

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ  
ГОСУДАРСТВЕННАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНЕЦКИЙ ИНСТИТУТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА»



На правах рукописи

УДК 004.771

**Сорокин Владислав Евгеньевич**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ИНТЕРВАЛЬНОГО  
РЕГУЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ НА БАЗЕ ЦИФРОВОГО  
РАДИОКАНАЛА**

Специальность 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям) (технические науки)

**Диссертация**

на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор  
Чепцов М.Н.

Идентичность всех экземпляров

**ПОДТВЕРЖДАЮ**

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 01.024.04

канд. тех. наук, доцент

Т.В. Завадская

Донецк – 2021

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
РАЗДЕЛ 1 АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ИНТЕРВАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ НА БАЗЕ РАДИОКАНАЛА .....	11
1.1. Анализ существующих методов интервального регулирования движения поездов .....	13
1.2. Анализ существующих систем интервального регулирования движения поездов .....	20
1.3. Анализ особенностей стандартов цифровой радиосвязи в системах интервального регулирования .....	30
1.4. Анализ причин отсутствия радиосвязи в системах интервального регулирования движения поездов.....	35
1.5. Выводы по разделу 1.....	40
РАЗДЕЛ 2 СИНТЕЗ МОДЕЛЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ИНТЕРВАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ .....	43
2.1. Модель функционирования системы интервального регулирования движения поездов на базе цифрового радиоканала .....	43
2.2. Структурно-функциональная модель оптимизированной системы интервального регулирования .....	48
2.3. Модель определения максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи.....	57
2.4. Выводы по разделу 2.....	61
РАЗДЕЛ 3 МОДЕЛИРОВАНИЕ МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМОГО ВРЕМЕНИ ОТСУТСТВИЯ РАДИОСВЯЗИ В СИСТЕМАХ ИНТЕРВАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ .....	62
3.1. Определение максимального тормозного пути для грузовых и пассажирских поездов .....	62

3.2. Моделирование максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи .....	67
3.3. Оценка адекватности модели максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи .....	75
3.4. Выводы по разделу 3.....	82
РАЗДЕЛ 4 ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОТ ВНЕДРЕНИЯ ОПТИМИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ИНТЕРВАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ .....	83
4.1. Эксплуатационно-технические требования к системам интервального регулирования движения поездов на базе цифрового радиоканала.....	83
4.2. Инфраструктура системы интервального регулирования движения поездов на базе цифрового радиоканала .....	95
4.3. Программная реализация функционирования оптимизированной системы интервального регулирования .....	109
4.4. Экономическая эффективность от внедрения оптимизированной системы интервального регулирования .....	112
4.5. Выводы по разделу 4.....	120
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	121
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	123
ПРИЛОЖЕНИЕ А Копии документов о внедрении результатов исследований.....	138
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Программная реализация функционирования оптимизированной системы интервального регулирования движения поездов.....	140

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** Методы интервального регулирования движения поездов (ИРДП) являются важной составляющей системы управления на железнодорожном транспорте.

Согласно существующим методам и средствам интервального регулирования движения поездов регулирование ведется на текущую координату «хвоста» идущего впереди поезда, информация о которой передается по радиоканалу при отсутствии разрыва поездов. Системы ИРДП строятся на более высоком уровне по сравнению с существующей инфраструктурой средств автоматики и телемеханики (АТ) железнодорожного транспорта, поэтому если по какой - либо причине во время движения поезда сигнал на приемной радиостанции отсутствует, то узел управления движением локомотива выключается. Машинист локомотива в таком случае ведет поезд по показаниям сигналов автоблокировки и автоматической локомотивной сигнализации. Поскольку путь служебного торможения поезда, идущего сзади, больше пути экстренного торможения поезда, идущего впереди, то в случае даже кратковременного отсутствия радиосвязи машинист поезда, идущего сзади, должен приступить к резкому снижению скорости либо даже к экстренному торможению.

Таким образом, существующие методы и средства ИРДП не являются универсальными и гибкими, что оказывает влияние на эксплуатационную эффективность.

Решение перечисленных проблем составляет актуальную задачу в плане совершенствования методов и средств интервального регулирования движения поездов. Разработка и реализация усовершенствованных методов и средств интервального регулирования позволит повысить эксплуатационную эффективность систем ИРДП за счет поддержания максимально допустимой скорости движения поездов на участке оборудованном системой ИРДП, даже в

случае временного отсутствия радиосвязи между центром радиоблокировки (ЦРБ) и движущимися поездами.

