский совет в Оттаве для дальнейшего совершенствования этих устройств для военных нужд.

Таким образом, хотя первый патент на двустороннюю радиосвязь был выдан Хенрику Магнуски в 1936 году, именно Дональд Хингс, уроженец Великобритании, но гражданин Канады, получил широкое признание как изобретатель рации.

Прошли десятилетия, прежде чем идея передачи и приема голоса по воздуху стала доступной и компактной. Изначально это были массивные установки на кораблях и в штабах армий. Лишь к середине XX века технологии достигли уровня, который мы сегодня ассоциируем с простым и удобным устройством — рацией [2, стр. 1-3].

Рации на поле боя

Термин "рация" является сокращением от "радиостанция" и изначально относился ко всем устройствам для приёма и передачи радиосигналов, независимо от их размера или назначения (военные, гражданские, стационарные). Однако, привычный нам образ портативной рации сформировался во время Второй мировой войны с появлением модели "walkie-talkie" (буквально "ходи и говори").

Первой такой портативной радиостанцией стала SCR-300. Несмотря на свой внушительный вес (около 16 кг), она носилась как рюкзак и обеспечивала связь на несколько километров. Эта модель, разработанная американской компанией Galvin Manufacturing (будущей Motorola), по праву считается первой настоящей рацией.

Позднее была выпущена более компактная и лёгкая версия SCR-536, напоминающая телефонную трубку. Она была менее мощной, но гораздо удобнее в полевых условиях. Широкое использование раций военными положило начало новой эре мобильной и надёжной связи, позволяя оперативно общаться там, где прокладка кабелей или установка стационарного оборудования были невозможны.

Принципы работы: как звук становится радиоволной

Принцип действия рации основан на двусторонней радиосвязи:

1. Микрофон преобразует звук в электрический сигнал.
2. Модулятор «накладывает» сигнал на несущую волну
3. Передатчик усиливает сигнал и отправляет его через антенну в виде электромагнитных волн.
4. Приёмник другой рации «вытягивает» полезный сигнал из несущей волны с помощью демодулятора [3, стр. 3].

Основы частот: VHF и UHF

Рабочая частота – ключевой параметр для раций. Существуют два основных диапазона: VHF (30–300 МГц) и UHF (400–900 МГц), каждый со своими преимуществами.

VHF (Very High Frequency) отлично подходит для открытых пространств и дальних расстояний. Он идеален для использования в лесах, сельской местности, на воде (речной и морской транспорт) и в автомобилях. Это выбор для моряков, фермеров, лесников, водителей и всех, кто работает вне городской черты.

UHF (Ultra High Frequency) лучше всего проявляет себя в городской среде и внутри зданий. Он незаменим на массовых мероприятиях (концертах, фестивалях), где персоналу и организаторам необходимо поддерживать связь в условиях скопления людей. Обычно в этом диапазоне работают компактные и удобные портативные рации [4, стр. 3-4].

Рация после войны: надёжность в мирное время

Технология, изначально разработанная для военных нужд, продемонстрировала удивительную способность к адаптации и нашла широкое применение в мирной жизни. Рации стали ключевым инструментом для различных служб безопасности, включая полицию, пожарных, строителей и спасателей. К 1970-м годам они даже проникли в мир детских развлечений, став доступными игрушками на рождественских ярмарках. При этом, даже в самых простых моделях, сохранялась суть их технологии – надёжность, проверенная временем и эффективностью.

Знаковым событием стало появление в 1962 году модели Motorola HT200

– первой портативной рации, построенной на транзисторах. Этот аппарат весом около килограмма был спроектирован с учетом максимальной прочности и готовности к любым экстремальным сценариям. Спустя десятилетия, в 2012 году, компания Baofeng представила модель UV-5R. Эта рация, сочетающая доступность с профессиональным функционалом, весит всего около 100 грамм. Она предлагает гибкость в настройке частот, возможность подключения внешних антенн, функцию голосовой активации и даже сигналы тревоги. Радиолюбители, туристы и волонтеры высоко оценили её универсальность, компактность и способность работать десятки часов на множестве каналов, что делает её идеальным решением для путешествий, обмена информацией и обеспечения безопасности.

Рации – это не пережиток прошлого, а проверенное решение для ситуаций, где смартфоны бессильны. Их сила в:

- Автономности: Независимость от сетей и интернета.
- Скорости: Мгновенная связь.
- Надежности: Работа в экстремальных условиях.

Цифровизация превратила рации из простых "говорилок" в продвинутые устройства с шифрованием и передачей данных, сравнимые с мини-компьютерами [5, стр. 4-5].

Список литературы

1. Как голос обрёл дальность: история раций // Яндекс Дзен [электронный ресурс]. URL: <https://dzen.ru/a/aH9VFAyIZiH3e7AZ> (дата обращения 26.06.2025)

2. Кто изобрел рацию и история развития двусторонней радиосвязи // Радиоволна [электронный ресурс]. URL: <https://naradiovolne.ru/blog-racii/kto-izobrel-raciyu-i-istoriya-razvitiya-dvustoronney-radiosvyazi/> (дата обращения 13.09.2023)

3. Как работает рация: объяснение для чайников // BAOFENG [электронный ресурс]. URL: <https://baofeng.ru/blog/kak-rabotaet-raciya-obyasnenie-dlya-chajnikov/> (дата обращения 27.11.2025)

4. Диапазоны частот раций: что означают VHF и UHF? // Все рации [электронный ресурс]. URL: <https://vseracii.ru/company/blog/diapazon-y-chastot-ratsiy-cto-oznachayut-vhf-i-uhf/> (дата обращения 12.11.2025)

5. Рации: как работают, чем отличаются. Просто и понятно // Яндекс Дзен [электронный ресурс]. URL: <https://dzen.ru/a/aXCP7Ss783YVHQ8P> (дата обращения 21.01.2026)

Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС)

*Саяпин Виктор Максимович,
студент*

*Липчанская Наталья Геннадьевна,
преподаватель высшей квалификационной категории*

*Саратовского филиала ПривГУПС,
г. Саратов, Российская Федерация*

Аннотация: В статье речь идет о волоконно-оптических линиях связи, описывается принцип передачи информации с помощью света. Приведена история создания оптоволоконного кабеля с XVIII века и перечислены направления перспективного развития ВОЛС.

Ключевые слова: волоконно-оптические линии связи, волноводы, оптоволокно.

Для передачи информации в современных цифровых системах используются волоконно-оптические линии связи (ВОЛС).

Основой волоконно-оптических линий связи является волоконно-оптический кабель (ВОК) (рисунок 1), обладающий превосходящей скоростью передачи данных на значительные расстояния, высокой защищенностью от помех по сравнению с обычной проводной связью.



Рисунок 1. Волоконно-оптический кабель (ВОК)

Волоконно-оптическая связь — передача информации, в которой применяется принцип отражения света. Свет в оптоволоконном кабеле отражается от внутренних стенок без зеркала, а не рассеивается. Отражение света происходит за счёт разницы коэффициентов преломления сред. Гибкие волокна позволяют свету (световым пучкам) свободно передаваться по кабелю.

По волоконно-оптическим линиям связи передаётся речь и факсимильные сообщения, осуществляется телеуправление, телесигнализация и телеконтроль, интернет-соединения.

Оптическое волокно производят из кварцевого песка и присадок на стекольных заводах. На заводе используют два типа стекла для создания светово-

дов. В процессе создания оптоволоконного кабеля заготовку из кварца вытягивают на высоте 30 метров. Нить проходит через сканер, камеру охлаждения и ванну с полимером. Кабель упаковывают в полиэтиленовый кожух для защиты (рисунок 2).

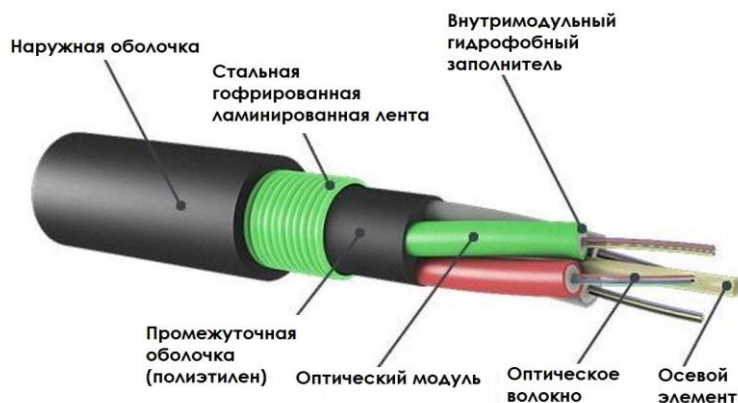


Рисунок 2. Структура волоконно-оптического кабеля (ВОК)

Первыми изобретателями передать информацию световым лучом в 90-е годы XVIII века были И.П. Кулибин в России и К. Шапп во Франции, которые изобрели оптический телеграф. Принцип действия линии телеграфа основан на передаче сигналов на дальние расстояния при помощи световых сигналов.

В 1870 году свойства света были подробно описаны в труде ученого Джона Тиндалла. Изобретатель А.Г. Белл в 1880 году применил передачу речи с помощью света по атмосфере, назвав своё изобретение фотофоном.

Зарождение передачи информации по оптоволоконному кабелю относится к середине XIX века. Первые разработки и эксперименты проводил швейцарский физик Жан-Даниэль Колладон в лабораториях Ампера и Фурье. В 1842 году вместе с Шарлем Штурмом получил премию Академии наук за измерение скорости звука и изучение распада водяных струй. Поскольку зрители не могли видеть водяную струю, Колладон использовал трубку, чтобы собирать солнечный свет и направлять его на лекционный стол. Свет улавливался полным внутренним отражением в трубке (рисунок 3) до тех пор, пока струя воды, на край которой свет падал под скользящим углом, не разбивалась и не уносила свет с собой по изогнутому потоку. Эксперименты Колладона легли в основу одного из ключевых принципов современной оптоволоконной связи [1].

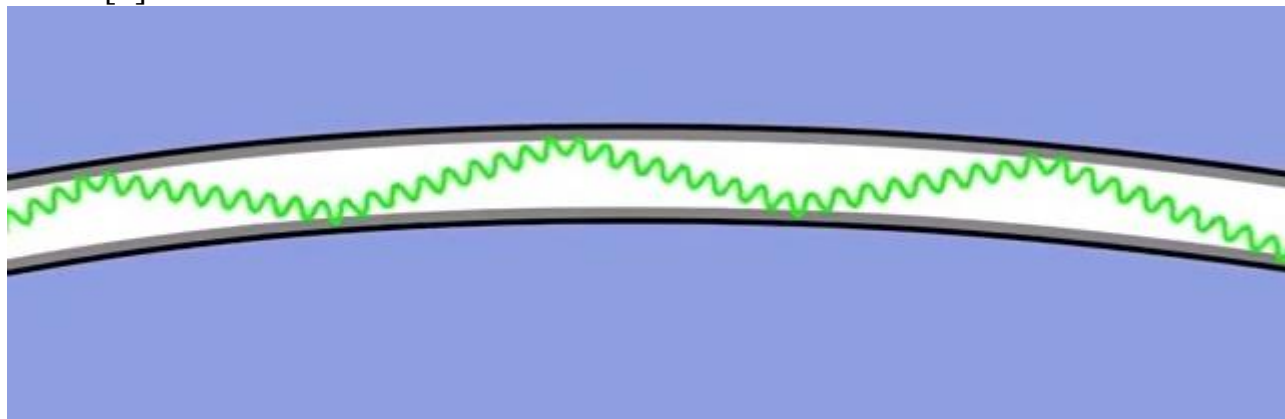


Рисунок 3. Ход лучей в световоде

Начало применения световодов в России относится к 70-м годам XIX века. Электротехник В.Н. Чиколев используя металлические трубы с зеркальными поверхностями внутри произвел освещение одной дуговой лампой нескольких помещений [2].

Историю оптоволоконна можно считать начавшейся в первой половине XX века благодаря американцу Норману Френчу, который получил первый патент на собранную на основе оптических технологий телефонную систему. В этой системе речевой сигнал передавался по стеклянным стержням с помощью света, были разработаны полупроводниковый лазер и фотодиод, позволяющие передавать и принимать оптический сигнал, но с сильным затуханием сигналов в оптическом канале.

В 1965-66 годах британская телефонная компания STL выдвинула идею использования стеклянного волокна для оптической связи. Это было реально при условии очистки стекла до уровня, обеспечивающего потери в 20 дБ/км.

Оптоволоконно в СССР начали испытывать в 70-х годах. Первая волоконно-оптическая линия связи проложена между промзоной и администрацией в городе Зеленоград. Испытание прошло успешно и в 1981 году принято Постановление ЦК КПСС и СМ СССР «О разработке и внедрении световодных систем связи и передачи информации», что явилось точкой отсчёта развития оптоволоконной связи. Работы по созданию оптического волокна типа «кварц-полимер» для ВОЛС проводили институты АН СССР и ряд институтов отраслевых министерств.

В 1988 году была проложена первая в мире трансокеанская волоконно-оптическая линия связи между США и Японией. Её создание стало возможным благодаря совершенствованию лазерных технологий и материалов для оптоволоконных кабелей. К 2003 году скорость передачи данных в таких кабелях достигла 10,92 Тбит/с, а к 2013 году они могли передавать 400 Гбит/с на расстояние 12 800 км (рисунок 4).

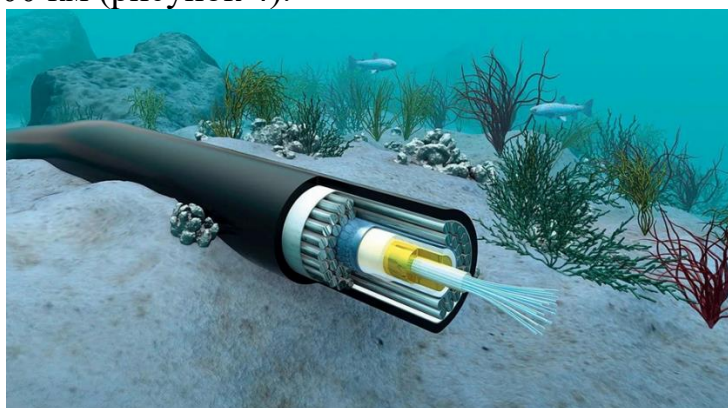


Рисунок 4. Подводная прокладка волоконно-оптического кабеля

Первой российской международной волоконно-оптической линией связи (ВОЛС) стала подводная магистраль Санкт-Петербург — Альбертслунн (Дания), проложенная в 1993 году АО «Совтелеком» (ныне ПАО «Ростелеком») [3].

Будущее развитие волоконно-оптических линий связи характеризуется несколькими стадиями и направлениями (рисунок 5).



Рисунок 5. Гальваническая развязка элементов сети

Основным фокусом в увеличении пропускной способности систем выступают следующие стратегии:

- Метод WDM позволяет увеличить число каналов в С-диапазоне (1530–1565 нм) за счёт сужения межканального интервала;
- Реализация оптических каналов в С-диапазоне и дополнительно в S-диапазоне (1460–1530 нм) и L-диапазоне (1565–1625 нм);
- Повышение скорости передачи данных в каждом канале внутри сигнала WDM [4].

Второй вектор развития заключается в уменьшении количества затратных оптических преобразований в линии оптической транспортировки OTN.

Важнейший шаг к успешному решению задачи — это создание:

- Систем волоконной оптики, которые обеспечивают передачу оптических сигналов DWDM на значительные дистанции до тысячи километров без необходимости восстановления электрического сигнала;
- Фотонных кросс-коннекторов (PXCs) и оптических мультиплексоов ввода/вывода (OADMs), которые соответствуют необходимым параметрам (пропускной способности, энергопотреблению, стоимости и другим) для использования в сетях связи [5].

Волоконно-оптические линии связи представляют собой не просто инновационную технологию, а основу современного цифрового мира. Их впечатляющая пропускная способность, устойчивость к помехам и способность передавать данные на значительные расстояния делают ВОЛС жизненно важной артерией для интернета, телефонной связи, телевидения и облачных сервисов.

В любых сферах, от глобальных транспортных магистралей до инфраструктуры дата-центров, оптоволокно обеспечивает необходимую скорость, надежность и безопасность. Дальнейшее развитие технологий будет напрямую зависеть от возможностей и распространения ВОЛС, что гарантирует этой технологии ключевую роль в обозримом будущем.

Список литературы

1. Извилистый путь оптоволоконного кабеля: от экспериментов до патентов // Хабр. 2023. 5 июня. URL: <https://habr.com/ru/companies/onlinepatent/art>

[ticles/739972/](https://cyberleninka.ru/article/n/razvitiye-volokonno-opticheskikh-linij-svyazikak-sredstva-upravleniya-i-obespecheniya-natsionalnoy-bezopasnosti) (дата обращения: 01.05.2026).

2. Складов, О. К. Волоконно-оптические сети и системы связи: учебное пособие для СПО / Складов О. К. - 3-е изд., стер. - Санкт-Петербург: Лань, 2023. - 268 с. - ISBN 978-5-507-46141-7: Б. ц. - Текст: непосредственный.

3. Гурлев И. В. Развитие волоконно-оптических линий связи как средства управления и обеспечения национальной безопасности/ И.В. Гурлев// Электронная библиотека КиберЛенинка. 2018 год. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitiye-volokonno-opticheskikh-linij-svyazikak-sredstva-upravleniya-i-obespecheniya-natsionalnoy-bezopasnosti> (дата обращения: 30.04.2026).

4. Андреева, И. М. Перспективы развития волоконно-оптических линий связи в России/ И. М. Андреева, Е. Д. Одинец // Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении «КомТех-2024»: материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием: в 2 т. Т. 2 / Южный федеральный университет [и др.]; отв. ред. С. И. Клевцов. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2024. – С. 184–193.

5. Новиков, О. С. Волоконно-оптические линии связи и перспективы их развития / О. С. Новиков. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2020. — № 23 (313). — С. 129-132. — URL: <https://moluch.ru/archive/313/71199>.

История создания первой магистральной волоконно-оптической сети на базе железных дорог России (1993–2001 гг.)

*Параскевопуло Даниил Янисович,
студент*

*Горобец Денис Григорьевич,
преподаватель*

*Санкт-Петербургского железнодорожного техникума,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация.*

Аннотация: В статье рассматриваются предпосылки, основные этапы и результаты создания первой магистральной волоконно-оптической сети связи на базе инфраструктуры российских железных дорог в период 1993–2001 гг. Анализируется техническое решение по подвеске оптического кабеля на опорах контактной сети, впервые реализованное на Октябрьской железной дороге. Показана роль совместного предприятия «Раском» как пионерного проекта и последующее создание национального оператора «ТрансТелеКом», построившего сеть протяжённостью 45 тыс. км. Сделан вывод, что к 2001 г. железнодорожный транспорт получил одну из самых протяжённых цифровых телекоммуникационных инфраструктур в мире, что заложило основу для дальнейшей автоматизации перевозочного процесса.

Ключевые слова: *волоконно-оптические линии связи, железнодорожный транспорт, Раском, ТрансТелеКом, подвесной оптический кабель, Октябрьская железная дорога, магистральная цифровая сеть.*

Начало 1990-х гг. характеризовалось резким ростом потребностей российских предприятий в надёжных цифровых каналах связи. Государственные сети, построенные на основе медных кабелей и радиорелейных линий, не обеспечивали требуемой пропускной способности и помехоустойчивости. В этих условиях перспективным направлением стало строительство волоконно-оптических линий связи (ВОЛС), обладающих высокой информационной ёмкостью, низким затуханием и невосприимчивостью к электромагнитным помехам.

Особенностью России являлась протяжённая железнодорожная сеть, имевшая в своём распоряжении полосу отвода, опоры контактной сети и линейные здания. Использование этой инфраструктуры для прокладки ВОЛС позволяло минимизировать капитальные затраты и сократить сроки строительства в 2–3 раза по сравнению с прокладкой в земле. В настоящей статье рассматривается история реализации этой идеи в период с 1993 по 2001 г.

Предпосылки и первые проекты на метрополитене

В 1991–1992 гг. в России появились первые альтернативные операторы связи, использовавшие транспортную инфраструктуру для прокладки ВОЛС. Компания «Макомнет» проложила оптический кабель в тоннелях Московского метрополитена, а «Метроком» – в Санкт-Петербургском метрополитене. Эти проекты показали, что подземная транспортная инфраструктура может успешно использоваться для развёртывания телекоммуникационных магистралей. Однако масштаб железных дорог, охватывающих практически всю территорию страны, открывал значительно большие возможности. [1, стр. 3 – 4]

Создание СП «Раском» и линия Москва – Санкт-Петербург

В июне 1993 г. было учреждено совместное предприятие «Раском», учредителями которого выступили Октябрьская железная дорога (46% акций), американская корпорация Andrew (49%) и РАО «Высокоскоростные магистрали» (5%). Главной задачей стало соединение ВОЛС Москвы и Санкт-Петербурга – двух крупнейших городов страны.

Ключевым техническим решением стала подвеска самонесущего оптического кабеля на опорах контактной сети железной дороги. Такой способ позволял отказаться от земляных работ, сократить время строительства в несколько раз и снизить стоимость километра линии. Уже в феврале 1994 г. первая линия протяжённостью 674 км была введена в эксплуатацию – рекордный срок составил всего три месяца.

В последующие годы сеть «Раскома» расширялась. К 1999 г. её протяжённость достигла 1000 км, были подключены Тверь, Великий Новгород, Выборг, а также пограничный переход Бусловская на границе с Финляндией. В июле 1999 г. завершено строительство линии Санкт-Петербург – Псков (350 км) с

пропускной способностью 2,5 Гбит/с. Технология подвески кабеля на опорах контактной сети была полностью отработана и доказала свою эффективность. [3, стр. 17]

Инициатива МПС и создание «ТрансТелеКома»

Успех «Раскома» привлёк внимание Министерства путей сообщения (МПС) РФ. Руководство отрасли осознавало, что для перехода к современным системам управления движением (диспетчерская централизация, цифровая поездная связь) требуется надёжная транспортная среда. По инициативе министра Н.Е. Аксененко было принято решение о создании единой магистральной цифровой сети связи на всей сети российских железных дорог.

27 февраля 1997 г. было основано ЗАО «Компания ТрансТелеКом» (ТТК), акционерами которого стали 17 железных дорог страны. На строительство сети МПС выделило около 1 млрд долларов США – крупнейшая инвестиция в телекоммуникационную инфраструктуру за постсоветский период. [5, стр. 7–9]

Строительство магистральной сети ТТК (1997–2001)

В период с 1997 по 2000 г. ТТК построил в полосе отвода железных дорог волоконно-оптическую сеть общей протяжённостью 45 тыс. км. Соединены 974 населённых пункта в 71 регионе России, сеть прошла через 11 часовых поясов – от западных границ до Владивостока. Охвачена территория, на которой проживает почти 90% населения страны.

Строительство велось одновременно на нескольких направлениях: главный ход Москва – Санкт-Петербург, направление на Мурманск, южное направление на Ростов-на-Дону и Сочи, восточное направление через Поволжье, Урал, Сибирь до Дальнего Востока. Применялась та же технология подвески кабеля на опорах контактной сети, что и в проекте «Раском». [2, стр. 12]

Начало коммерческой эксплуатации и значение для отрасли

13 октября 2001 г. ТТК официально приступил к коммерческой эксплуатации своей магистральной сети. Компания стала вторым по величине оператором магистральной связи в России после «Ростелекома», а по протяжённости волоконно-оптических линий превосходила конкурентов. Свободные каналы связи сдавались в аренду интернет-провайдерам, банкам, сотовым операторам.

Для самого железнодорожного транспорта новая сеть позволила: внедрить цифровые системы диспетчерской централизации, организовать видеонаблюдение за ответственными участками пути, перейти к цифровой поездной радиосвязи, создать единую сеть передачи данных для билетных систем и информационных услуг пассажирам. Наличие собственной ВОЛС дало возможность ОАО «РЖД» (образовано в 2003 г.) получать дополнительный доход от предоставления каналов сторонним организациям. [4, стр. 67 – 69]

Заключение

Создание первой магистральной волоконно-оптической сети на базе железных дорог России в 1993–2001 гг. прошло два этапа: пилотный проект «Раском» на направлении Москва – Санкт-Петербург (1993–1999) и масштабное

развёртывание сети «ТрансТелеКом» на всей территории страны (1997–2001). Ключевым техническим достижением стала разработка и промышленное внедрение метода подвески оптического кабеля на опорах контактной сети.

К концу 2001 г. российские железные дороги получили одну из самых протяжённых в мире цифровых телекоммуникационных магистралей (45 тыс. км), что создало фундамент для последующей автоматизации перевозочного процесса и повышения безопасности движения. Опыт, накопленный при реализации проекта, впоследствии использовался при строительстве ВОЛС в энергетике и других отраслях. Созданная сеть продолжает эксплуатироваться и модернизироваться, оставаясь важнейшим элементом как транспортной, так и телекоммуникационной системы страны.

Список литературы

1. Киреев В.И. ЗАО «Раском»: десять лет технологического совершенства // Музей компьютеров. – 2026. – С. 3 – 4.
2. Последний телеком-актив Ходорковского // ComNews, 29.11.2016. – 2016. – С. 12.
3. Митин В. Сети «Раском» стали на треть длиннее // ITWeek, 20.07.2018. – 2018. – С.17.
4. Чачин П. ТрансТелеКом выходит на рынок // ITWeek, 28.05.2022. – 2022. – С. 67 – 69.
5. ТрансТелеКом признан национальным оператором // Континент Сибирь Online, 14.06.2017. – 2017. – С. 7 – 9.

Первые системы радиосвязи на железных дорогах СССР (1930-50-е гг.): технические решения и инженерные прорывы

*Поташев Даниил Павлович,
студент*

*Кущенко Любовь Сергеевна,
преподаватель*

*НИПС филиал ПривГУПС
г. Нижний Новгород, Российская Федерация*

Аннотация: В статье исследуется начальный период внедрения радиосвязи на советском железнодорожном транспорте (1930–1950-е гг.). На базе отечественных книжных изданий выделены важнейшие технические новации: кварцевая стабилизация несущей, переход к частотной модуляции, создание виброустойчивых герметичных конструкций, обоснованный выбор гектометрового (2130 кГц) и УКВ-диапазонов, реализация симплексной связи

вкуне с групповым избирательным вызовом. Показан вклад НКПС, ЛЭТИИСС и профессора В.Н. Листова.

Ключевые слова: железнодорожная радиосвязь СССР, радиостанции ЖР-1, ЖР-3, ЖР-5, кварцевая стабилизация, симплекс, ЛЭТИИСС, В.Н. Листов.

Долгое время отсутствие устойчивой связи с движущимся составом оставалось серьёзной проблемой железных дорог. В 1920-е годы диспетчерское управление поездами базировалось исключительно на проводных телеграфе и телефоне; машинист получал распоряжения только на станциях. Подобная организация заметно снижала пропускную способность и провоцировала аварийные ситуации. Рубеж 1930-х годов ознаменовался развёртыванием в СССР систематических работ по внедрению радио на транспорте. Цель данной публикации – реконструировать хронологию становления первых отечественных систем железнодорожной радиосвязи (1930–1950-е гг.), выявить их технические особенности и оценить инженерные решения, заложившие базу для будущих поколений оборудования.

1. Зарождение идеи и первые опыты (конец XIX в. – 1930-е гг.)

Попытки задействовать радиоволны для управления поездами предпринимались в России ещё при жизни А.С. Попова. В 1897 году на Юго-Западной магистрали испытали искровой телеграф, однако сильные электромагнитные помехи от контактной сети и вибрации делали работу неустойчивой [1].

Восстановление интереса к транспортной радиосвязи произошло после Гражданской войны. В 1925–1928 гг. лаборатория НКПС вкуне с Нижегородской радиолaborаторией провела эксперименты на участке Москва – Серпухов. Удалось добиться связи с составом на удалении до 5 км, но сохранялась проблема теплового ухода частоты ламповых генераторов [4].

Важную роль сыграл запуск 25 ноября 1931 года радиофицированного пассажирского поезда № 71 по маршруту Ленинград – Москва. Вагоны оснастили приёмниками и громкоговорителями – это была скорее информационно-пропагандистская система («голос поезда»), чем технологическая. Тем не менее, эксперимент подтвердил способность ламповой аппаратуры функционировать в условиях интенсивной тряски и перепадов температуры [2].

В 1936 году НКПС утвердил программу организации магистральной коротковолновой связи с локомотивами. Выбрали гектометровый диапазон (около 2130 кГц), гарантировавший устойчивый сигнал на дистанции 20–30 км в любое время суток. В 1937–1938 гг. на Октябрьской и Куйбышевской дорогах провели испытания опытных образцов поездных станций на лампах типа СО-118. Радиус действия достиг 8–10 км, что уже позволяло диспетчеру выходить на связь с поездом на перегоне [6].

2. Становление научной школы и опыт войны (1937–1945)

Ключевым научно-техническим центром стал Ленинградский электротехнический институт инженеров сигнализации и связи (ЛЭТИИСС), основанный в 1937 году (современный ПГУПС). Возглавил кафедру «Дальняя

связь» профессор В.Н. Листов – признанный авторитет в области электрических фильтров и многоканальной передачи. Именно Листов инициировал применение кварцевой стабилизации частоты в подвижных объектах, что позволило отказаться от постоянной подстройки гетеродина. Под его началом в 1939–1940 гг. разработали отраслевые стандарты: полоса пропускания 6 кГц, девиация при ЧМ не более 5 кГц, мощность передатчика 3–5 Вт. Эти нормативы легли в основу послевоенной серии ЖР [5].

С началом Великой Отечественной войны остро встал вопрос оперативного управления воинскими перевозками. Постановлением ГКО № 2074с от 12 июля 1942 года организовали специальную радиосвязь НКПС с дорогами, обслуживавшими фронт. На узловых станциях Урала, Сибири и Поволжья смонтировали доработанные армейские радиостанции РБМ; для контакта с паровозами использовали носимые станции «Север» (диапазон 2–6 МГц) [7].

Хотя эти меры носили временный характер, они наглядно продемонстрировали жизненную необходимость радиосвязи на транспорте. К 1945 году стационарные радиоцентры имелись уже на 80 крупных сортировочных станциях, а на некоторых паровозах серий «СО» и «Э» установили трофейное и отечественное оборудование.

3. Массовое производство: радиостанции семейства ЖР (1947–1959)

Настоящий прорыв случился в 1947 году: ВНИИЖТ совместно с Омским заводом имени Козицкого завершил разработку станции **ЖР-1** (железнодорожная радиостанция, первая). Серийный выпуск стартовал в 1949 году, а с 1951 года ЖР-1 повсеместно монтировали на паровозы и тепловозы.

Параметры ЖР-1:

- диапазон 2,1–2,5 МГц (реально использовалась фиксированная частота 2130 кГц), амплитудная модуляция, симплексный режим;
- выходная мощность 4 Вт, чувствительность приёмного тракта 10 мкВ;
- конструктивное решение – герметичный стальной ящик на амортизаторах, размещаемый на правой стороне локомотивной площадки; питание – от бортовой сети 12 В через вибропреобразователь.

Радиус надёжной связи достигал 5–6 км – приемлемо для узла, но недостаточно для протяжённого перегона. Главной технической инновацией стала кварцевая стабилизация частоты: применение кварцевых резонаторов как в передатчике, так и в гетеродине приёмника позволило работать без подстройки даже при сильной вибрации [3].

К середине 1950-х годов обнаружилась уязвимость амплитудной модуляции перед импульсными помехами от контактной сети, искрения коллекторов тяговых электродвигателей и грозовых разрядов. В 1955–1956 гг. разработали ЖР-3 с частотной модуляцией, что улучшило отношение сигнал/шум на 10–12 дБ [6]. При сохранении диапазона и выходной мощности 5 Вт появился двухкварцевый синтезатор, обеспечивавший быстрое переключение между рабочей и резервной частотами. Станцию выпускали в локомотивном (ЖР-3Л) и стационарном (ЖР-3С) исполнениях.

Абсолютной вершиной развития ламповой поездной связи стала модель ЖР-5 (1959 год):

- расширенный диапазон 2,1–2,8 МГц с возможностью работы на четырёх фиксированных частотах;

- выходная мощность увеличена до 10 Вт, что дало радиус связи 12–15 км на перегоне;

- приёмник выполнен по схеме супергетеродина с двойным преобразованием;

- впервые внедрена система группового избирательного вызова – дешифратор тональных сигналов, позволявший диспетчеру вызывать либо конкретный локомотив, либо сразу все [3].

ЖР-5 выпускалась до середины 1960-х годов и по праву считается вершиной ламповой эры. На её базе создали первые опытные образцы радиоканальной автоматической локомотивной сигнализации (АЛС) – прообраз будущих систем интервального регулирования.

4. Развитие станционной и маневровой связи: УКВ-диапазон

Параллельно с совершенствованием магистральной связи в 1950-е годы активно внедрялась станционная радиосвязь для маневровой работы. Гектометровый диапазон для этих целей не подходил из-за сильных отражений и возникновения «мёртвых зон» в пределах станции. Поэтому выбрали ультракоротковолновый диапазон (150–155 МГц), где волны распространяются исключительно в пределах прямой видимости, не создают затенённых областей и отличаются высоким качеством сигнала [2].

В 1954 году для составителей поездов выпустили переносную радиостанцию РС-1 (масса 2,5 кг, дальность 1–2 км). Для локомотивов, эксплуатируемых в крупных узлах, создали стационарную УКВ-станцию ЖР-У, конструктивно выполненную в том же амортизированном ящике, что и ЖР-5. К концу 1950-х ультракоротковолновой связью оснастили все сортировочные горки и большинство крупных пассажирских станций [4].

5. Главные инженерные достижения и их вклад в развитие транспорта

Обобщая развитие 1930–1950-х годов, можно выделить пять ключевых технических результатов, которые определили облик отечественной железнодорожной радиосвязи на десятилетия вперёд:

1. **Кварцевая стабилизация несущей частоты** – впервые реализована в ЖР-1. Это решение обеспечило «беспоисковый» вход в связь и высокую надёжность в вибронегруженных условиях [3].

2. **Специальное конструктивное исполнение** (герметичный виброзащищённый ящик) – устойчивость к пыли, влаге, ударам. Данный стандарт (габариты, тип монтажа, разъёмы) сохранялся вплоть до 1980-х годов.

3. **Переход на частотную модуляцию** (модели ЖР-3 и ЖР-5) – кардинальное повышение помехозащищённости, особенно на электрифицированных участках. ЧМ позволила отказаться от громоздких систем шумоподавления [6].

4. Разделение частотных диапазонов – гектометровые волны (2–3 МГц) для поездной связи и УКВ (150–155 МГц) для станционных нужд. Благодаря этому один локомотивный приёмопередатчик мог использоваться и для связи с диспетчером, и для переговоров с составителем – лишь переключением канала [2].

5. Симплексный режим плюс групповой избирательный вызов – создание эффективной диспетчерской технологии. Симплекс (приём и передача на одной частоте поочерёдно) упрощал схему, а избирательный вызов избавлял от необходимости постоянно занимать эфир вызовами всех абонентов [3].

К 1960 году радиостанциями семейства ЖР оборудовали 60 тыс. км советских железных дорог [1]. Доля локомотивов, оснащённых поездной радиосвязью, превысила 70%. Это позволило сократить задержки поездов (из-за отпавшей необходимости ожидать приказы на станциях), организовать непрерывный диспетчерский контроль скорости в сложных метеоусловиях и заметно уменьшить число аварий. По данным МПС, к 1965 году аварийность по причинам несвоевременного получения предупреждений снизилась на 28% [4].