**Степень разработанности темы исследования.** Внимание ученых, которые специализируются в области систем ИРДП, сосредоточено на вопросах обеспечения безопасности и надежности устройств, а также на рассмотрении технического аспекта анализа и синтеза ИРДП, часто в ущерб проблеме их эксплуатационной эффективности.

В работе Попова П. А. для систем ИРДП разработан метод определения местоположения поездов с высокой достоверностью и надежностью на основе цифровой обработки сигналов рельсовых цепей. В работе Сёмочкина Е. В. повышение эффективности систем ИРДП реализовано за счет методов разбивки перегонов на блок-участки. В работе Романчикова А. М. разработана методика определения необходимой скорости передачи информации между поездами для обеспечения безопасности при координатном способе ИРДП.

Несмотря на значительный вклад ученых и инженеров практиков, работающих по направлению совершенствования интервального регулирования, вопрос эксплуатационной эффективности систем ИРДП в случае отсутствия радиосвязи требует дальнейших исследований.

*Связь работы с научными программами, планами, темами.* Работа выполнялась на кафедре «Автоматика, телемеханика, связь и вычислительная техника» ГООВПО «Донецкий институт железнодорожного транспорта». Работа соответствует приоритетным направлениям научных исследований института по созданию новых и совершенствованию существующих технологий работы железнодорожного транспорта, путем разработки методов оптимизации режимов движения поездов, в которых автор принимал участие, как исполнитель.

**Цель и задачи исследований.** Цель работы – повышение эксплуатационной эффективности систем ИРДП за счет совершенствования методов и средств интервального регулирования движения поездов с учетом времени отсутствия радиосвязи в цифровом радиоканале.

Для достижения цели поставлены и решены следующие задачи:

1. Выполнить анализ существующих методов и средств интервального регулирования, анализ особенностей стандартов цифровой радиосвязи, а также причин отсутствия радиосвязи в системах ИРДП.

2. Разработать модель функционирования системы ИРДП на базе цифрового радиоканала, разработать структурно-функциональную модель и алгоритм функционирования оптимизированной системы интервального регулирования, разработать математическую модель определения максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи.

3. Провести имитационное компьютерное моделирование математической модели максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи по критерию обеспечения безопасности движения и критерию снижения пропускной способности движения грузовых и пассажирских поездов.

4. Разработать программную реализацию функционирования оптимизированной системы ИРДП, а также провести расчет экономической эффективности от внедрения оптимизированной системы ИРДП на железнодорожном транспорте.

**Объект исследования** – процесс функционирования систем интервального регулирования движения поездов.

**Предмет исследования** – методы и средства управления интервальным регулированием движения поездов.

**Научная новизна** полученных результатов заключается в следующем:

1. Впервые предложена математическая модель определения максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи в системах ИРДП.

2. Получила дальнейшее развитие модель действия помех и искажающих факторов на цифровые системы управления, заключающаяся в том, что воздействие помех в системе ИРДП может приводить к погрешности вычисления

текущей координаты поезда, идущего впереди, а также к погрешности вычисления координаты прицельного торможения поезда, идущего сзади.

3. Получила дальнейшее развитие модель описания динамики движения объектов в цифровых системах, которая заключается в определении координаты прицельного торможения поезда, идущего сзади, на основании прогноза траектории движения поезда.

#### **Теоретическая и практическая значимость работы.**

Предложенная структурно-функциональная модель на основании современных средств интервального регулирования позволяет улучшить организацию движения поездов с установленной скоростью на участке, в случае воздействия помех и искажающих факторов, а также максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи.

#### **Практическая значимость результатов исследования** заключается в:

- разработке алгоритма функционирования оптимизированной системы ИРДП;
- разработке программной реализации функционирования оптимизированной системы ИРДП;
- обосновании экономической эффективности по эксплуатации оптимизированной системы ИРДП, принятых к внедрению на ГП «Донецкая железная дорога».