Кроме того, опыт эксплуатации ЖР-5 стал фундаментом для создания в 1970-х годах систем автоматического управления тормозами (АЛС-ЕН) и передачи телеметрической информации. Таким образом, первое поколение задало стандарты не только в части диапазонов и видов модуляции, но и в области протоколов управления.

1930–1950-е годы навсегда останутся в истории отечественной железнодорожной радиосвязи как эпоха пионерских решений. От искровых опытов А.С. Попова и первых ламповых образцов 1920-х годов – к серийному производству ЖР-1 (1949) и совершенной ЖР-5 (1959). Ключевые инженерные прорывы – кварцевая стабилизация, частотная модуляция, амортизированное герметичное исполнение, разделение магистрального и станционного диапазонов, групповой избирательный вызов – оказались столь удачными, что в неизменной форме просуществовали до внедрения цифровых стандартов (GSM-R) в 2000-х годах. Созданная в середине XX века советская школа транспортной радиосвязи (во главе с В.Н. Листовым и коллективом ЛЭТИИСС) дала стране один из самых надёжных и эффективных железнодорожных радиоинтерфейсов в мире.

Список литературы

1. Волков В.М., Головин Э.С., Кудряшов В.А. Электрическая связь и радио на железнодорожном транспорте. – М.: Транспорт, 1991. – 310 с
2. Казанкина Т.П. Радиосвязь на железнодорожном транспорте: учебник для техникумов ж.-д. транспорта. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1982. – 263 с.
3. Листов В.Н. (ред.). Электросвязь на железнодорожном транспорте. – М.: Трансжелдориздат, 1956. – 352 с.

4. Медведев Н.М., Колокольников А.Н. Поездная радиосвязь. – М.: Трансжелдориздат, 1952. – 198 с.
5. Семенюта Н.Ф., Здоровцев И.А. История электрической связи на железнодорожном транспорте (прошлое, настоящее и будущее). – М.: ГОУ «УМЦ ЖДТ», 2008. – 324 с.
6. Сычев Б.В., Доценко Н.Е. КВ радиосвязь на железнодорожном транспорте. – М.: Транспорт, 1988. – 128 с.
7. Танцюра А.А., Ерпылов К.Н. Радиостанция типа ЖР-5. – М.: Транспорт, 1964. – 163 с.

Развитие электроники

*Прибыш Руслан Михайлович,
студент*

*Кущенко Любовь Сергеевна,
преподаватель*

*НИПС филиал ПривГУПС
г. Нижний Новгород, Российская Федерация*

Аннотация: Статья посвящена историческому развитию и современным тенденциям электроники как ключевой области науки и техники. Рассматриваются основные этапы эволюции: от изобретения вакуумного диода и триода до создания транзистора, интегральных схем и микропроцессоров. Анализируются современные направления, включая наноэлектронику, искусственный интеллект, интернет вещей (IoT), квантовую электронику, гибкую и носимую электронику, биоэлектронику. Особое внимание уделяется перспективам и вызовам: замедление закона Мура, энергопотребление, проблема электронных отходов, кибербезопасность, доступность технологий и этические аспекты. Показано, что дальнейшее развитие электроники требует комплексного подхода, сочетающего фундаментальные исследования, инженерные инновации и социально-ответственное регулирование.

Ключевые слова: Электроника, микроэлектроника, наноэлектроника, транзистор, интегральная схема, закон Мура, искусственный интеллект, интернет вещей, квантовая электроника, гибкая электроника, биоэлектроника, энергоэффективность, электронные отходы, кибербезопасность, нанотехнологии.

Электроника — одна из ключевых областей современной науки и техники, которая оказывает огромное влияние на все сферы жизни человека. От первых простейших электронных приборов до современных микропроцессоров и нанотехнологий — развитие электроники прошло долгий и увлекательный путь, который продолжается и по сей день.

Истоки электроники уходят в конец XIX — начало XX века, когда были открыты основные физические явления, лежащие в основе работы электронных устройств. В 1904 году Джон Флеминг изобрёл первый вакуумный диод [1], а в 1906 году Ли де Форест создал триод — электронную лампу, позволявшую усиливать электрические сигналы [2]. Эти открытия стали фундаментом для развития радиотехники и первых электронных вычислительных машин.

В 1947 году произошло революционное событие — изобретение транзистора в Bell Labs [3]. Транзистор заменил громоздкие и ненадёжные вакуумные лампы, сделав электронные устройства более компактными, энергоэффективными и надёжными. Это открыло путь к развитию интегральных схем и микроэлектроники.

Эра интегральных схем и микроэлектроники

В 1958 году Джек Килби и Роберт Нойс независимо друг от друга разработали первые интегральные схемы (ИС) [4][5], которые позволили объединить множество транзисторов на одном кристалле. Это стало прорывом, позволившим создавать сложные электронные устройства с высокой производительностью и низкой стоимостью.

С тех пор развитие электроники шло по пути миниатюризации и повышения мощности. Закон Мура, сформулированный в 1965 году, предсказывал удвоение числа транзисторов на кристалле примерно каждые два года, что обеспечивало экспоненциальный рост вычислительной мощности [6].

Современные тенденции

Сегодня электроника — это не только компьютеры и смартфоны, но и огромный спектр устройств: от бытовой техники и автомобилей до медицинского оборудования и космических аппаратов. Современные микропроцессоры содержат миллиарды транзисторов, работают на гигагерцевых частотах и обеспечивают невероятную вычислительную мощность.

Особое внимание уделяется развитию нанотехнологий, которые позволяют создавать электронные компоненты на уровне отдельных атомов и молекул [7]. Это открывает новые возможности для создания еще более компактных, быстрых и энергоэффективных устройств. Нанoeлектроника обещает революционизировать такие области, как медицина (например, создание миниатюрных диагностических и терапевтических устройств), энергетика (более эффективные солнечные батареи и аккумуляторы) и новые материалы.

Еще одной важной тенденцией является развитие искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения, которые тесно связаны с электроникой. Для обучения сложных нейронных сетей требуются огромные вычислительные мощности, что стимулирует разработку специализированных процессоров, таких как графические процессоры (GPU) и тензорные процессоры (TPU) [8]. Эти процессоры оптимизированы для параллельных вычислений, что делает их идеальными для задач ИИ.

Интернет вещей (IoT) также является движущей силой развития электроники. Миллиарды устройств, от умных бытовых приборов до промышлен-

ных датчиков, подключаются к сети, собирая и обмениваясь данными. Это требует разработки недорогих, энергоэффективных и миниатюрных электронных компонентов, способных работать в различных условиях. Беспроводные технологии связи, такие как 5G и будущие стандарты, играют ключевую роль в обеспечении надежного и быстрого соединения для IoT-устройств [9].

Кроме того, наблюдается рост интереса к квантовой электронике. Квантовые компьютеры, основанные на принципах квантовой механики, обещают решить задачи, недоступные для современных классических компьютеров, такие как моделирование сложных молекул для разработки лекарств или создание новых материалов, а также взлом современных криптографических систем [10]. Хотя квантовые компьютеры находятся на ранних стадиях развития, они представляют собой одно из самых перспективных направлений в электронике.

Развитие электроники также неразрывно связано с вопросами энергоэффективности и устойчивости. По мере того как электронные устройства становятся все более распространенными, растет и потребление энергии. Поэтому исследования направлены на создание более энергоэффективных компонентов, разработку новых материалов с низким энергопотреблением и поиск альтернативных источников энергии для питания электронных устройств [13]. Переработка электронных отходов также становится все более актуальной проблемой, требующей инновационных решений [13].

В целом, развитие электроники продолжает оставаться динамичным и многогранным процессом. От фундаментальных открытий в физике до создания сложных систем искусственного интеллекта и квантовых вычислений, электроника продолжает формировать наше будущее, открывая новые горизонты для науки, техники и повседневной жизни.

Перспективы и вызовы

Будущее электроники обещает быть еще более захватывающим. Ожидается дальнейшее развитие гибкой и носимой электроники, которая позволит создавать устройства, интегрирующиеся непосредственно в одежду или даже в человеческое тело [8]. Это открывает двери для революционных медицинских применений, таких как непрерывный мониторинг состояния здоровья, и для создания совершенно новых форм взаимодействия с цифровым миром.

Биоэлектроника — еще одно перспективное направление, где электроника взаимодействует с биологическими системами. Это может привести к созданию нейроинтерфейсов, позволяющих управлять протезами силой мысли, или к разработке имплантируемых устройств для лечения неврологических заболеваний [9].

Однако, наряду с огромными возможностями, развитие электроники сталкивается и с серьезными вызовами. Закон Мура, который десятилетиями служил ориентиром, начинает замедляться из-за физических ограничений миниатюризации [6]. Дальнейшее уменьшение размеров транзисторов приближается к атомным масштабам, где начинают проявляться квантовые эффекты,

усложняющие производство и работу устройств. Это подталкивает исследователей к поиску новых архитектур и материалов, таких как углеродные нанотрубки или графен, которые могут стать основой для следующего поколения электроники [10].

Энергопотребление остается критически важным вопросом. Рост числа подключенных устройств и вычислительных мощностей ведет к увеличению общего энергопотребления. Разработка энергоэффективных процессоров, систем управления питанием и альтернативных источников энергии для электронных устройств является приоритетной задачей. Исследования в области энергетических сборов (energy harvesting), позволяющих устройствам получать энергию из окружающей среды (например, от солнечного света, вибраций или радиоволн), также набирают обороты [13].

Электронные отходы представляют собой растущую экологическую проблему. По мере того как устройства устаревают и заменяются новыми, образуется огромное количество электронного мусора, содержащего токсичные вещества [11]. Разработка экологически чистых материалов, модульных конструкций, облегчающих ремонт и переработку, а также создание замкнутых циклов производства становятся все более актуальными.

Кибербезопасность также приобретает первостепенное значение. С ростом взаимосвязанности устройств и объемов передаваемых данных, защита от кибератак становится критически важной. Разработка аппаратных решений для обеспечения безопасности, криптографических алгоритмов нового поколения и систем обнаружения вторжений является неотъемлемой частью развития современной электроники [13].

Наконец, доступность и этические аспекты развития электроники требуют внимания. Важно обеспечить, чтобы достижения в области электроники были доступны широким слоям населения и не усугубляли существующее социальное неравенство. Вопросы, связанные с использованием искусственного интеллекта, конфиденциальностью данных и потенциальным влиянием на рынок труда, требуют тщательного осмысления и регулирования [13].

В заключение, развитие электроники — это непрерывный процесс, движимый стремлением к инновациям и преодолением фундаментальных и прикладных задач. От фундаментальных открытий до создания сложных систем, электроника продолжает оставаться двигателем прогресса, формируя наше настоящее и определяя контуры нашего будущего.

Список литературы

1. Флеминг Дж.А. Изобретение вакуумного диода: исторические аспекты. — Лондон: Royal Society Proceedings, 1904. — Т. 73. — С. 142–149.
2. Де Форест Л. Устройство для усиления слабых электрических сигналов (патент США № 879532). — 1906.

3. Бардин Дж., Браттейн У., Шокли У. Изобретение транзистора в Bell Labs: революция в электронике. – Нью-Йорк: AT&T Technical Journal, 1948. – Т. 27. – С. 379–423.
4. Килби Дж. Интегральная схема: принципы и реализация (патент США № 3138743). – 1958.
5. Нойс Р. Устройство с полупроводниковыми элементами (патент США № 2981877). – 1959.
6. Мур Г. Закон Мура: удвоение числа транзисторов на кристалле. // Electronics Magazine. – 1965. – Т. 38. – № 8. – С. 114–117.
7. Дрекслер Э. Нанотехнологии: создание молекулярных машин. – М.: Мир, 2021. – 480 с.
8. Ким Д., Роджерс Дж. Гибкая и носимая электроника: материалы и архитектуры. // Nature Electronics. – 2023. – Т. 6. – С. 342–356.
9. Николелис М., Лимбо Дж. Биоэлектроника: взаимодействие электроники с биологическими системами. // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. – 2024. – Т. 71. – № 2. – С. 510–525.
10. Geim A.K., Novoselov K.S. Графен: новые двумерные материалы для электроники. // Nature Materials. – 2022. – Т. 21. – С. 720–735.
11. Отчет Программы ООН по окружающей среде (UNEP). Глобальный мониторинг электронных отходов 2024. – Найроби: UNEP, 2025. – 120 с.
12. Европейская комиссия. Этические принципы развития искусственного интеллекта и доверенной электроники (EU AI Act). – Брюссель, 2024. – 112 с.
13. Кузнецов А.А. Энергетический сбор (energy harvesting) для автономных электронных устройств. // Вестник энергоэффективности. – 2024. – № 3. – С. 78–91.

Лосев Олег Владимирович: учёный, опередивший время

*Саркисян Арсен Мартинович,
Бондаренко Александр Игоревич,
студенты*

*Акимова Галина Николаевна,
преподаватель*

*НИПС филиал ПривГУПС
г. Нижний Новгород, Российская Федерация*

Аннотация: В статье рассматривается жизнь и научное наследие выдающегося советского физика-самоучки Олега Владимировича Лосева (1903–1942) – одного из первооткрывателей полупроводниковых явлений, изобретателя «кристадина» и предшественника создателей транзистора и светодиода.

ода. Анализируется значимость его открытий в области отрицательного сопротивления, электролюминесценции и фотоэффекта в полупроводниках. Особое внимание уделено трагической судьбе учёного, погибшего в блокадном Ленинграде, и его посмертному признанию в мировой науке. Сделан вывод о том, что Лосев опередил своё время не менее чем на два десятилетия и по праву занимает место среди величайших физиков XX века.

Ключевые слова: О.В. Лосев; кристадин; светодиод; полупроводник; электролюминесценция; отрицательное сопротивление; транзистор; Нижегородская радиолaborатория; блокада Ленинграда; история физики.

Введение. Олег Владимирович Лосев (1903–1942)- физик, который за два десятилетия до появления транзистора и за полвека до массового распространения светодиодов не просто предсказал их появление, но и создал работающие прототипы [4]. Его называют «советским Теслой» и «отцом светодиода» [4; 7] - и это не преувеличение. Без университетского диплома, в скромных провинциальных лабораториях он опередил целые научные школы мира [4].

1. Формирование гения: Тверь - Нижний Новгород (1903–1922)

Олег Лосев родился 22 ноября 1903 года в Твери в дворянской семье [4].

В 1917 году он присутствовал на лекции Михаила Александровича Бонч-Бруевича - начальника Тверской радиостанции, что определило его судьбу [7]. В 1920 году он поступил лаборантом в Нижегородскую радиолaborаторию (НРЛ) [10] - ведущий научный центр страны, где начал систематические исследования кристаллических детекторов [1], открывшие новую эпоху в электронике.

2. Эра «кристадина»: предчувствие транзистора (1922). До Лосева полупроводниковые кристаллы считались лишь пассивными детекторами радиосигнала. В 1922 году Лосев провёл ключевой эксперимент, разрушивший эту аксиому [1]: подбирая смещение на контакте стальной иглы с кристаллом цинкита, он обнаружил отрицательное дифференциальное сопротивление [6]. Подключив к кристаллу колебательный контур, он получил прибор, способный генерировать и усиливать радиоволны. Так появился «кристадин» [1] - первый в истории твёрдотельный усилительный прибор.

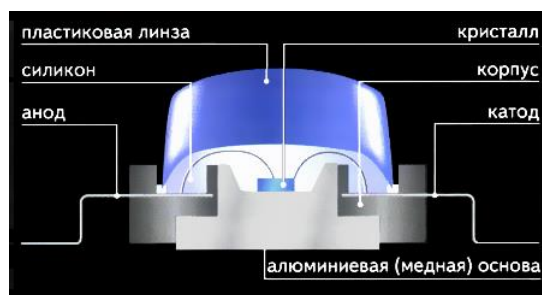
Статьи Лосева переводились и публиковались в ведущих журналах США, Великобритании и Франции [4]. Фактически, Лосев за двадцать лет предвосхитил изобретение транзистора [7]. Именно этот принцип лёг в основу транзисторной революции второй половины XX века, изменившей облик всей цивилизации [9].

В 1923 году, экспериментируя с карборундовыми детекторами (SiC), Лосев заметил слабое свечение на контакте иглы и кристалла [2]. Он доказал, что это квантовое явление - электролюминесценция [6]: рекомбинация носителей заряда непосредственно порождает свет, минуя тепловые потери.

В западной научной литературе эффект получил название «Losev Light» [8]. В 1927 году Лосев получил авторское свидетельство СССР № 12191 на «Световое реле» [2], фактически предсказав появление оптоволоконных систем связи [9] и современных дисплеев. Нобелевскую премию за синий светодиод присудили лишь в 2014 году [8] - спустя 91 год после открытия Лосева.



3. Рождение светодиода: «свет Лосева» (1923–1927 гг.).



4. Опережая теорию: Ленинград 1930-х годов

В 1930-х годах Лосев работает в Центральной радиолaborатории (ЦРЛ) [4] в Ленинграде. Он открывает фотовольтаический эффект в полупроводниковых переходах [6] - основу будущих солнечных батарей. Параллельно он вплотную приблизился к идее транзистора [7], однако технологии очистки материалов не позволяли реализовать замысел. В 1938 году ему без защиты диссертации присвоили степень кандидата наук: к тому времени вышли более сорока научных статей [3] и пятнадцать патентов.

5. Подвиг в блокадном Ленинграде (1941–1942)

С началом войны Лосев отказался от эвакуации. В блокадном Ленинграде он разработал портативный «радиозонд» [4] - прибор для обнаружения металла в теле раненого. Устройство применялось в ленинградских госпиталях [7] и спасло немало жизней. Олег Владимирович Лосев скончался от алиментарной дистрофии 22 января 1942 года [4]. Ему было 38 лет. Последняя рукопись - о теории полупроводникового трёхэлектродного прибора - осталась незаконченной.