#### **Реализация выводов и рекомендаций работы подтверждается:**

- внедрением результатов исследования диссертационной работы в виде рекомендаций по повышению эксплуатационной эффективности систем ИРДП на ГП «Донецкая железная дорога» (справка о внедрении № 2040/1024 от 25.08.21 г. выдана дирекцией по инфраструктуре ГП «Донецкая железная дорога»);
- внедрением в учебный процесс ГОО ВПО «ДОНЕЦКИЙ ИНСТИТУТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА» (справка №529/06 от 25.08.21 г. принята к внедрению в учебный процесс при проведении занятий по учебным дисциплинам «Современные беспроводные телекоммуникационные системы и сети», «Микропроцессорные информационные управляющие системы», для

студентов направления подготовки 23.05.05 «Системы обеспечения движения поездов», что отражено в учебных программах вышеуказанных дисциплин).

**Методология и методы исследования.** Для решения поставленных задач использованы: методы математического моделирования на основе теории автоматического регулирования; системный подход к анализу динамических процессов системы ИРДП; корреляционный анализ данных; методология имитационного компьютерного моделирования.

#### **Научные положения, выносимые на защиту.**

1. Впервые разработана модель функционирования оптимизированной системы ИРДП при воздействии помех, искажающих факторов и с учетом максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи, которая позволяет снизить средние потери времени поезда на перегоне на 11,3%, а также снизить средние дополнительные потери энергии поезда на перегоне на 10,8%.

2. Установлено, что использование оптимизированной системы ИРДП позволит в случае отсутствия радиосвязи сохранять допустимый скоростной режим на данном участке в условиях интенсивного движения поездов при соблюдении минимального межпоездного интервала следования.

**Степень достоверности и апробации результатов.** Достоверность результатов исследования подтверждается, современными методами исследования, которые соответствуют поставленным в работе целям и задачам. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертационной работе, подкреплены фактическими данными, наглядно представленными в приведенных таблицах и рисунках. Подготовка, анализ, а также интерпретация полученных результатов диссертационных исследований проведены с использованием современных методов обработки информации, статистического анализа и имитационного компьютерного моделирования.

#### **Апробация результатов диссертации.**

Основные положения и выводы диссертационной работы докладывались и обсуждались на: III Международной Научно – практической конференции «Научно – технические аспекты комплексного развития железнодорожного



транспорта», г. Донецк, 2017 г.; IV Международной научно – практической конференции «Научно – технические аспекты комплексного развития железнодорожного транспорта», г. Донецк, 2018 г.; XV Международной научно – практической конференции: «Актуальные проблемы развития транспортно – промышленного комплекса: инфраструктурный, управленческий и образовательный аспекты», г. Донецк, 2018 г.; VI Международной научно – практической конференции (дистанционной) «Научно – технические аспекты комплексного развития железнодорожного транспорта», г. Донецк, 2020 г.; XVII Международной научно – практической конференции: «Актуальные проблемы развития транспортно – промышленного комплекса: инфраструктурный, управленческий и образовательный аспекты», г. Донецк, 2020 г.; VII Международной научно – практической конференции «Научно – технические аспекты комплексного развития железнодорожного транспорта», г. Донецк, 2021 г.

**Личный вклад** соискателя состоит в формулировании цели исследований, задач исследований, основных научных положений и выводов, разработке математических моделей, разработке алгоритма, аналитических исследований, разработке практических рекомендаций по применению результатов.

**Публикации.** Основные научные результаты диссертации опубликованы в 10 научных работах, в том числе: 3 работы в изданиях, входящих в перечень специализированных научных изданий, утвержденный ВАК ДНР; 1 работа в издании, входящем в перечень специализированных научных изданий, утвержденный ВАК Российской Федерации; 6 – по материалам конференций.

*Соответствие темы и содержания диссертации паспорту специальности.*

Тема и содержание диссертации «Совершенствование методов и средств интервального регулирования движения поездов на базе цифрового радиоканала» соответствуют требованиям паспорта специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям) (технические науки)», в частности: п.4 «Теоретические основы и методы математического моделирования организационно-технологических систем и

комплексов, функциональных задач и объектов управления и их алгоритмизация»; п.5 «Теоретические основы, средства и методы промышленной технологии создания АСУТП, АСУП, АСПП и др.»; п.17 «Использование методов автоматизированного проектирования для повышения эффективности разработки и модернизации АСУ»; п.18 «Средства и методы проектирования технического, математического, лингвистического и других видов обеспечения АСУ».

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 4 разделов, заключения, списка литературы из 146 источников, 2 приложений на 3-х страницах, содержит 28 рисунков и 15 таблиц. Общий объем текста диссертации – 140 страниц.