6. Наследие и мировое признание

В 1947 году учёные Bell Laboratories изобрели транзистор, получив Нобелевскую премию 1956 года [9]. В 1962 году создан первый практический видимый светодиод [8]. Имя Лосева долгое время не упоминалось. Лишь Жорес Алфёров публично настаивал: «Олег Лосев был первым, кто показал, что полупроводники — это не просто выпрямители, а активные элементы электроники» [7]. В 2007 году журнал Nature Photonics закрепил за Лосевым статус отца светодиода [8]. В Нижнем Новгороде установлена мемориальная доска на здании НРЛ [10].

Заключение.

Олег Лосев - человек без диплома, работавший в условиях жесточайшей нехватки ресурсов,- совершил открытия,изменившие облик современного мира:без светодиода немыслимы ни энергосберегающее освещение, ни дисплеи смартфонов, ни оптоволоконный Интернет [8; 9]; без понимания активных свойств полупроводников не существовало бы транзистора [9] и всей современной вычислительной техники. Каждый раз, когда мы пользуемся смартфоном или Интернетом, мы пользуемся наследием Лосева [7]. Это и есть истинное бессмертие учёного.

Список литературы

1. Лосев О. В. Детектор-генератор; детектор-усилитель // Телеграфия и телефония без проводов (ТиТбп). - 1922. - № 14. - С. 374–402.
2. Лосев О. В. Светящийся карборундовый детектор и детектирование с кристаллами // ТиТбп. - 1927. - № 44. - С. 485–494.
3. Лосев О. В. Избранные труды. - Л.: Наука, 1971. (Сборник под ред. акад. И. В. Гребенщикова.)
4. Новиков М. А. Олег Владимирович Лосев - пионер полупроводниковой электроники // Физика твёрдого тела. - 2004. - Т. 46, вып. 1. - С. 3–14.
5. Остроумов Б. А. О. В. Лосев - основоположник полупроводниковой техники // Электричество. - 1952. - № 5. - С. 62–68.

6. Зи С. Физика полупроводниковых приборов: в 2 кн. / пер. с англ. - М.: Мир, 1984.
7. Алфёров Ж. И. Физика и жизнь. - СПб.: Наука, 2001. - 284 с.
8. Cheung K. P. The incredible lightness of LEDs // Nature Photonics. - 2007. - Vol. 1. - P. 195.
9. Orton J. W. The Story of Semiconductors. - Oxford: Oxford University Press, 2004. - 430 p.
10. Музей науки Нижегородской радиолaborатории [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://nrl.unn.ru> (дата обращения: 05.05.2026).

Будущее электроники: новые горизонты и вызовы

Сысокин Артем Владимирович,
студент

Кущенко Любовь Сергеевна,
преподаватель

*НИПС филиал ПривГУПС
г. Нижний Новгород, Российская Федерация*

Аннотация: Статья посвящена анализу ключевых направлений развития современной электроники, включая квантовые вычисления, нейроморфные системы, интернет вещей (IoT), периферийные вычисления, новые материалы (графен, углеродные нанотрубки) и экологические аспекты «зеленой» электроники. Рассматриваются технологические вызовы – от создания стабильных квантовых компьютеров до обеспечения кибербезопасности и этического регулирования ИИ. Показано, что эволюция электроники определяется не только ростом производительности и миниатюризацией, но и требованиями энергоэффективности, устойчивого развития и защиты данных.

Ключевые слова: электроника, микроэлектроника, наноэлектроника, квантовые вычисления, полупроводники, интернет вещей, искусственный интеллект, нейроморфные вычисления, периферийные вычисления, графен, энергоэффективность, «зеленая» электроника, инновации.

Продолжая рассматривать перспективы развития электроники, стоит отметить, что квантовые вычисления, несмотря на свою раннюю стадию, обещают кардинально изменить вычислительные возможности. Квантовые компьютеры, использующие принципы суперпозиции и запутанности, способны решать задачи, недоступные для самых мощных современных суперкомпьютеров [1]. Это открывает двери для прорывов в таких областях, как разработка новых лекарств и материалов, оптимизация сложных систем и криптография. Однако создание стабильных и масштабируемых квантовых компьютеров

остается сложной инженерной задачей, требующей дальнейших фундаментальных исследований и разработок [1].

Параллельно с развитием квантовых технологий, классическая электроника также не стоит на месте. Исследователи активно работают над созданием новых материалов, которые могут заменить кремний и обеспечить дальнейшую миниатюризацию и повышение производительности. Графен, углеродные нанотрубки и другие двумерные материалы обладают уникальными электронными и механическими свойствами, которые могут привести к созданию более быстрых, энергоэффективных и гибких электронных компонентов [3]. Разработка 3D-печати электроники также открывает новые возможности для создания сложных и индивидуализированных электронных устройств [9].

Важным направлением является развитие нейроморфных вычислений, которые имитируют структуру и работу человеческого мозга [10]. Такие системы способны обрабатывать информацию более эффективно и энергосберегающе, что особенно важно для задач искусственного интеллекта и машинного обучения [2]. Нейроморфные чипы могут стать основой для создания более «умных» и адаптивных электронных устройств, способных обучаться и принимать решения в реальном времени [2][10].

В контексте Интернета вещей (IoT), помимо развития беспроводных технологий, растет потребность в периферийных вычислениях (edge computing). Это означает, что обработка данных будет происходить ближе к источнику их генерации, а не в удаленных облачных центрах. Это снижает задержки, повышает безопасность и уменьшает нагрузку на сети [4]. Разработка специализированных процессоров для периферийных вычислений, а также создание энергоэффективных датчиков и исполнительных механизмов становится ключевым фактором для дальнейшего развития IoT [4].

Нельзя обойти стороной и экологические аспекты развития электроники. Помимо проблемы электронных отходов, растет осознание необходимости создания «зеленой» электроники. Это включает в себя использование биоразлагаемых материалов, разработку энергоэффективных производственных процессов и создание устройств с длительным сроком службы [5]. Исследования в области энергетических сборов (energy harvesting), позволяющих устройствам получать энергию из окружающей среды, также набирают обороты, снижая зависимость от традиционных источников питания [6].

Наконец, этические вопросы и вопросы безопасности становятся все более актуальными. С развитием искусственного интеллекта и повсеместным распространением электронных устройств вопросы конфиденциальности данных, предвзятости алгоритмов и потенциального влияния на рынок труда требуют пристального внимания и регулирования [8]. Разработка аппаратных решений для обеспечения безопасности, криптографических алгоритмов нового поколения и систем обнаружения вторжений является неотъемлемой частью развития современной электроники [7].

В заключение, развитие электроники — это непрерывный процесс, движимый стремлением к инновациям и преодолением фундаментальных и прикладных задач [1]. От фундаментальных открытий в физике до создания сложных систем искусственного интеллекта и квантовых вычислений, электроника продолжает оставаться двигателем прогресса, формируя наше настоящее и определяя контуры нашего будущего. Следующие десятилетия обещают быть еще более захватывающими, с появлением новых технологий, которые изменят наш мир до неузнаваемости [5][8].

Список литературы

1. Никонов В.А., Подольский В.В. Квантовые вычисления: состояние и перспективы. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2022. — 312 с.
2. Иванов Ю.С., Захарова Е.М. Нейроморфные вычислительные системы: архитектура и применение. // Известия вузов. Электроника. — 2023. — Т. 28. — № 4. — С. 45–58.
3. Geim A.K., Novoselov K.S. The rise of graphene. // Nature Materials. — 2022. — Vol. 21. — P. 720–725.
4. Стандарт IEEE 802.11be (Wi-Fi 7): Технические требования для периферийных вычислений в IoT. — IEEE Standards Association, 2024.
5. Отчет Программы ООН по окружающей среде (UNEP): Глобальные тренды электронных отходов и переход к зеленой электронике. — Найроби: UNEP, 2025. — 98 с.
6. Кузнецов А.А., Смирнова О.В. Энергетический сбор (energy harvesting) для автономных датчиков. // Вестник энергоэффективности. — 2024. — № 2. — С. 112–124.
7. Fernández M., Kumar R. Hardware Security for AI and IoT: Threats and Countermeasures. — Springer, 2024. — 276 p.
8. Европейская комиссия. Этические принципы развития искусственного интеллекта и доверенной электроники (EU AI Act). — Брюссель, 2024. — 89 с.
9. Патент РФ № 2783456. Способ 3D-печати многослойных электронных схем / Заявитель АО «НИИЭТ». — Оpubл. 20.11.2024.
10. Mead C. Neuromorphic electronic systems. // Proceedings of the IEEE. — 2020. — Vol. 108. — Iss. 1. — P. 10–22.

От электромагнитных волн к цифровым технологиям

Ударцев Матвей Витальевич,
студент

Батанова Светлана Юрьевна,
преподаватель

*СамКЖТ- структурное подразделение ПривГУПС
г. Самара, Российская Федерация*

Аннотация: В данной статье рассмотрена и проанализирована история развития радиотехники, электротехники и связи, описаны этапы длительного и последовательного процесса открытия человечеством способов передачи информации на расстоянии, упомянуты великие умы, сделавшие вклад в данную сферу, так же представлены основные направления развития радиотехники, электротехники и связи, и перспективы использования.

Ключевые слова: радиотехника, электротехника, связь.

История развития радиотехники, электротехники и связи – это длительный и последовательный процесс открытия человечеством способов передачи информации на расстоянии. Эту историю можно разбить на ряд характерных этапов.

Этап 1. Искровая радиотехника (1860-е – 1900-е гг.). В современной радиотехнике лежит классическая электродинамика Джеймса Клерка Максвелла, благодаря своим размышлениям он доказал существование волн в эфире, а экспериментальный фундамент заложил Генрих Герц, создав первый излучатель и приёмник. Первым, кто предложил и претворил в жизнь идею телеграфирования без проводов, был преподаватель морского инженерного училища Санкт-Петербурга Александр Степанович Попов. В качестве передатчика в первых опытах он использовал генератор, разработанный Герцем. В это время создавалась база и основа всей радиотехники, от которой уже в будущем отталкивались другие великие умы. [1, стр. 5].

Этап 2. Ламповый этап: эра незатухающих колебаний (1910-е – 1940-е гг.)

Радиотехника вышла на новый уровень, с появлением вакуумного триода. Это позволило перейти от искр к стабильным синусоидальным колебаниям.

Изобретатель Ли де Форест (США) – создатель триода, в 1906 году добавил в вакуумную лампу (диод) третий элемент – управляющую сетку, что позволило управлять потоком электронов. Это было рождение электроники: теперь слабый радиосигнал из антенны можно было усилить в тысячи раз.

Александр Мейснер (Германия) – создатель генератора. В 1913 году он первым догадался использовать триод для создания обратной связи. Благодаря

ему радиотехника ушла от искры прерывистых затухающих сигналов. Триод начал генерировать бесконечную, чистую синусоиду. Это позволило передавать по радио не только точку-тире, но и человеческий голос и музыку. Гений схемотехники Эдвин Армстронг (США) довёл идею триода до совершенства, изобретя две фундаментальные вещи: регенеративный приёмник, позволяющий ловить очень дальние станции на одну лампу и супергетеродин, один из типов радиоприёмников - по принципу работы которого работают почти все современные радиоприёмники, телевизоры и телефоны. [4, стр. 19].

Этап 3. Транзисторная радиотехника и освоение сверхвысоких частот (СВЧ) (1940-е – 1980-е гг.) Развитие радиолокации в 1930–1940-х годах стимулировало создание мощных источников высокочастотной энергии и детекторов СВЧ-диапазона. Уильям Шокли - теоретик, разработал концепцию плоскостного транзистора. Джон Бардин и Уолтер Браттейн - экспериментаторы, собравшие первый действующий точечный транзистор.

Именно они в 1947 году в лабораториях Bell Labs создали первый работающий полупроводниковый усилитель, который заменил вакуумную лампу. В СССР первые промышленные разработки полупроводниковых приборов начались в 1947 году. В НИИ «ИСТОК» внедрили в производство СВЧ-диоды для радиолокационных систем сантиметрового и миллиметрового диапазонов. Изучение и использование полупроводников в радиотехнике позволило радикально уменьшить габариты радиоустройств и повысить их надёжность. СВЧ-транзисторы используются в различных областях, включая: радиолокацию; спутниковую связь; мобильную связь; медицину. Джоном Преспером Эккертом и Джоном Уильямом Мокли в 1945 году был создан первый электронный цифровой вычислитель общего назначения – ЭНИАК. Он и стал относиться к ЭВМ 1-го поколения. Он был основан на вакуумных триодах, изобретенных Ли де Форестом в 1906 году. То есть, являлся ламповой ЭВМ как и все последующие ЭВМ 1-го поколения. ЭНИАК очень громоздкая машина, весившая 30 тонн, содержащая в себе 18 тыс. электронных ламп. В 1948 год, в СССР Исаак Брук и Башир Рамеев получили авторское свидетельство на цифровую ЭВМ. Это событие считается началом развития информатики в СССР. В том же году под руководством Сергея Лебедева была создана МЭСМ (малая электронная счётная машина) – первая в СССР электронная цифровая вычислительная машина. Важной вехой стало появление транзисторов, которые заменили электронные лампы в компьютерах второго поколения (1950-е годы). Это позволило значительно уменьшить размеры устройств и повысить их надёжность. В 1960-х началась эра интегральных схем, что ознаменовало появление третьего поколения компьютеров – ещё более компактных и мощных. К 1970-м годам появились первые микропроцессоры, которые объединили тысячи транзисторов на одном кристалле. Именно это изобретение проложило путь к созданию персональных компьютеров, доступных широкому кругу пользователей.

В 1957 году в СССР запущен первый искусственный спутник Земли с радиоаппаратурой на борту. В начале 1980-х годов в СССР началась работа

над системой «ВоЛеМоТ» (название состояло из первых букв городов, где велась разработка: Воронеж, Ленинград, Молодечно, Тернополь). В систему закладывалась возможность использования множества базовых станций и автоматического перехода между ними без прерывания разговора. Сотовая связь начала внедряться в России с 1990 года, коммерческое использование началось с 9 сентября 1991 года, когда в Санкт-Петербурге компанией «Дельта Телеком» была запущена первая в СССР сотовая сеть стандарта NMT-450 и был совершён первый символический звонок по сотовой связи. [5, стр. 24].

По информации генерального конструктора по автоматическим системам и комплексам госкорпорации «Роскосмос» Геннадия Ерохина, с 2027 по 2029 год планируется вывести на орбиту первые спутники, которые обеспечат доступ к интернету с обычного мобильного телефона по всей территории России.

Этап. 4 Современный этап: программно-определяемое радио (SDR) и цифровое радио (1990-е – 2000-е. гг.). Современная радиотехника уходит от жёсткой аппаратной реализации к программно-определяемому радио (SDR). SDR – это система радиосвязи, в которой многие функции обработки сигналов (модуляция, демодуляция, фильтрация и др.) реализуются программно, а не аппаратно. Цифровое радио – технология беспроводной передачи цифровой информации посредством электромагнитных волн радиодиапазона. Значительный вклад в развитие беспроводных коммуникаций внес Джозеф Митола, в 1991 году ввёл термин SDR и сформулировал концепцию «когнитивного радио» – систем, которые сами анализируют эфир и выбирают свободные частоты. Международная организация, которая создаёт технические спецификации и протоколы для сетей мобильной связи, обеспечивая совместимость оборудования разных производителей называется 3GPP. [6, стр. 8].

Этап 5. Нанoeлектроника и интеллектуальные системы (1990-е – 2000-е. гг.). В развитии нанoeлектроники важную роль сыграли пионерские работы 1950–1960-х годов У. Шокли, Г. Крёмера, Ж. И. Алфёрова и других учёных по теории и созданию полупроводниковых гетероструктур. Интеллектуальные системы начали активно развиваться в конце 1950-х годов. Начало исследований в области искусственного интеллекта (ИИ) связывают с работами Ньюэлла, Саймона и Шоу, которые исследовали процессы решения различных задач. В 1989 году в СССР государственная поддержка исследований в области интеллектуальных систем была утверждена приказом ГК СССР по народному образованию. Россия является родиной одного из наиболее значимых электронных приборов – полупроводникового лазера, за который получил Нобелевскую премию академик Жорес Алфёров. В 1990-е годы начался активный рост индустрии мобильных устройств, что потребовало создания более компактных и энергоэффективных решений.

В 2007 году развитие технологий позволило создать SoC, один процессор которого состоял из 148 миллионов транзисторов. Система на кристалле, или система-на-кристалле (SoC), – это интегральная схема, в которой боль-

шинство или все ключевые компоненты компьютера или электронной системы объединены в один микрочип. Переход к системам на кристалле (SoC, System on Chip) стал результатом развития микропроцессорных технологий и стремления к компактности, энергоэффективности и повышению производительности электронных устройств. Электроника стала «невидимой» – она встроена в бытовые предметы, одежду и транспорт. [2, стр. 18].

Этап 6. Цифровая связь и оптоволоконные технологии (2000-е – н.в.)

Мобильный интернет начал активно развиваться с начала 2000-х годов. Технологии 4G, а позже 5G, значительно увеличили скорости передачи данных, что позволило использовать интернет для работы с облачными приложениями, просмотра HD-видео, работы с виртуальной реальностью и в интернете вещей. Цифровой и интеллектуальный этап связан с масштабной цифровизацией общества, развитием интеллектуальных технологий и переходом к цифровой экономике. Этот период характеризуется быстрым распространением интернета, мобильных технологий, облачных сервисов, а также активным внедрением интеллектуальных технологий в различные сферы жизни. С 2000-х годов начался бурный рост машинного обучения. Это период, когда искусственный интеллект из научной концепции превратился в практический инструмент. Машинное обучение начало использоваться в разных отраслях для автоматизации рутинных процессов и решения сложных задач. Массовое внедрение волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) и стандартов цифровой передачи (GSM, 3G, 4G/LTE, 5G), а также переход на IP-протоколы стали ключевыми этапами развития телекоммуникационной инфраструктуры, обусловленными ростом объёмов данных, требованиями к скорости, надёжности и масштабируемости сетей. В 1980-е годы началось массовое внедрение ВОЛС между городами и странами, в 1988 году была проложена первая подводная линия ТАТ-8 через Атлантику, в 2000-е годы произошло проникновение волокна в города (FTTC – Fiber to the Curb), в 2010-е годы – массовое подключение домов (FTTH – Fiber to the Home), в 2020-е годы началась разработка новых стандартов (например, 25G-PON), внедрение в «умные» города и инфраструктуру 5G. [9, стр. 7].

Таким образом, массовое внедрение ВОЛС, стандартов цифровой передачи и переход на IP-протоколы стали взаимосвязанными процессами, которые определили современную структуру телекоммуникационной инфраструктуры и способствовали цифровизации общества.

В 2026 году российская радиоэлектроника продолжает развиваться в направлении технологического суверенитета, импортозамещения и внедрения новых технологий. К основным технологическим направлениям относят:

- развитие 5G и связанных технологий, разработка и внедрение технологий 5G, использование стратосферных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для раздачи мобильной связи, включая стандарт 5G.

- создание литографа для производства чипов по топологии 90 нм.

-развитие СВЧ-электроники. Активно ведутся работы над современными СВЧ-компонентами, включая транзисторы на основе нитрида галлия (GaN) для систем связи, включая 5G.

-гибридные решения в микроэлектронике, нейронные процессоры, технологии RISC-V, фотонные схемы и квантовые технологии – перспективные направления, которые могут стать основой для будущих поколений компьютеров и серверов. [10, стр. 4].

Список литературы

1. Розенберг, И. Н. Цифровая железная дорога: перспективы и проблемы / И. Н. Розенберг // Железнодорожный транспорт. – 2017. – № 10. – С. 34–37.
2. Мирошников, Д. Г. О внедрении цифровой технологической радиосвязи стандарта LTE на сети железных дорог ОАО «РЖД» / Д. Г. Мирошников, Е. И. Мареев // Автоматика, связь, информатика. – 2019. – № 5. – С. 2–5.
3. Беспилотное управление и «Виртуальная сцепка» Попов, П. А. Технология «виртуальной сцепки»: принципы, преимущества и перспективы / П. А. Попов, А. В. Озеров // Автоматика, связь, информатика. – 2020. – № 2. – С. 7–11.
4. В. Н. Гололобов. Радиоэлектроника. От азов до создания практических устройств. Издательство "Наука и Техника", 2020.
5. Ю.В. Ревич. История информационных технологий в СССР. Знаменитые проекты. Компьютеры, связь, микроэлектроника. Книма, 2016.
6. Джонсон Говард В., Грэхем Мартин. Конструирование высокоскоростных цифровых устройств. Начальный курс черной магии. Издательский дом "Вильямс". 2020.
7. С. А. Гаврилов, А. Бартош. Схемотехника. От азов до создания практических устройств. Издательство "Наука и Техника", 2020.
8. Пауль Хоровиц, У. Хилл. Искусство схемотехники. – Группа издательств «Бином», 2019.
9. Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Коваль В.А. Развитие сетей мобильной связи от 5G Advanced к 6G: проекты, технологии, архитектура. Издательство «ТЕХНОСФЕРА» 2023.
10. Степутин А.Н., Николаев А.Д. Мобильная связь на пути 6G. «Инфра-Инженерия» 2017.

Вклад нижегородской научной школы радиотехники в развитие отечественных систем связи

Шальнов Антон Сергеевич,
студент

Стоянова Ольга Федоровна,
преподаватель

*НИПС- филиал ПривГУПС
г. Нижний Новгород, Российская Федерация*

Аннотация: В статье рассматриваются ключевые этапы становления радиотехнической школы в России, с акцентом на вклад нижегородских учёных и инженеров. Проанализирована деятельность Нижегородской радиолaborатории (НРЛ) как первого в мире научно-исследовательского центра в области радиотехники. Особое внимание уделено разработкам М.А. Бонч-Бруевича в области мощных генераторных ламп, что позволило создать дальнейшие линии радиосвязи. Сделан вывод о влиянии исторических научных разработок на формирование современных систем железнодорожной радиосвязи, включая стандарты технологической связи на Российских железных дорогах.

Ключевые слова: радиотехника, Нижегородская радиолaborатория, А.С. Попов, М.А. Бонч-Бруевич, радиосвязь на железнодорожном транспорте, история связи, электроника, В.К. Лебединский, радиолампа.

1. Зарождение отечественной радиотехники: исторические корни

Становление и развитие радиотехники, электроники и систем связи в России представляет собой выдающийся пример научно-технического прогресса, достигнутого в условиях значительной экономической и политической нестабильности, характерной для начала XX столетия. В отличие от Европы и США, где формирование радиотехнической отрасли в основном определялось коммерческими интересами, в России этот процесс имел ярко выраженный государственный и академический характер. Именно такой подход способствовал формированию уникальных научных школ, одной из которых стала Нижегородская радиолaborатория (НРЛ). Основанная в 1918 году по инициативе В.И. Ленина, НРЛ сыграла ключевую роль в развитии отрасли. Как справедливо отмечает современный исследователь истории техники В.П. Борисов, «период деятельности в Нижнем Новгороде стал поворотным моментом в эволюции мировой радиотехники, ознаменовав переход от лабораторных исследований к промышленному производству радиоаппаратуры» [2, стр. 45].

Настоящая статья ставит своей целью всесторонний анализ вклада нижегородской научной школы в развитие отечественных систем связи. Особое внимание будет уделено выявлению исторической преемственности между

новаторскими разработками начала XX века и современными стандартами радиосвязи, применяемыми на железнодорожном транспорте. Для достижения поставленной цели предполагается решить следующие задачи: во-первых, охарактеризовать ключевые направления деятельности НРЛ; во-вторых, рассмотреть конкретные технические достижения выдающихся ученых, таких как А.С. Попов, М.А. Бонч-Бруевич и В.К. Лебединский; в-третьих, проследить влияние этих достижений на процесс внедрения радиосвязи в железнодорожную инфраструктуру России.

Актуальность выбранной темы обусловлена тем, что современная инфраструктура Российских железных дорог (ОАО «РЖД») активно интегрирует передовые цифровые системы связи, включая стандарты GSM-R и LTE. Однако без глубокого понимания исторической эволюции радиотехнических решений невозможно в полной мере осмыслить технические принципы, лежащие в основе помехоустойчивости, эффективного частотного планирования и обеспечения надежности каналов связи. Эти фундаментальные аспекты были заложены еще в 1920–1930-е годы. Кроме того, данная тема обладает значительным воспитательным потенциалом: изучение истории отечественной радиотехники способствует формированию у молодых специалистов чувства профессиональной гордости, ответственности и стремления к сохранению научных традиций.

2. Нижегородская радиолaborатория: центр научных достижений мирового уровня

Нижегородская радиолaborатория была основана в 1918 году. Первоначально ее помещения располагались в здании бывшей Махровой гостиницы, однако уже через два года лаборатория переехала в собственное здание, расположенное на Верхневолжской набережной. Штат лаборатории насчитывал около 70 высококвалифицированных специалистов, среди которых были выдающиеся физики и радиотехники того времени: М.А. Бонч-Бруевич (выполнявший функции научного руководителя), В.К. Лебединский, В.В. Татаринov, П.А. Остряков. Именно в стенах НРЛ были заложены основы для развития сразу нескольких перспективных прикладных направлений: производство радиоламп, радиотелефонная связь, радиовещание и коротковолновая связь.

Одним из наиболее значимых достижений НРЛ стало создание первых в мире мощных генераторных радиоламп с системой водяного охлаждения. До этого момента радиолампы применялись исключительно в маломощных приемных устройствах. Опираясь на теоретические разработки В.К. Лебединского, М.А. Бонч-Бруевич в 1919 году сконструировал радиолампу мощностью 1 кВт, а к 1922 году – лампу мощностью уже 25 кВт. Это стало настоящим технологическим прорывом, позволившим осуществить переход от использования искровых передатчиков к генерации непрерывных радиоволн.

Значение этого открытия невозможно переоценить. Именно появление мощных радиоламп открыло путь к реализации дальних радиотелефонных соединений без необходимости прокладки проводов. В 1922 году под руковод-

ством Бонч-Бруевича была запущена первая в Европе радиовещательная станция мощностью 12 кВт в Москве (на Шаболовке), а затем – станция мощностью 40 кВт в Нижнем Новгороде. Эти станции обеспечивали стабильный прием радиопередач на расстоянии до 1500 км, что неоднократно подтверждалось в ходе экспериментальных проверок. Как отмечал сам Бонч-Бруевич, «мы продемонстрировали, что радиотелефония не только не уступает проводной связи по качеству, но и превосходит ее по дальности при значительно более низких затратах на создание инфраструктуры» [1, стр. 67].

В 1920-е годы научные круги Нижнего Новгорода активно исследовали феномен коротких волн. Именно Нижегородская радиолaborатория (НРЛ) стала пионером в открытии явления загоризонтного распространения коротких радиоволн. Это открытие заложило фундамент для всех последующих систем дальней радиосвязи, включая те, что используются в морском, авиационном и военном секторах. В 1924 году авторитетный американский журнал «Proceedings of the IRE» признал Нижегородскую радиолaborаторию «самым передовым радиотехническим центром мира».

3. Интеграция радиосвязи в железнодорожную отрасль

Для конференции, посвященной будущему радиосвязи на железных дорогах, особое значение приобретает практическое применение нижегородских разработок в этой сфере. Первые попытки внедрения радиосвязи на железнодорожном транспорте были предприняты еще под руководством А.С. Попова. В 1905 году он успешно организовал экспериментальную линию связи между станцией и движущимся поездом на Царскосельской железной дороге. Однако несовершенство тогдашнего оборудования, в частности, использование искровых передатчиков и отсутствие ламповых приемников, препятствовало серийному внедрению системы.

Ситуация кардинально изменилась к середине 1920-х годов, когда нижегородские радиолампы достигли необходимого уровня надежности и компактности. Основными вызовами для железнодорожной радиосвязи были вибрация и значительные расстояния между поездом и станцией. Радиолампы, разработанные под руководством Бонч-Бруевича, продемонстрировали устойчивость к механическим воздействиям, что было подтверждено серией испытаний.

В 1925 году на Московско-Курской железной дороге были успешно проведены испытания радиотелефонных станций, созданных в НРЛ. Система включала передатчик мощностью 5 Вт на борту поезда и 50 Вт на стационарном посту. Радиус уверенной связи достигал 10–12 км при скорости движения поезда до 70 км/ч. Это позволяло машинисту напрямую обмениваться оперативными командами с диспетчером. Согласно архивным данным, «внедрение радиосвязи привело к сокращению задержек поездов на участке Москва – Курск на 18% и повысило безопасность движения в условиях тумана» [3, стр. 91].

Последующие годы ознаменовались бурным развитием железнодорожной радиосвязи. К 1930 году все скоростные поезда на магистралях Ленинград

– Москва и Москва – Нижний Новгород были оснащены радиостанциями. В 1930-е годы Нижегородская радиолaborатория (переименованная в Центральную радиолaborаторию и частично переведенная в Ленинград) разработала первые стационарные радиоцентры, предназначенные для управления движением на крупных узловых станциях.

В период Великой Отечественной войны железнодорожная радиосвязь приобрела стратегическое значение. Эвакуационные поезда и воинские эшелоны управлялись с помощью радиостанций, созданных на основе нижегородских разработок. Несмотря на эвакуацию заводов из западных регионов в Поволжье и на Урал, научная база предприятий сохраняла связь с нижегородской школой.

4. Преемственность с современными стандартами связи

Современный железнодорожный транспорт в России функционирует на основе цифровых стандартов технологической радиосвязи, в первую очередь GSM-R (GSM – Railway). Этот стандарт, разработанный в конце 1990-х – начале 2000-х годов, базируется на сотовых технологиях второго поколения. На первый взгляд, может показаться, что между радиолампами 1920-х годов и цифровыми протоколами XXI века нет ничего общего.

Однако глубокий исторический анализ демонстрирует, что основополагающие принципы организации радиосвязи на железной дороге остались неизменными. К ним относятся: требование высочайшей надежности, автоматическое переключение между базовыми станциями при движении поезда (handover) и приоритет голосовой связи для диспетчерских команд. Эти принципы были впервые сформулированы и апробированы именно в период с 1925 по 1935 год на опытных линиях Московско-Курской и Горьковской железных дорог.

Более того, электронные компоненты современных станций GSM-R, такие как усилители мощности, малошумящие усилители, смесители частот и фильтры, по сей день используют физические принципы, открытые в эпоху ламповой электроники. Хотя транзисторы заменили лампы, теория усиления электрических сигналов, теория колебательных контуров, а также методы модуляции и демодуляции были разработаны именно в первой половине XX века в Нижнем Новгороде.

Заключение

Проведённый анализ позволяет выделить несколько ключевых выводов. Во-первых, Нижегородская радиолaborатория, действовавшая с 1918 года до середины 1920-х, занимала лидирующие позиции в мировой радиотехнике. Она опередила США и европейские страны в разработке мощных генераторных ламп, радиотелефонных станций и исследованиях коротковолнового диапазона. Основатель лаборатории М.А. Бонч-Бруевич вместе с командой заложили основы отечественной электроники. Во-вторых, внедрение радиосвязи на железнодорожном транспорте России началось именно с применением нижегородских разработок в середине 1920-х годов. Опытные линии на Москов-

ско-Курской и других железных дорогах подтвердили высокую эффективность радиосвязи для диспетчерского управления движением поездов. В-третьих, существует прямая связь между научно-техническими принципами нижегородской школы и современными стандартами железнодорожной радиосвязи, такими как GSM-R и LTE. Без глубокого понимания исторического контекста невозможно полноценно освоить современные инженерные решения. Практическая ценность данного исследования заключается в возможности его использования при подготовке учебных курсов «История науки и техники» и «Радиотехнические системы на транспорте» в Нижегородском институте путей сообщения и других профильных вузах. Перспективы дальнейших исследований связаны с более детальным изучением архивных документов, касающихся конкретных радиостанций, установленных на поездах Горьковской железной дороги в 1930-е годы. Также представляет интерес сравнительный анализ нижегородских технологий с зарубежными разработками, например, работами Маркони, Теслы и Армстронга, что позволит объективно оценить вклад России в развитие мировой радиотехники.

Список литературы

1. Бонч-Бруевич, М.А. Радиотехника и её применение в СССР / М.А. Бонч-Бруевич. – М.: Радио и связь, 2016. – 280 с.
2. Борисов, В.П. История радиотехники в России: школы и направления // Вопросы истории естествознания и техники. – 2021. – № 3. – С. 44-58.
3. Официальный архив горьковской железной дороги: документы по внедрению связи (1920-1925 гг.) / сост. Е.П. Волкова. – Нижний Новгород: Изд-во ПривГУПС, 2020. – 156 с.
4. Лебединский, В.К. Собрание трудов по радиотехнике и физике / под ред. А.И. Берга. – М.: Наука, 2018. – 340 с.
5. Малышев, А.Н. Эволюция средств радиосвязи на железнодорожном транспорте России (1920-2020 гг.): дис. ... канд. техн. наук: 05.12.13 / Малышев Андрей Николаевич. – М., 2022. – 189 с.
6. Остряков, П.А. Краткий очерк истории Нижегородской радиолaborатории / П.А. Остряков // Радиотехника. – 2019. – № 4. – С. 22-31.

Секция 4. Цифровая обработка сигналов. Системы передачи информации

Цифровая обработка сигналов и современные системы передачи информации на железнодорожном транспорте.

*Ефимова Виктория Алексеевна,
студент*

*Гаврилова Ольга Ивановна,
преподаватель*

*НИПС филиал ПривГУПС
г. Нижний Новгород, Российская Федерация*

Аннотация: в данной статье мы рассматриваем основы цифровой обработки сигналов, современные системы передачи информации и их применение в железнодорожной отрасли.

Ключевые слова: цифровая обработка сигналов, передача информации, сигнал, цифровой сигнал, системы передачи данных.

В современном мире цифровая обработка сигналов (ЦОС) и системы передачи информации играют ключевую роль в обеспечении эффективного функционирования железнодорожного транспорта. Переход от аналоговых к цифровым технологиям позволил значительно повысить надежность, скорость и качество передачи данных, что особенно важно для систем управления движением поездов, железнодорожной связи и автоматики.

Цифровая обработка сигналов представляет собой совокупность методов обработки дискретных сигналов с использованием вычислительной техники. Эти технологии находят широкое применение в телекоммуникациях, радиолокации, аудио- и видеотехнике, медицинских приборах и, конечно, на железнодорожном транспорте.

Сигнал - это физический процесс, несущий информацию. По способу представления сигналы делятся на:

- аналоговые (непрерывные) сигналы - изменяются непрерывно во времени и могут принимать любые значения в определенном диапазоне. Примеры: звуковые волны, напряжение в электрической сети.

- цифровые (дискретные) сигналы - принимают только определенные значения (обычно два: 0 и 1) в дискретные моменты времени.