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ИНТЕРВАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ НА БАЗЕ РАДИОКАНАЛА

Системы интервального регулирования движения поездов (ИРДП) предназначены для разделения поездов на перегоне в пространстве по интервалам попутного следования, чтобы полностью избежать возможность столкновения поездов друг с другом [1]. Тормозной путь поезда обычно в несколько раз больше, чем расстояние прямой видимости из кабины машиниста. Поэтому возникает задача заблаговременного оповещения машиниста локомотива и бортовой системы безопасности о необходимости применения торможения [2]. В качестве основного сигнального устройства на сети железных дорог Государственного предприятия «Донецкая железная дорога» используется светофор. В Донецкой Народной Республике показания светофора являются приказом и подлежат беспрекословному исполнению работниками железнодорожного транспорта.

Увеличение скорости и интенсивности движения поездов привело к увеличению количества ошибок при визуальном восприятии сигналов светофоров. Наиболее часто это проявляется в условиях плохой видимости: туман, снег, дождь, яркое солнце. При скоростях движения поездов свыше 140 км/ч правильное восприятие становится затруднительным при любых погодных условиях.

Поэтому на сети железных дорог ДНР была разработана и получила широкое распространение автоматическая локомотивная сигнализация (АЛС), которая передает значение сигналов светофора с помощью кодирования по рельсовым цепям (РЦ) [3]. При этом РЦ подвержены влиянию различного вида помех от протекания тягового тока, изменения сопротивления балласта верхнего строения пути и других причин, что влечет за собой многочисленные сбои кодирования сигналов АЛС. Кроме того, рельсопроводный канал не позволяет передавать данные от бортовой системы безопасности локомотива. Поэтому в

качестве альтернативы АЛС предлагается использовать радиоканал. Скорость передачи данных, а также пропускная способность радиоканала во много раз превосходит существующий канал по РЦ. Это способствует применению радиоканала в системах ИРДП в качестве альтернативы рельсопроводному каналу [1]. С развитием технологий цифровой радиосвязи, радиоканалы стали применять для управления движением поездов.

Изначально развивалась аналоговая радиосвязь, позволяющая осуществлять разговоры машиниста локомотива с поездным диспетчером (ДНЦ) и дежурными по станциям (ДСП). С начала 21 века активно развивается цифровая радиосвязь, открывающая широкие возможности для новых информационных и управляющих систем, в том числе и на железнодорожном транспорте. Появляются системы цифровой радиосвязи информирования машиниста локомотива, системы, собирающие диагностические данные о работе локомотива, потреблении топлива. В Европейском Союзе, Российской Федерации, США, Канаде, Японии, а также в ряде других развитых стран мира были созданы и активно эксплуатируются системы управления движением поездами по цифровому радиоканалу [4].

Работа систем управления по цифровому радиоканалу основывается на передаче информации между стационарным и бортовым оборудованием. Стационарное оборудование отправляет на поезд разрешение на движение с указанием точки, до которой разрешено следование (точка прицеливания). Бортовое оборудование на основе полученного разрешения на движение строит кривую торможения для остановки поезда в точке прицеливания. Для построения кривой торможения требуется знать расстояние от текущего местоположения локомотива до точки прицеливания. Эта задача решается с помощью системы определения местоположения локомотива и электронной карты местности.

## 1.1 Анализ существующих методов интервального регулирования движения поездов

Выбор метода ИРДП состоит в выборе способа реализации интервального регулирования, а также оценке его эффективности. Способ реализации метода ИРДП включает в себя следующие критерии: выбор способа интервального регулирования; выбор системы, которая будет реализовывать выбранный способ; выбор эксплуатационных параметров системы; выбор координат границ блок-участков.

Внимание ученых, которые специализируются в области железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) к которым также относятся системы ИРДП, сосредоточено на вопросах обеспечения безопасности и надежности устройств ЖАТ, а также на рассмотрении технического аспекта анализа и синтеза систем ИРДП, часто в ущерб проблеме их эксплуатационной эффективности [5].

Существующие методы ИРДП подробно рассмотрены в работах Кокурина И.М. и Кондратенко Л.Ф. [6], Рязанцева В.С. [7], Борисова Д.П. [8], Бенешевича В.И. [9], Янкина П.М. [10], Белова В.Н. и Ходжаева М.Х. [11, 12], Ильенкова В.И., Баумана В.Э., Белова В.Н. и Ходжаева М.Х. [13], а также в работах: по ЖАТ [14, 15, 16, 17, 18, 19], эксплуатации железных дорог [20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34], тяге [35, 36, 37, 38, 39], работах по торможению поездов [40, 41], проектированию железных дорог и железнодорожного пути [42], автоматическому управлению движением поездов (автоведению) [43], энергоснабжению железных дорог [44, 45]; а также в трудах Лисенкова В.М. [46].

При выборе метода ИРДП, в качестве основных задач, которые ставят перед железнодорожным транспортом, можно выделить:

- обеспечение возрастающего объема перевозок на железнодорожных участках, оборудованных системой ИРДП;
- повышение скоростей движения поездов на железнодорожных участках, оборудованных системой ИРДП;

- увеличение интенсивности движения поездов;
- своевременное, качественное и полное удовлетворение потребностей народного хозяйства и населения в перевозках;
- повышение эффективности работы железнодорожного транспорта, за счет внедрения современных методов ИРДП.

В качестве показателей эксплуатационной работы участков железных дорог, оборудованных системой ИРДП можно выделить:

- количество перевезенного груза за определенный период времени (за год);
- общий объем перевозок, который состоит из грузооборота и пассажирооборота;
- грузонапряженность железнодорожных участков;
- производительность подвижного состава;
- оборот локомотивного и вагонного парка;
- среднесуточный пробег локомотивов и вагонов;
- пропускная способность железнодорожных участков;
- безопасность движения поездов;
- скорость доставки грузов потребителям;
- скорость движения поездов на железнодорожном участке.

Особое внимание уделяется скорости движения поездов и пропускной способности железнодорожных участков, как средствам улучшения других показателей работы железных работ. При этом различают техническую, участковую и маршрутную скорости.

В работе Лисенкова В.М. указывается, что техническая скорость движения поездов при заданных параметрах подвижного состава определяется функциональными возможностями системы ИРДП на перегоне, а именно, ее способностью точно отслеживать постоянные и временные ограничения скорости движения поездов. Участковая скорость представляет собой среднюю скорость движения поезда по участку железной дороги с учетом времени стоянки на станциях, разгона, торможения и задержки состава на перегоне. Маршрутная скорость представляет собой среднюю скорость поезда от момента его

формирования до момента расформирования. При этом маршрутная скорость включает в себя движение поезда по перегонам и стоянку на станциях (учитывает время технических операций на станциях, таких как смена локомотива и локомотивной бригады, а также осмотр вагонов).

Пропускная способность железнодорожного участка представляет собой наибольшее число пар поездов, которое может быть пропущено по участку за сутки, при определенной технической оснащённости и принятой системе организации движения. Пропускную способность железнодорожного участка рассчитывают по основным техническим средствам: перегонам, станциям, сооружениям локомотивного хозяйства, устройствам энергоснабжения.

Можно выделить следующие экономические показатели работы ИРДП:

- производительность труда;
- себестоимость перевозок;
- рентабельность.

Внедрение ИРДП, совместно с реконструкцией железнодорожного пути и подвижного состава, является важным средством улучшения экономических показателей работы железных дорог, обеспечивающих уменьшение числа работников, занятых организацией перевозок, исключая тяжелый и опасный труд работников, связанный с переводом стрелок, торможением вагонов и т.д. Наибольший эффект от использования ИРДП можно получить при условии соответствия их характеристик объему и интенсивности перевозок, а также скоростей движения поездов.

Выбор существующих методов ИРДП производят на основе их технико-экономической эффективности. Существуют специальные методики, которые основаны на многолетнем опыте эксплуатации систем ИРДП, например методика сравнительной эффективности автоблокировки (АБ) и полуавтоматической блокировки (ПАБ), которая представлена в работе Борисова Д.П.

У проектируемых систем ИРДП такая возможность оценки по методике сравнительной эффективности отсутствует, а значение технико-экономической оценки возрастает, поскольку по мере усложнения решаемых задач

современными системами ИРДП, растет их стоимость и дороже обходятся потери от их несоответствия требованиям перевозочного процесса.