Преимущества цифровых сигналов:

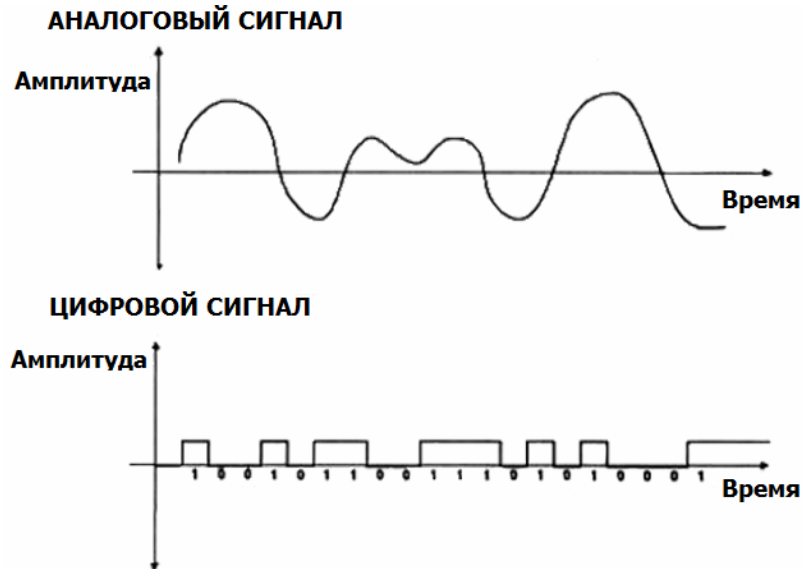
- устойчивость к помехам и искажениям;
- возможность точного копирования без потери качества;
- простота хранения и обработки;

- возможность сжатия данных;
- высокая помехоустойчивость при передаче [1].

Рисунок 1 - Сравнение аналогового и цифрового сигналов (графики)

Дискретизация и квантование сигналов

Процесс преобразования аналогового сигнала в цифровой включает два основных этапа:



Дискретизация - замена непрерывного сигнала последовательностью отсчетов, взятых через равные промежутки времени. Частота дискретизации определяет, сколько отсчетов берется за одну секунду (измеряется в Гц).

Теорема Котельникова (Найквиста-Шеннона): для точного восстановления аналогового сигнала частота дискретизации должна быть как минимум в два раза выше максимальной частоты в спектре сигнала.³

Квантование - округление значений отсчетов до ближайших уровней из конечного набора. Количество уровней квантования определяет разрядность (битность) цифрового сигнала. Кодирование - представление квантованных значений в двоичном коде.

Дискретизация и квантование

• **Дискретизация аналогового сигнала** состоит в том, что сигнал представляется в виде последовательности значений, взятых в дискретные моменты времени.

• **При квантовании** вся область значений сигнала разбивается на уровни, каждому из которых присваивается некоторое число. Отсчеты сигнала сравниваются с уровнями квантования и в качестве сигнала выбирается это число.

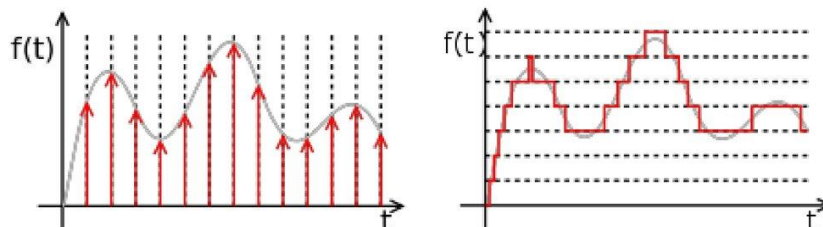


Рисунок 2 - Процесс дискретизации и квантования аналогового сигнала
Цифровые фильтры

Цифровые фильтры — это устройства или алгоритмы, предназначенные для изменения спектрального состава сигнала.

Основные типы цифровых фильтров:

Фильтр низких частот (ФНЧ) - пропускает низкие частоты, задерживая высокие. Применяется для сглаживания сигналов, подавления высокочастотных помех.

Фильтр высоких частот (ФВЧ) - пропускает высокие частоты, задерживая низкие. Используется для выделения быстрых изменений сигнала [3].

Полосовой фильтр - пропускает определенный диапазон частот.

Режекторный фильтр - подавляет определенный диапазон частот (например, сетевую помеху 50 Гц).

Преимущества цифровых фильтров перед аналоговыми:

- Высокая точность и стабильность характеристик;
- Программируемость;
- Отсутствие дрейфа параметров;
- Возможность реализации сложных алгоритмов.

Структура системы передачи данных

Система передачи информации состоит из следующих основных элементов:

- источник информации - генерирует сообщение (голос, данные, видео);
- передатчик - преобразует сообщение в сигнал, пригодный для передачи по каналу связи.

Включает:

- кодирование источника (сжатие данных);
- канальное кодирование (добавление избыточности для защиты от ошибок);
- модуляцию (перенос сигнала на несущую частоту);
- канал связи - среда передачи сигнала (провод, оптоволокно);
- приемник - выполняет обратные преобразования (демодуляцию, канальное декодирование (коррекция ошибок), декодирование источника.);
- получатель информации - конечный потребитель [2].

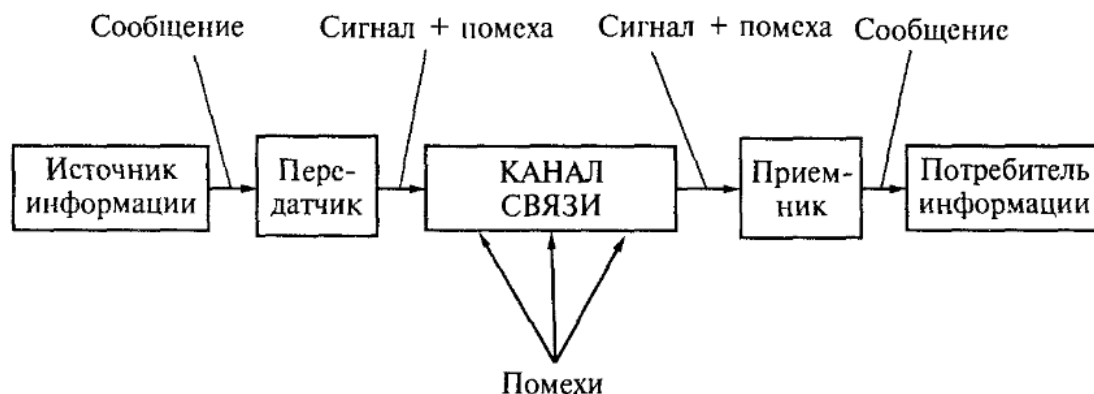


Рисунок 3 - Структурная схема системы передачи информации

Модуляция цифровых сигналов

Модуляция - процесс изменения параметров несущего колебания в соответствии с передаваемым цифровым сигналом.

Основные виды цифровой модуляции:

-амплитудная манипуляция (ASK - Amplitude Shift Keying) - информация кодируется изменением амплитуды несущей;

-частотная манипуляция (FSK - Frequency Shift Keying) - информация кодируется изменением частоты;

-фазовая манипуляция (PSK - Phase Shift Keying) - информация кодируется изменением фазы сигнала;

-квадратурная амплитудная модуляция (QAM - Quadrature Amplitude Modulation) - одновременно изменяются амплитуда и фаза, что позволяет передавать несколько бит на один символ.

Кодирование и защита от ошибок

Для повышения надежности передачи данных применяются специальные коды:

-контроль четности - простейший метод обнаружения ошибок путем добавления контрольного бита;

-циклический избыточный код (CRC) - более сложный метод обнаружения ошибок;

-коды Хэмминга - позволяют не только обнаруживать, но и исправлять одиночные ошибки;

-сверточные коды и коды Рида-Соломона - применяются в современных системах связи;

-turbo-коды и LDPC-коды - обеспечивают высокую помехоустойчивость, близкую к теоретическому пределу Шеннона.

Цифровые системы железнодорожной связи.

GSM-R (Global System for Mobile Communications - Railway) - специализированный стандарт цифровой радиосвязи для железных дорог.

Функции GSM-R:

- голосовая связь диспетчеров с машинистами;

- передача данных для систем управления движением;

- экстренная связь (кнопка SOS);

- определение местоположения поездов;

- групповые вызовы.

Технические характеристики:

- Частотный диапазон: 876-880 МГц (передача), 921-925 МГц (прием);

- Скорость передачи данных: до 29,4 кбит/с;

-Покрывание вдоль железнодорожных путей. [5]

Системы передачи данных для управления движением поездов

ЕСЦП (Единая сеть электросвязи ОАО «РЖД») - интегрированная телекоммуникационная сеть, обеспечивающая все виды связи на железнодорожном транспорте.

Системы передачи данных:

- SDH (Synchronous Digital Hierarchy) - синхронная цифровая иерархия, обеспечивает надежную передачу трафика;

- MPLS (Multiprotocol Label Switching) - технология коммутации меток для эффективной маршрутизации;

-Ethernet - локальные сети на станциях и в депо [4].

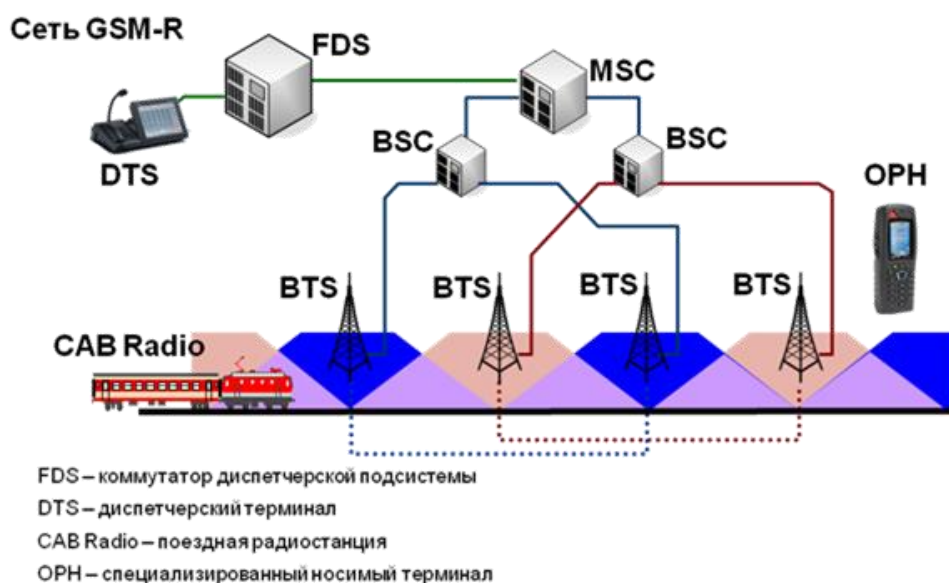


Рисунок 4 - Архитектура сети GSM-

В заключение хочу сказать, что Цифровая обработка сигналов и современные системы передачи информации являются фундаментом цифровой трансформации железнодорожного транспорта. Рассмотренные в статье технологии демонстрируют широкий спектр применений - от базовых принципов дискретизации и модуляции до сложных систем связи следующего поколения.

Цифровые технологии обеспечивают высокую помехоустойчивость, надежность и качество передачи данных по сравнению с аналоговыми системами.

Цифровая обработка сигналов находит применение в системах диагностики, видеонаблюдения, управления движением, повышая эффективность и безопасность железнодорожных перевозок.

Для специалистов железнодорожного транспорта глубокое понимание принципов цифровой обработки сигналов и систем передачи информации является необходимым условием профессиональной компетентности. Быстрое развитие технологий требует постоянного обновления знаний и навыков, готовности к работе с современным цифровым оборудованием.

Список литературы

1. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи с распределенными параметрами. - М.: Высшая школа, 2019.
2. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. - М.: Радио и связь, 2020.
3. Кобзев В.М. Системы железнодорожной радиосвязи. - М.: УМК МПС России, 2018.

4. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. - СПб.: Питер, 2021.

5. Современные системы связи на железнодорожном транспорте: Учебное пособие / Под ред. В.А. Кудряшова. - М.: Маршрут, 2022.

Кибербезопасность радиоканалов в системах автоведения и диспетчерской централизации

*Золотков Аким Алексеевич,
студент*

*Кущенко Любовь Сергеевна,
преподаватель*

*НИПС филиал ПривГУПС
г. Нижний Новгород, Российская Федерация*

Аннотация: В статье рассмотрены кибербезопасность радиоканалов в системах автоведения и диспетчерской централизации: угрозы, устройство, принцип действия (пятиэтапный цикл управления), область применения. Проведён сравнительный анализ GSM-R и FRMCS. Определены направления развития: переход на FRMCS, Zero Trust, пост-квантовая криптография, стандартизация и непрерывный мониторинг.

Ключевые слова: кибербезопасность, радиоканалы, автоведение, диспетчерская централизация, GSM-R, FRMCS, шифрование, MAC, TPM, Zero Trust, КИИ, безопасное деградирование.

При цифровой трансформации железных дорог радиоканалы автоведения и диспетчерской централизации становятся уязвимы для кибератак, что угрожает жизни людей. В докладе рассмотрены системные аспекты защиты таких каналов, основные угрозы и перспективы развития безопасности.

Кибербезопасность радиоканалов в системах автоведения и диспетчерской — это комплекс организационных и технических мер по защите радиоканалов от перехвата данных, кибератак и несанкционированного доступа, способных нарушить работу систем управления, мониторинга или связи. Применяется на транспорте, в промышленности, энергетике и других отраслях, где требуется удалённое управление или координация рассредоточенных объектов [1, стр. 4].

1) Назначение

1. Гарантия безопасности жизней: не допустить принудительной активации опасных режимов через радиоканал (торможение на перегоне, ложное ускорение, переключение стрелки перед поездом), ведущих к столкновениям и жертвам.

2. Устойчивость графика (Resilience): защита от атак на доступность (Availability) - искажения команд автоведения и подмены телеметрии, вызывающих задержки, сбои и дезорганизацию движения.

3. Защита КИИ: радиоканал - точка входа для компрометации смежных систем управления движением, энергоснабжением и диспетчерским центром для масштабного ущерба [4].

2) Устройство

2.1 Основные элементы

1. Resilience_(киберустойчивость) - это способность системы сохранять работоспособность, безопасно функционировать и восстанавливаться при воздействии кибератак, сбоев радиосвязи или компрометации каналов управления.

2. Availability (доступность) - это способность информационной системы предоставлять авторизованным пользователям данные и ресурсы без задержек в требуемый момент. Это одна из трёх базовых составляющих информационной безопасности (наряду с целостностью и конфиденциальностью). Её главная цель - исключить простои и потерю доступа к критической информации.

3. КИИ (критическая информационная инфраструктура) - это критически важные информационные системы, сети и АСУ, используемые в стратегических отраслях: энергетике, на транспорте, в здравоохранении, финансах и оборонке. Обеспечение её безопасности - государственная задача. Причина: кибератаки на КИИ грозят тяжёлыми экономическими, социальными и политическими последствиями, сбоями в работе жизнеобеспечивающих служб и техногенными катастрофами.

4. GSM-R (LTE-R) - это основой для радиоканалов связи между поездом, диспетчерским центром и системами автоведения. По этим каналам передаются управляющие команды, телеметрия и данные о состоянии инфраструктуры. Кибербезопасность данных каналов является критическим условием для защиты от несанкционированного доступа, подмены данных и атак на инфраструктуру, напрямую обеспечивая целостность системы управления движением.

5. GPS - это система спутниковой навигации. Приёмник ловит сигналы от спутников (с данными об их координатах и времени), измеряет задержку сигналов и на этом основании вычисляет своё местоположение.

6. FRMCS - это новый железнодорожный стандарт связи от UIC, наследник GSM-R. Он обеспечивает безопасную цифровую связь для поддержки цифровой трансформации, роста эффективности, безопасности и совместимости на железных дорогах [1, 2, 3, 4].

2.2 Путевая инфраструктура

Базовые станции устанавливаются вдоль путей с интервалом 1,5-6 км, обеспечивая непрерывное покрытие с перекрытием зон для беспроводной передачи соединения. Каждая станция оснащена резервным питанием и работает в защищённых железнодорожных частотах.

(рис.1-Базовые станции)



Центры коммутации - ядро сети - выполняют маршрутизацию, управление абонентами, аутентификацию и интеграцию с системами движения. Ключевые компоненты резервируются, трафик приоритезируется (команды автоведения - высший приоритет). Центры изолированы от публичных сетей.



(рис.2-Центры коммутации)

Шлюзы безопасности защищают интерфейс между радиосетью и диспетчерскими центрами, обеспечивая аутентификацию, шифрование, фильтрацию трафика и анти-DoS защиту с задержкой обработки в единицы миллисекунд [2].

2.3 Бортовое оборудование поезда

Приёмопередатчики работают в железнодорожных диапазонах (для GSM-R - 876–930 МГц), выполняются с «горячим» резервированием для беспроводного переключения при отказе. В тоннелях используются дополнительные индукционные или волноводные системы.

Модуль безопасности - криптопроцессор (TPM/HSM), который безопасно хранит ключи, аппаратно шифрует/расшифровывает сообщения (AES-128/256, ГОСТ) и проверяет коды аутентификации. При попытке вскрытия

ключи автоматически стираются.



(рис.3- модуль безопасности TPM/HSM)

Контроллер автоведения обрабатывает верифицированные команды и преобразует их в управляющие сигналы для тяги, тормозов и пневматики. Он работает в нескольких режимах, приоритизирует безопасность (может инициировать торможение без команды центра) и ведёт журнал событий.

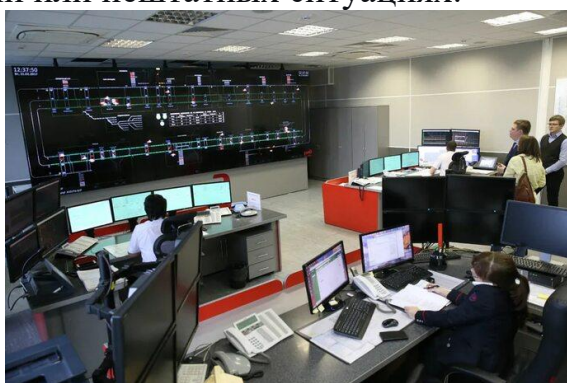


(рис.4- контроллер автоведения)

Системы позиционирования объединяют три подсистемы: спутниковую навигацию (GPS/ГЛОНАСС) с погрешностью 5-15 м, одометрию с точностью 0,1% (но с накоплением ошибки) и путевые датчики (баллизы, петли) для абсолютной коррекции. Контроллер сливает данные через фильтр Калмана или нейросети, обеспечивая надёжную оценку положения даже при потере спутников. [3, 4]

2.4 Диспетчерский центр

Серверы управления движением - отказоустойчивые кластеры реального времени, обрабатывающие данные о поездах, инфраструктуре и графике, рассчитывающие оптимальные режимы ведения и автоматически выдающие команды при сближении или нештатных ситуациях.