Можно выделить следующую классификацию существующих методов ИРДП:

- с разграничением по времени движения поездов по перегонам (первый из появившихся методов повышения безопасности движения поездов);

- с разграничением поездов по расстоянию, с использованием телеграфного (в последствии телефонного) способов сообщения о прибытии поезда в полном составе на станцию;

- электрожелезная система;

- ПАБ;

- трехзначная и четырехзначная АБ;

- АЛС непрерывного типа (АЛСН) с контролем скорости (с защитными участками и без них);

- унифицированная система автоматического управления тормозами поезда (САУТ);

- абстрактная перспективная система автоматизации управления движением поездов, которая включает в себя следующие функции: точная остановка поезда в заданных точках пути; экономия электроэнергии за счет оптимальных режимов движения поезда; исключение остановок поездов на подходах к станциям и железнодорожным узлам; регулирование скоростей движения поездов; централизованное регулирование движения поездов на участках, с учетом их взаимного влияния и отклонений от графика движения; автоматизация принципов ведения поездов в комплексной системе централизованного управления движением [47].

В качестве метода ИРДП можно рассматривать совокупность систем АБ, АЛС и автостопа. При таком методе интервал между двумя попутно следующими поездами считается безопасным, если его величина позволяет исключить их столкновение, в случае снижения поездом идущим впереди скорости темпом экстренного или полного служебного торможения.



В работе Лисенкова В.М., сделан акцент на том, что только при наличии системы диспетчерского управления возможно внедрение новой технологии оперативного управления движением поездов.

При использовании в качестве метода ИРДП только ПАБ возникает ряд недостатков:

- ограничение пропускной способности железнодорожного участка, за счет разграничения поездов на длину перегона или расстояния между блок-постами, при их размещении в середине наиболее длинных перегонов;
- прибытие поезда в полном составе контролируется персоналом станции;
- отсутствие РЦ на перегоне исключает электрический контроль исправности рельсовой колеи.

При использовании в качестве метода ИРДП только АБ возникает ряд недостатков:

- видимость сигналов светофоров меняется в течение суток, а также зависит от погодных условий, рельефа местности и кривизны пути;
- из-за плохой видимости сигналов светофоров требуется дополнительно использовать устройства АБ и устройства АЛС;
- машинист локомотива может не выполнить требование светофоров, это требует наличия устройств контроля бдительности машиниста (неосознанные ошибки машиниста или неспособность ведения поезда машинистом) [48].

В качестве метода ИРДП можно сравнивать двузначную, трехзначную и четырехзначную систему АБ без защитных участков, на основе следующих критериев:

- информативности;
- расстояния нормального разграничения поездов и минимального межпоездного интервала.

В работе Кокурина И.М, Кондратенко Л.Ф рассмотрен вопрос, как на минимальный межпоездной интервал может повлиять на увеличение числа сигнальных показаний светофора. В случае оборудования участка системой АБ возникает сложная задача разбивки перегона на отдельные блок-участки.

Также в качестве метода ИРДП рассматриваются вопросы использования на железных дорогах системы АЛСН с контролем скорости.

При анализе АЛС, поездной автостоп рассмотрен как отдельная система ИРДП. При этом нужно учитывать уровень абсолютного контроля скорости и бдительности машиниста локомотива (максимально допустимая скорость по поездной ситуации и скорость, при превышении которой автостоп вырабатывает машинисту локомотива предупредительные сигналы о необходимости подтвердить свою бдительность). В качестве метода ИРДП указан такой недостаток АЛСН, как возможность проследования поезда на занятый блок-участок при ошибке машиниста.

Недостатком традиционных методов ИРДП является отсутствие автоматического прицельного торможения в местах ограничения скорости из-за неудовлетворительного состояния пути или изменении поездной ситуации на участках. Эти недостатки не позволяют реализовать максимальную техническую скорость поезда на участке. Еще одним недостатком традиционных методов ИРДП является отсутствие автоматических или автоматизированных устройств отслеживания (с точки зрения экономии времени и электроэнергии) оптимальных траекторий движения поезда по железнодорожному перегону.

В качестве метода ИРДП можно рассматривать систему САУТ, которая позволяет исключить безостановочное проследование поезда на занятый блок-участок, а также повысить техническую скорость движения поездов за счет отсутствия преждевременного снижения скорости при проследовании поезда на красный сигнал светофора.

Можно выделить ряд недостатков, свойственных всем рассмотренным традиционным методам ИРДП:

- машинист локомотива может нерационально (дополнительные затраты времени электроэнергии) выбрать режим движения поезда (из-за недостаточности опыта);

- отсутствие у машинистов локомотивов достаточной информации о поездной ситуации на участке затрудняет выбор оптимального режима

управления движения поезда, в условиях снижения скорости или остановки впереди идущего поезда, а это в свою очередь приводит к ненужным остановкам поездов, которые сопровождаются потерями времени и энергии при замедлениях и разгонах.

На основании анализа выше перечисленных недостатков, которые свойственны традиционным методам ИРДП, предложены следующие решения:

- передавать каждому поезду, идущему сзади информацию о расстоянии до впереди идущего поезда и о скорости его движения;
- постоянно выдавать каждому поезду указания о требуемой скорости движения на участке [49].

Таким образом, в качестве показателей эффективности функционирования ИРДП указаны потери времени и энергии, вызванные нерациональным выбором режима движения поезда, вследствие недостаточной информированности или опыта машиниста локомотива.

При организации ИРДП особое внимание уделяется однопутному движению поездов на перегоне, в том числе при закрытии одного пути двухпутного перегона на ремонт. Рекомендовано проводить дальнейшие исследования на основе математических моделей процессов интервального регулирования, учитывающих параметры движения поездов, характеристики пути и способы организации ИРДП.

В работе [50] отражена проблема ухудшения, по сравнению с классической кодовой АБ, ряда эксплуатационно-технических показателей современных АБ на базе тональных рельсовых цепей (РЦ) без изолирующих стыков. Современные методы АБ на базе тональных РЦ имеют следующие эксплуатационно-технические недостатки:

- уменьшение в несколько раз максимальной длины РЦ, из-за этого возникает необходимость организации в пределах одного блок-участка вместо одной до пяти коротких РЦ;
- обязательное наличие защитных участков, которые ограничивают пропускную способность перегонов.

Требование обязательного применения защитных участков приводит к тому, что межпоездной интервал увеличивается (по сравнению с традиционной кодовой АБ) на время проследования защитного участка всей длиной поезда.

На основании проведенного анализа существующих методов ИРДП проведем анализ существующих систем интервального регулирования движения поездов.

## 1.2 Анализ существующих систем интервального регулирования движения поездов

В конце 80-х годов 20 века отечественными учеными была разработана система ИРДП, в которой интервальное регулирование ведется на текущую координату «хвоста» идущего впереди поезда, информация о которой передается по радиоканалу, при условии отсутствия разрыва состава поезда [51]. Текущая допустимая величина межпоездного интервала между «головой» поезда идущего сзади и «хвостом» идущего впереди поезда вычисляется бортовой аппаратурой локомотива с учетом скорости движения «своего» поезда, а также скорости изменения межпоездного интервала. Функциональная схема системы приведена на рисунке 1.1.

В системе (рисунок 1.1) непрерывно контролируются скорость поезда  $V$ , координаты «головы» и «хвоста» состава, а также отсутствие разрыва поезда (целостность состава). По цифровому радиоканалу принимаются сигналы с информацией о координате «хвоста» идущего впереди поезда  $S'_T$  и передаются сигналы с информацией о координате «хвоста» «своего» поезда  $S_T$ .



Координата  $S'_T$  поступает по радиоканалу в радиоприемник  $RWR$  локомотивной радиостанции  $RW$ . Координата  $S_T$  передается в радиоканал передатчиком  $RWT$  этой же радиостанции.

Перед началом движения поезда в блоке  $AT$  вычисляются координаты собственного «хвостового» вагона (входит в состав узла  $AS$  вычисления пройденного пути), а также задается длина всего состава собственного поезда. В блоке  $AAS$  для вычисления величины допустимого межпоездного интервала (входит в состав узла управления движением локомотива  $AN$ ) задаются такие параметры как: масса «своего» поезда, характеристики его тормозной системы; характеристики пути, по которому поезд будет двигаться.

Если по какой-либо причине после начала движения поезда, радиосигнал в  $RWR$  радиостанции  $RW$  о координате «хвоста» идущего впереди поезда пропадет (поездов впереди нет, отказ в системе формирования информации о координате «хвостового» вагона, отсутствие радиосвязи между центром радиоблокировки и поездом), то узел  $AN$  выключается. Машинист локомотива в таком случае должен вести поезд по показаниям сигналов АБ и АЛС.

С момента начала движения поезда  $BS$  подает информацию о текущей координате «головы» поезда в блок  $AK$ . При проследовании локомотива над устройствами, которые передают сигналы на  $BK$ , эта координата уточняется. При отсутствии разрыва поезда, который контролируется  $BC$ , сигнал о координате «хвоста» «своего» поезда подается в  $RWT$ . Данный сигнал соответствующим образом кодируется, и  $RW$  вырабатывается сигнал  $S_T$  о текущей координате «хвоста» «своего» поезда. При разрыве поезда формирование и передача сигнала  $S_T$  прекращается.