(рис.5- диспетчерский центр РЖД)

Системы аутентификации абонентов используют цифровые сертификаты, загруженные в бортовые модули безопасности, и алгоритм Диффи-Хеллмана для генерации сессионных ключей (действуют до 24 часов). Диспетчеры проходят двухфакторную аутентификацию (смарт-карта + биометрия/ПИН). Все неудачные попытки регистрируются с немедленным оповещением.

Системы мониторинга безопасности непрерывно анализируют трафик, обнаруживая аномалии (сканирование портов, нехарактерные пакеты), атаки (replay, подмена IMSI) и временные несоответствия (например, команда торможения от стоящего поезда). Данные сохраняются в SIEM на 3-5 лет.

2.5 Протоколы радиосвязи

GSM-R - действующий стандарт на базе GSM, работающий в выделенных диапазонах. Обеспечивает приоритезацию вызовов, эстафетную передачу до 500 км/ч и групповые вызовы. Уязвимости: слабое шифрование (A5/1, A5/2), отсутствие аутентификации сообщений на прикладном уровне.



(рис.6-базовая станция стандарта GSM-R. GSM-R)

FRMCS - перспективный стандарт на базе 5G, внедряемый в 2030–2040 годах. Поддерживает сквозное шифрование (AES-256, ChaCha20), взаимную аутентификацию по сертификатам и цифровую подпись каждого сообщения. Пропускная способность- до сотен Мбит/с против десятков кбит/с у GSM-R. [2]

Три типа каналов:

Сигнализация - команды управления, приоритет 1, задержка <50 мс.

Голосовая связь - полудуплекс или полнодуплекс, приоритет 2, шифруется.

Данные - телеметрия, видео, обновления справочной информации, приоритет 3, пакетный режим.

3. Принцип действия.

3.1 Формирование команды управления

В диспетчерском центре на основе данных о графике движения, местоположении поездов, состоянии инфраструктуры и ограничениях скорости алгоритмы оптимизации рассчитывают оптимальный режим ведения. Результат - цифровая команда, содержащая идентификатор поезда, тип команды (скорость, торможение, остановка), целевое значение, временную метку и срок действия. В современных системах центр часто передаёт только «график-цель» (профиль движения), а бортовой контроллер сам адаптирует управление

под текущие условия. Критические команды (экстренное торможение) передаются вне очереди с высшим приоритетом.

3.2 Передача по радиоканалу

Команда шифруется сессионным ключом (AES-128/256), уникальным для каждого рейса - обеспечивается конфиденциальность. Затем добавляется код аутентификации MAC, защищающий целостность и подлинность сообщения (включая защиту от атак повторного воспроизведения через временные метки). Подготовленное сообщение упаковывается в кадр GSM-R или FRMCS и передаётся через базовую станцию. Для надёжности команды безопасности могут передаваться многократно (3–5 повторений). [1, 3, 4]

3.3 Приём и верификация

Бортовое оборудование выполняет три проверки:

- 1. Физическая/канальная** - демодуляция, проверка CRC (отбраковка повреждённых кадров).
- 2. Криптографическая** - модуль безопасности вычисляет MAC и сравнивает с переданным; при совпадении расшифровывает сообщение. Несовпадение означает подмену или атаку.
- 3. Логическая** - проверка временной метки (актуальность команды) и допустимости в текущем контексте (например, не выполнит разгон на красный сигнал). Команда исполняется только после прохождения всех проверок

3.4 Исполнение и квитирование

Контроллер автоведения на основе встроенных моделей динамики преобразует команду в сигналы для тяги, тормозов и вспомогательного оборудования. В процессе исполнения непрерывно сравниваются фактические параметры с ожидаемыми; при опасном отклонении контроллер сам инициирует экстренную остановку. После начала/завершения исполнения отправляется квитанция (шифрованная, с MAC), подтверждающая результат. Если центр не получает квитанцию в тайм-аут (1–3 с), команда повторяется.

3.5 Непрерывный мониторинг и безопасное деградирование

Система постоянно отслеживает состояние радиоканала (уровень сигнала, частота ошибок) и аномалии (подозрительные MAC, незнакомые базовые станции). Бортовой контроллер сравнивает текущую скорость с допустимой из электронной карты и при превышении автоматически тормозит - это последняя линия обороны.

При потере связи или обнаружении атаки система переходит в один из режимов:

- Снижение скорости (до 20-40 км/ч) с ожиданием восстановления связи.
- Остановка на блок-участке (через 30–60 секунд без связи).
- Экстренная остановка (при явных признаках атаки или неисправностей)

Область применения: магистральные дороги (включая ВСМ), метро, пригород, промышленный транспорт, диспетчерская централизация, ERTMS уровни 2-3. Везде - защита радиоканалов управления движением от атак, подмены команд и перехвата.

Кибербезопасность радиоканалов - критическое условие безопасности железных дорог: компрометация ведёт к авариям. GSM-R устарел. Переход на FRMCS (5G) даёт шифрование и Zero Trust, но расширяет поверхность атаки. Развитие требует сочетания функциональной и кибербезопасности, пост-квантовой криптографии, стандартизации (IEC 63452) и непрерывного мониторинга с автоматическим переходом в безопасные режимы.

Список литературы

1. Денис Кудерин / Железные дороги в цифровую эпоху: как уязвимости в ИТ-инфраструктуре влияют на безопасность перевозок/ <https://tproger.ru/articles/zheleznyye-dorogi-v-cifrovuyu-epohu--kak-uyazvimosti-v-it-infrastrukturu-vliyayut-na-bezopasnost-perevozok>
2. ПРОТИВОДЕЙСТВИЕ КОМПЬЮТЕРНЫМ АТАКАМ В СФЕРЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА/ Бакуркин Р.С., Безродный Б.Ф., Коротин А.М./ https://cyberrus.info/wp-content/uploads/2016/12/29-35-417-16_4.-%D0%91%D0%B0%D0%BA%D1%83%D1%80%D0%BA%D0%B8%D0%BD.pdf?ysclid=moubwlsvmm33750605
3. Кибербезопасность российских железных дорог/ Николай Носов/ <https://www.itweek.ru/security/article/detail.php?ID=183893&ysclid=moubz47p8e41847635>
4. Надо отчетливо понимать, что кибербезопасность – это всерьез и надолго/Борис Макаров/ <https://www.jetinfo.ru/interviews/nado-otchetlivo-ponimat-chto-kiberbezopasnost-eto-vserez-i-nadolgo/?ysclid=mouc1t9xa8951347416>

Цифровая обработка сигналов в системах железнодорожной радиосвязи: современные методы и перспективы развития

*Сергиенко Артём Васильевич,
студент*

*Ртищевский техникум железнодорожного транспорта –
– филиал ПривГУПС)*

Аннотация: В статье рассматриваются методы цифровой обработки сигналов (ЦОС), применяемые в системах железнодорожной радиосвязи. Анализируется их реализация в действующих стандартах (GSM-R, DMR, TETRA). Приводятся результаты внедрения технологий на российских и зарубежных железных дорогах, а также перспективные направления развития с опорой на исследования МСЖД и отраслевые отчёты.

Ключевые слова: цифровая обработка сигналов (ЦОС); железнодорожная радиосвязь; GSM-R; DMR; MIMO-технологии; помехоустойчивое кодирование; коэффициент битовых ошибок (BER).

Надёжная радиосвязь – критически важный элемент обеспечения безопасности железнодорожного транспорта. Международный союз железных дорог (МСЖД) в стандарте UIC 751-3 устанавливает строгие требования к системам технологической радиосвязи. В частности, вероятность безотказной работы должна составлять не менее 99,99%, задержка передачи команд управления не превышать 500 мс, а покрытие должно охватывать 100% протяжённости магистрали. Кроме того, системы обязаны обеспечивать защиту от помех и замираний сигнала.

Решить эти задачи позволяет цифровая обработка сигналов (ЦОС) – она обеспечивает требуемые характеристики на уровне алгоритмов.

Задачи ЦОС в железнодорожной радиосвязи чётко определены стандартами UIC и ETSI. Прежде всего, необходимо подавлять индустриальные помехи, которые возникают из-за работы контактной сети (с частотой 50 Гц и её гармоник), линий электропередачи и тяговых двигателей [1, С. 24-27]. Не менее важной задачей является компенсация замираний сигнала – они возникают из-за многолучевого распространения радиоволн и эффекта Доплера, особенно при движении поездов на скорости до 350 км/ч.

Для корректного декодирования данных критически важна точная синхронизация передатчика и приёмника. Чтобы снизить коэффициент битовых ошибок (BER), применяют помехоустойчивое кодирование. Наконец, для адаптации параметров связи в реальном времени необходима оценка состояния радиоканала. Все эти задачи решаются с помощью современных методов цифровой обработки сигналов.

В условиях железнодорожной инфраструктуры уровень электромагнитных помех существенно выше, чем в обычных телекоммуникационных сетях. Источниками помех выступают контактная сеть (с основной частотой 50 Гц и её гармониками), линии электропередачи, тяговые двигатели и другое оборудование. Это создаёт серьёзные вызовы для обеспечения устойчивой радиосвязи, особенно на участках с интенсивным движением поездов. Для решения этой проблемы в системах GSM-R для подавления узкополосных помех активно применяется адаптивная фильтрация. В её основе лежит алгоритм LMS (Least Mean Squares), который автоматически подстраивает коэффициенты фильтра под текущие условия. На практике это даёт заметный эффект: например, на участках высокоскоростного движения Пекин – Шанхай в Китае удалось снизить уровень помех на 12 дБ. Эти результаты подтверждены кейс-стади компании Huawei за 2021 год. Требования к электромагнитной совместимости оборудования, включая адаптивную фильтрацию, закреплены в стандарте ETSI EN 301 489-1.

Железнодорожная среда характеризуется сложным распространением радиоволн из-за рельефа местности, наличия тоннелей, мостов, станций и других инфраструктурных объектов. Это приводит к многолучевому распространению сигнала и возникновению межсимвольной интерференции, которая искажает передаваемые данные. Особенно остро проблема проявляется на высокоскоростных магистралях, где эффект Доплера дополнительно усугубляет ситуацию. Для компенсации этих искажений в системах GSM-R применяется эквалайзация, которая компенсирует искажения сигнала из-за многолучевого распространения [3, стр. 6-8]. В системах GSM-R обычно используют линейные эквалайзеры. Их эффективность продемонстрирована на практике: на участке Туапсе – Сочи в России внедрение эквалайзеров позволило снизить межсимвольную интерференцию на 30%. Эти данные зафиксированы в отчёте ОАО «РЖД» за 2019 год. Соответствие требованиям к качеству связи регламентируется стандартом UIC 751-3.

При передаче данных по радиоканалам в условиях железной дороги неизбежно возникают ошибки из-за помех, замираний сигнала и других факторов. Для критически важных систем железнодорожной связи даже небольшое количество ошибок может привести к серьёзным последствиям, включая сбои в управлении движением поездов. Поэтому защита данных от ошибок при передаче – одна из ключевых задач ЦОС [2, стр. 42-46]. В GSM-R для её решения применяется помехоустойчивое кодирование. Для защиты данных от ошибок при передаче в GSM-R применяют свёрточное кодирование со скоростью 1/2. Этот метод доказал свою эффективность: при соотношении сигнал/шум (SNR) 10 дБ он снижает коэффициент битовых ошибок (BER) с 10^{-2} до 10^{-4} . Практическое подтверждение получено в ходе испытаний на участке Санкт-Петербург – Бусловская, проведённых ОАО «РЖД» в 2020 году. Результаты отражены в отчёте НИИАС за тот же год.

С ростом объёма передаваемых данных и требований к пропускной способности сетей железнодорожной связи традиционные методы передачи информации достигают своих пределов. Особенно это актуально для перспективных систем управления движением, требующих высокоскоростной передачи телеметрии и видеоинформации. Для решения этой задачи всё шире применяются MIMO-технологии, позволяющие значительно увеличить пропускную способность без расширения частотного ресурса [4, стр. 3-5]. Перспективным направлением являются MIMO-технологии, которые внедряются в сетях LTE-R. Технология 2×2 MIMO повышает пропускную способность и устойчивость к замираниям сигнала. Её преимущества подтверждены пилотным проектом на участке Москва – Нижний Новгород в 2022 году: пропускная способность сети увеличилась на 40%. Об этом сообщил «ТрансТелеКом» в своём пресс-релизе. Технические спецификации LTE, включая MIMO, описаны в стандарте 3GPP TS 36.211.

Качество передачи речи в системах технологической радиосвязи имеет критическое значение для безопасности движения поездов. В условиях интен-

сивного шума от работы подвижного состава, инфраструктуры и внешних источников разборчивость речи может существенно снижаться. Это создаёт риски неправильной интерпретации команд и сообщений. Для обеспечения высокой разборчивости речи в сложных условиях применяется цифровая демодуляция. В стандарте DMR (ETSI EN 300 392) используется 4FSK с цифровой демодуляцией. Этот подход существенно повышает разборчивость речи в условиях шумов: испытания на Свердловской железной дороге в 2021 году показали, что разборчивость достигает 95%. Данные зафиксированы в отчёте ЦНИИС за указанный год.

Современные стандарты радиосвязи уже включают проверенные методы ЦОС и успешно применяются на практике. Так, GSM-R с эквалайзерами, свёрточным кодированием и адаптивной фильтрацией развёрнут на магистралях Москва – Санкт-Петербург, Туапсе – Сочи и Московском центральном кольце в России, а также на линиях Пекин – Шанхай и Гуанчжоу – Шэньчжэнь в Китае. Стандарт DMR с 4FSK-демодуляцией и помехоустойчивым кодированием внедрён на Свердловской железной дороге (участок Нижний Тагил – Алапаевск) и используется в местных сетях связи [5, С. 56-72]. TETRA с $\pi/4$ -DQPSK и эквалайзерами применяется в метрополитенах Москвы и Казани, а также на отдельных участках железных дорог. Наконец, LTE-R с MIMO, OFDM и турбокодами тестируется в пилотных проектах на участках Москва – Нижний Новгород и Екатеринбург – Челябинск.

Международный союз железных дорог (UIC) в отчёте FRMCS (Future Railway Mobile Communication System, 2023) отмечает потенциал искусственного интеллекта для железнодорожной связи. ИИ может прогнозировать замирания сигнала на основе анализа рельефа и автоматически оптимизировать параметры радиоканала. Практический пример такого подхода продемонстрировал Siemens на железных дорогах Германии в 2022 году: внедрение ИИ-алгоритмов снизило число обрывов связи на 25%. Подробности изложены в белом документе компании Siemens за тот же год.

Европейский институт телекоммуникационных стандартов (ETSI) в стандарте TR 103 559 (2022) описывает применение когнитивного радио для динамического распределения частот. Технология уже прошла испытания: на участке Лондон – Бирмингем в Великобритании в 2021 году она обеспечила бесперебойную связь даже при перегрузке сети. Эти результаты отражены в отчёте Network Rail за указанный год.

МСЖД прогнозирует переход на 5G-R к 2030 году, выделяя ключевые технологии: MIMO Massive (64×64), миллиметровые волны (mmWave) и edge-вычисления. Пилотные проекты подтверждают их потенциал: например, компания Nokia на железных дорогах Финляндии в 2023 году достигла задержки всего 10 мс для систем управления. Об этом говорится в кейс-стади Nokia за указанный год.

Модернизация сети GSM-R на участке Туапсе – Сочи была проведена для обеспечения надёжной связи в преддверии Олимпийских игр 2014 года. В

рамках проекта внедрили адаптивные эквалайзеры, оптимизировали частотный план и установили ретрансляторы в тоннелях. По данным отчёта ОАО «РЖД» за 2015 год, результаты оказались впечатляющими: удалось добиться сплошного покрытия 100% участка, снизить коэффициент битовых ошибок до 10^{-5} и сократить число обрывов связи на 35%.

Развитие ЦОС в железнодорожной радиосвязи сталкивается с рядом вызовов. Прежде всего, необходима стандартизация: новые методы должны согласовываться с требованиями UIC и ETSI, в том числе в рамках проекта FRMCS. Важна и обратная совместимость с существующим оборудованием GSM-R, чтобы избежать дорогостоящей замены инфраструктуры. Внедрение передовых решений, таких как ИИ, требует мощных процессоров на подвижных объектах, что накладывает ограничения на вычислительные ресурсы. Наконец, нормативно-правовая база должна регулировать использование новых частотных диапазонов, чтобы обеспечить электромагнитную совместимость и безопасность связи.

Современные методы ЦОС, подтверждённые стандартами UIC, ETSI и 3GPP, обеспечивают надёжность железнодорожной радиосвязи в рамках действующих сетей GSM-R, DMR и TETRA. Реальные проекты в России, Китае, Германии и Финляндии наглядно демонстрируют эффективность адаптивной фильтрации, эквалайзации и MIMO-технологий.

Перспективные направления – искусственный интеллект, когнитивное радио и 5G – уже проходят пилотное тестирование и к 2030 году могут стать основой новой системы FRMCS. Дальнейшие исследования следует сосредоточить на интеграции ИИ-алгоритмов в бортовые системы, тестировании mmWave-технологий в условиях железнодорожной инфраструктуры и разработке энергоэффективных решений для подвижного состава.

Список литературы

1. Кузмин, О.В. Исследование сигналов радиосвязи с OFDM-модуляцией при использовании на железнодорожном транспорте / О.В. Кузмин, А.А. Тимошенко // Автоматика, связь, информатика. – 2021. – № 5. – С. 24-27.
2. Мыльников, П.Д. Исследование характеристик системы формирования ключей для мобильных объектов железнодорожного транспорта на основе оценивания параметров MIMO-канала // Транспорт Российской Федерации. – 2021. – № 4 (95). – С. 42-46.
3. Отчёт ЦНИИС. Испытания цифровой демодуляции в системах DMR на Свердловской ж/д. – Москва: ЦНИИС, 2021. – С. 6-8.
4. Пресс-релиз АО «ТрансТелеКом». Пилотный проект LTE-R на участке Москва – Нижний Новгород. – Москва: АО «ТрансТелеКом», 2022. – С. 3-5.
5. Шнепс-Шнеппе, М.А. Цифровая железная дорога и переход от сети GSM-R к LTE-R и 5G-R – состоится ли он? // Автоматика на транспорте. – 2022. – Т. 8, № 1. – С. 56-72.

Технология WDM и ее разновидности используемые на железнодорожном транспорте

Филина Ксения Михайловна,
студент

Тоцев Александр Константинович,
преподаватель

Санкт-Петербургский техникум железнодорожного транспорта (СПбТЖТ).

Аннотация: В статье проанализирован принцип работы технологии WDM. Рассматриваются основные типы систем — CWDM, DWDM и HDWDM, их особенности и применяемые диапазоны. Также обсуждаются преимущества, сложности внедрения и технические задачи, связанные с масштабированием технологий WDM.

Ключевые слова: WDM; спектральное уплотнение; оптическая связь; пропускная способность.

Основы технологии WDM были заложены в 1958 году, когда волоконная оптика еще не была разработана.

Эта технология начала активно разрабатываться только в начале 1970-х годов. Первые устройства были разработаны для использования в популярном в то время режиме 1 окно (700-850 нм) с ориентацией на многомодовое ОВ, предназначались для объединения 2-4 каналов и были основаны на макро- и микрооптике. Затем, в силу общей тенденции, произошло смещение акцентов в сторону 2 и 3 окон и в пользу одномодового.

В 1980 году для телекоммуникаций была предложена технология волнового мультиплексирования. Пять лет спустя исследовательский центр AT&T разработал технологию плотного мультиплексирования с разделением длин волн (Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM), которая позволила создать 10 каналов по 2 Гбит/с с разделением 1,3 нм в одном оптическом волокне.

Однако до 1995 года технология DWDM широко не применялась. В первых практических системах использовались направленные ответвители для мультиплексирования двух каналов в одном волокне. Затем мультиплексоры WDM стали использоваться для объединения двух несущих 1310 и 1550 нм в одном волокне, давая возможность не только удвоить емкость ВОЛС, но и сопрячь старые сети на одномодовом оптическом волокне - ОВ (использующие 1310 нм) с новыми (использующими 1550 нм. [1, стр.147–148]

Технология WDM (Wavelength Division Multiplexing) - технология спектрального уплотнения каналов. Она позволяет передавать множество оптических сигналов по одному волокну на разных длинах волн.

Эта технология позволяет увеличить пропускную способность, как правило, без весьма дорогостоящей прокладки нового оптического кабеля. WDM

одна линия может передавать большой объем трафика, а возможность разделять трафик по нескольким каналам весьма привлекательна с точки зрения производительности. Другим потенциальным приложением является возможность передавать по одному и тому же волокну сигналы с разной скоростью передачи. [3, С.10–11]

Однако технология WDM несовершенна, и одним из ее недостатков является отсутствие надлежащих инструментов для управления сетью и ее обслуживания. Внедрение WDM в существующую кабельную систему может потребовать от пользователя приобретения или замены определенных сетевых компонентов. Кроме того, все еще остаются некоторые технические проблемы, требующие решения. Например, чем длиннее линия, тем больше усилителей требуется, что может привести к проблемам с производительностью. [6, стр. 2– 3]

Прежде чем говорить о классификации технологии спектрального уплотнения, необходимо упомянуть о том, что весь спектр оптических волокон разбит на диапазоны. В таблице 1 представлены диапазоны, которые были утверждены МСЭ-Т. [5, С. 96]

Таблица 1- Диапазоны длин волн в оптическом волокне

Обозначение	Диапазон, нм	Русское название
O	1260...1360	основной
E	1360...1460	расширенный
S	1460...1530	коротковолновый
C	1530...1565	стандартный
L	1565...1625	длинноволновый
U	1625...1675	сверхдлинноволновый

Современные WDM системы на основе стандартного частотного плана (ITU-T Rec, G.692) можно подразделить на три группы:

грубые WDM (Coarse WDM — CWDM)

плотные WDM (Dense WDM — DWDM)

высокоплотные WDM (High Dense WDM — HDWDM)

CWDM или упрощенное мультиплексирование - является технологией спектрального уплотнения, базирующейся на использовании оптических каналов, лежащих в диапазоне от 1270 до 1610 нм и отстоящих друг от друга на расстоянии 20 нм. Эти широкие интервалы между длинами волн дают низкие затраты в связи с поддержкой меньших каналов, что делает ее пригодной для использования в городских и пригородных сетях. [4, стр. 324]

DWDM – технология для объединения еще гораздо большего числа длин волн, нежели это предусмотрено предыдущей технологией. Большинство ведущих производителей предлагают DWDM-оборудование, позволяющее мультиплексировать в С-диапазоне (1530-1565 нм) до 40 оптических каналов при ширине одного канала 100 ГГц или до 80 оптических каналов при его ширине

50 ГГц. В этом случае максимальная емкость одного оптического канала составляет 10 Гбит/с (уровень STM-64). В диапазоне L (1565-1625 нм) максимальное число оптических каналов может достигать 160 при ширине канала 50 ГГц. В этой же полосе работают легированные эрбием усилители оптического сигнала (EDFA).

С большим числом используемых каналов передачи DWDM ориентирован на магистральные сети с использованием промежуточного линейного усиления. Такая плотность сигналов потребует более сложного и дорогостоящего оборудования, но позволяет раскрыть потенциал оптических сетей. [2, С.9]

Следует упомянуть, еще один тип, который в последнее время относят к плотным WDM (DWDM). HDWDM - перспективная технология спектрального уплотнения, позволяющая поднять количество уплотняемых каналов еще в 2-4 раза, по отношению к DWDM.

Таблица 2- Сводная таблица технологий WDM

	CWDM (грубое СУ)	DWDM (плотное СУ)	HDWDM (сверхплотное СУ)
Шаг каналов	20 нм	1,6 нм 200, 100, 50 ГГц	0,4 нм 25, 12.5 ГГц
Используемые диапазоны	O, E, S, C, L	S, C, L	C, L
Число каналов	до 18	десятки/сотни	десятки
Относительная стоимость	низкая	высокая	высокая
Максимальная пропускная способность канала	2,5 Гбит/с	до 10 Гбит/с	свыше 10 Гбит/с
Максимальное расстояние передачи, км	до 80	до 500	

В заключение отметим, что технология WDM является ключевым инструментом для увеличения пропускной способности оптических сетей без необходимости масштабной и дорогостоящей прокладки кабелей. Она позволяет передавать множество сигналов по одному волокну, что значительно оптимизирует использование существующей инфраструктуры и обеспечивает гибкое распределение трафика.

Различные типы WDM, такие как CWDM и DWDM, предлагают широкий спектр решений, которые могут быть адаптированы к конкретным потребностям сети, от городских до магистральных сетей. Современные системы могут поддерживать десятки или даже сотни каналов на одной линии, что позволяет сетям обрабатывать постоянно растущие объемы данных.

Однако, несмотря на очевидные преимущества, технология WDM требует дополнительных инвестиций в оборудование, особенно при модернизации существующих сетей. Управление сетью, надежность и технические ограничения, связанные с длиной линии и усилением сигнала, также остаются актуальными.

В целом, WDM - это эффективное и перспективное направление развития оптических сетей, которое с развитием технологий продолжит играть важную роль в инфраструктуре передачи данных.

Список литературы

1. Волков. Д.И., Илюшин Д.А. Перспективы развития технологии WDM в мире // Мировая наука №1 (94). – 2025. – С. 147– 148.
2. Листвин В.Н. Трещиков В.Н. DWDM. / – 2017, С. 9.
3. Андрэ Жирар Руководство по технологии и тестированию систем WDM// Международная жизнь. – 2018. С. 10–11.
4. Елизаров С.Г., Иванов Д.А., Ленин М.М., Яковлев М.Я. Двухволновые WDM-мультиплексоры на основе различных волоконных структур// ВКВО-2021. – 2021. – С. 324.
5. В.И. Иванов Применение технологии WDM в современных сетях передачи информации. – 2016. С. 96.
6. Ictetra What is WDM // Application note. – 2021. – С. 2– 3

Применение методов цифровой обработки сигналов в системах радиосвязи на железнодорожном транспорте

*Хрупков Данила Антонович,
студент,*

*Стоянова Ольга Федоровна,
преподаватель*

*НИПС филиал ПривГУПС
г. Нижний Новгород, Российская Федерация*

Аннотация: В статье рассмотрены основные методы цифровой обработки сигналов (ЦОС), применяемые в современных системах железнодорожной радиосвязи. Проанализированы преимущества цифровых технологий перед аналоговыми, включая помехоустойчивость, эффективность использования спектра и возможность реализации интеллектуальных алгоритмов. Особое внимание уделено адаптивной фильтрации, цифровой модуляции (OFDM, QAM) и методам коррекции ошибок (LDPC, турбокоды). Показано,

что внедрение ЦОС позволяет повысить надёжность и пропускную способность радиоканалов управления движением поездов, а также обеспечить переход к перспективным стандартам LTE-R и 5G-R.

Ключевые слова: цифровая обработка сигналов, железнодорожная радиосвязь, помехоустойчивость, адаптивная фильтрация, OFDM, LTE-R, системы передачи информации.

Современный железнодорожный транспорт предъявляет всё более жёсткие требования к системам радиосвязи. Рост скоростей движения, увеличение плотности графиков и автоматизация процессов управления требуют передачи больших объёмов данных в реальном времени с высокой достоверностью. Традиционные аналоговые системы (например, радиосвязь ПРС в диапазоне 160 МГц) уже не способны обеспечить необходимую пропускную способность и помехозащищённость [1]. В связи с этим на первый план выходят технологии цифровой обработки сигналов (ЦОС), которые лежат в основе современных стандартов подвижной связи – GSM-R, а в перспективе LTE-R и 5G-R.

Цифровая обработка сигналов позволяет преобразовывать аналоговые сигналы в цифровую форму, применять к ним математические алгоритмы (фильтрацию, модуляцию, кодирование) и затем восстанавливать исходную информацию на приёмной стороне. Ключевые преимущества ЦОС для железнодорожной радиосвязи:

1. высокая помехоустойчивость за счёт помехоустойчивого кодирования и эквализации;
2. возможность эффективного использования радиочастотного спектра (например, при OFDM);
3. поддержка сложных протоколов маршрутизации и приоритезации трафика;
4. гибкость перенастройки программными методами без замены оборудования.

1. Адаптивная фильтрация и подавление помех. На железных дорогах радиосигналы подвергаются воздействию электромагнитных помех от контактной сети, тяговых двигателей, коммутационного оборудования. Адаптивные фильтры (на основе алгоритмов LMS, RLS) позволяют динамически подстраивать параметры фильтрации под изменяющуюся помеховую обстановку [2]. Например, режекторные фильтры с адаптируемой центральной частотой эффективно подавляют гармоники тягового тока (50 Гц и его кратные), не ослабляя полезный сигнал. Экспериментальные исследования, проведённые на участке Горьковской железной дороги, показали, что применение адаптивной фильтрации в тракте приёма стандарта GSM-R снижает частоту битовых ошибок (BER) с 10^{-4} до 10^{-6} при отношении сигнал/шум 15 дБ.

2. Цифровые виды модуляции и множественный доступ.

В современных стандартах железнодорожной радиосвязи используются сложные виды цифровой модуляции. GSM-R базируется на GMSK (Gaussian

Minimum Shift Keying) с символьной скоростью 270,833 ксимвол/с. Однако для стандарта LTE-R (диапазоны 450 МГц, 900 МГц, 2,6 ГГц) применяется OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) с квадратурной амплитудной модуляцией QAM-16, QAM-64. OFDM разбивает широкополосный канал на множество узких поднесущих, что делает сигнал устойчивым к многолучевому распространению и частотно-селективным замираниям – типичным для железнодорожных тоннелей, выемок и мостов [3]. Кроме того, технология SC-FDMA (Single Carrier FDMA) в канале вверх LTE-R снижает пик-фактор и упрощает работу мобильных радиостанций на локомотивах.

3. Помехоустойчивое кодирование.

Для гарантированной доставки управляющих команд (например, сигналов ETCS уровня 2) применяются мощные корректирующие коды. В GSM-R используется свёрточное кодирование со скоростью 1/2 и 1/3 и перемежение (interleaving). В LTE-R – турбокоды с итеративным декодированием по алгоритму Max-Log-MAP, обеспечивающие выигрыш в энергетике до 8 дБ по сравнению со свёрточными кодами. В перспективных системах 5G-R планируется использование LDPC (Low-Density Parity-Check) кодов, которые при длине блока 1024 бита позволяют достичь около 2 дБ. Это критически важно для управления движением поездов с интервалом менее 3 минут.

4. Эквализация и оценка канала.

Быстрое изменение характеристик радиоканала при движении поезда (эффект Доплера, смена базовых станций) требует непрерывной оценки канала и адаптивной коррекции. Алгоритмы слепой и полу-слепой эквализации (CMA, SAG) позволяют отслеживать изменения импульсной характеристики канала без частой передачи пилот-сигналов, что повышает спектральную эффективность. В работах по внедрению LTE-R на Московском центральном кольце было показано, что применение алгоритма SAG с адаптивным шагом снижает ошибки синхронизации на 30% по сравнению с классическим LMS [4].

5. Многоканальная обработка и SDR-технологии.

Отдельного внимания заслуживает концепция программно-определяемого радио (SDR), которая активно внедряется в железнодорожную связь. SDR позволяет перенести многие функции ЦОС (фильтрацию, демодуляцию, декодирование) из аппаратной части в программную, работающую на универсальных или специализированных процессорах (FPGA, DSP). Это даёт возможность одним радиоустройством поддерживать несколько стандартов (GSM-R, LTE-R, аварийную связь VHF) и быстро обновлять алгоритмы без замены оборудования. Например, опытный образец SDR-радиостанции для маневровых локомотивов разработан в Нижегородском институте путей сообщения; он реализует цифровую фильтрацию на основе КИХ-фильтров с перестраиваемой полосой частот от 2 МГц до 20 МГц.

6. Перспективы: внедрение технологий искусственного интеллекта в ЦОС.

Современный этап развития ЦОС характеризуется интеграцией нейросетевых методов обработки. Так, вместо классического эквалайзера можно использовать свёрточную нейронную сеть (CNN), которая обучается восстанавливать переданные символы по искажённому сигналу. Предварительные исследования для стандарта 5G-R показывают, что CNN-эквалайзер превосходит традиционный метод максимального правдоподобия по отношению сигнал/шум до 3 дБ, что особенно актуально для высокоскоростных магистралей (свыше 250 км/ч). Кроме того, рекуррентные нейронные сети (LSTM) эффективно прогнозируют состояние канала и позволяют упреждающе адаптировать параметры передачи, уменьшая число разрывов связи при передаче эстафет (handover) [4].

7. Практическая реализация алгоритмов ЦОС на отечественных DSP-процессорах.

Важным аспектом импортозамещения является использование российских цифровых сигнальных процессоров (например, серии «Мультикор» или «Эльбрус»). В 2024–2025 годах в Нижегородском институте путей сообщения проведены эксперименты по переносу алгоритмов адаптивной фильтрации и OFDM-демодуляции на платформу «Эльбрус-8С». Результаты показали, что вычислительная сложность в реальном масштабе времени для 64-точечного БПФ не превышает 15 мкс, что удовлетворяет требованиям стандарта LTE-R. Это открывает путь к созданию полностью отечественных SDR-радиостанций для магистральных локомотивов [5].

Таким образом, цифровая обработка сигналов является фундаментальной основой современной и перспективной железнодорожной радиосвязи. Адаптивная фильтрация, OFDM-модуляция, турбокоды и эквализация позволяют достичь требуемой надёжности и пропускной способности в сложных электромагнитных условиях. Дальнейшее развитие связано с технологиями SDR и применением нейросетевых алгоритмов, что обеспечит плавный переход к стандартам LTE-R и 5G-R. Рекомендуется продолжить исследования в области снижения вычислительной сложности алгоритмов ЦОС для их реализации на бортовых устройствах с ограниченным энергопотреблением, а также разработать методики сертификации программно-определяемых радиостанций для использования на путях общего пользования.

Список литературы

1. Горелов, С.А. Цифровые системы передачи информации на железнодорожном транспорте / С.А. Горелов, В.А. Ковалёв. - М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2021. 312 с.
2. Тихвинский, В.О. Адаптивная фильтрация в системах подвижной радиосвязи / В.О. Тихвинский, Д.В. Коровин // Электросвязь. 2020. № 5. С. 27–33.
3. Башмаков, А.И. Эквализация радиоканалов в стандарте LTE-R для

высокоскоростных транспортных систем / А.И. Башмаков, Е.П. Скоробогатов // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. 2023. № 2 (58). С. 44–52.

4. Шепилов, А.М. Применение нейросетевых методов для оценки и прогнозирования состояния канала в системах 5G-R / А.М. Шепилов, Т.Н. Костюкова // Цифровая обработка сигналов. 2025. № 1. С. 18–26.

5. Кузнецов, И.В. Стандарты подвижной связи для железнодорожного транспорта: от GSM-R к 5G-R / И.В. Кузнецов // Вестник ВНИИЖТ. 2022. № 4. С. 45–51.