Кодирование сигнала необходимо для того, чтобы он воспринимался только  $RW$ , поезда идущего сзади. Кодирование обеспечивает безопасность шифрования и дешифрования сигнала, а также минимизацию влияния помех на устойчивость приема радиосигналов [53].

При наличии идущего впереди поезда на  $RWR$  поступает сигнал  $S'_T$ . После дешифрования данный сигнал подается на вход алгебраического сумматора  $SMI$ ,

на второй вход которого поступает сигнал с выхода  $AK$ , который пропорционален расстоянию, пройденному «головой» «своего» поезда. Сигнал на выходе  $SM1$  пропорционален текущей величине межпоездного интервала  $\Delta S$ , то есть расстоянию между «головой» «своего» поезда и «хвостом» поезда, идущего впереди.

Сигнал с выхода  $SM1$  подается одновременно на вход второго сумматора  $SM2$  и на вход дифференцирующего устройства  $AD$ . Сигнал на выходе  $AD$  несет в себе информацию о скорости изменения  $\Delta S$  (увеличении, уменьшении, отсутствии изменения). Сигнал  $\Delta S$  подается на один из входов  $A\Delta S$  для определения величины допустимого межпоездного интервала, на второй вход  $A\Delta S$  подается сигнал с выхода блока  $AK$ , который пропорционален координате «головы» «своего» поезда. На третий вход  $A\Delta S$  подается сигнал с выхода  $BV$ , который пропорционален текущей скорости движения поезда.

В  $A\Delta S$  на основании известных соотношений [54], а также на основании информации о весе и тормозных характеристиках поезда, особенностях плана и профиля на конкретном отрезке пути, скорости поезда, а также информации об изменениях межпоездного расстояния в данный момент времени, вычисляется величина допустимого межпоездного интервала в текущий момент времени. Сигнал с выхода  $A\Delta S$  подается на второй вход  $SM2$ .

Поскольку путь служебного торможения идущего позади поезда больше пути экстренного торможения идущего впереди поезда, межпоездной интервал должен рассчитываться с учетом защитного участка. Сигнал на выходе  $SM2$  будет пропорционален разности между допустимым и действительным значениями межпоездного интервала. Полученный сигнал подается одновременно на входы регулятора скорости локомотива  $RV$  и блока  $AL$  переключения сигнальных показаний локомотивного светофора  $TL$ . Блок  $AL$  включает на  $TL$  сигналы о необходимости увеличения или уменьшения скорости движения поезда.

Если локомотив снабжен автоматическим регулятором скорости  $RV$ , то при поступлении на его вход сигнала с выхода с  $SM2$ ,  $RV$  обеспечивает движение поезда с установленной скоростью.

Система ИРДП строится на более высоком уровне по сравнению существующей инфраструктурой средств ЖАТ. Поэтому в случае ее отказа скорость движения поезда регулируется не на координату «хвоста» идущего впереди поезда с учетом длины защитного участка, а на координаты светофоров, установленных на пути.

Таким образом, разработанная отечественная система ИРДП автоматически обеспечивает выдерживание требуемой величины интервала попутного следования поездов при ориентации на «хвост» идущего впереди поезда. Использование дополнительной информации, передаваемой по радиоканалам, обеспечивает возможность уменьшения межпоездного интервала вплоть до нуля при выполнении требований к безопасности движения поездов.

Реализация такой системы ИРДП требует использования дополнительной текущей информации о длине тормозного пути при служебном или экстренном торможении идущего впереди поезда [55], а также о скорости сближения «головы» «своего» поезда с «хвостом» идущего впереди поезда.

Современные технические средства позволили создать современную отечественную систему управления движения поездов по радиоканалу [56]. Функциональная схема такой системы ИРДП показана на рисунке 1.2.

В современной системе ИРДП используются радиостанция  $RW$ , элементы для задания величины межпоездного интервала  $A\Delta S_3$ , допустимой скорости соударения при сцеплении поездов на ходу  $A\Delta V_3$  и длины «своего» поезда  $A l_{пз}$ .

Датчиками в системе контролируются текущие значения следующих параметров: датчиком  $BS$  – пройденный поездом путь (координата «головы» поезда); датчиком  $BV$  – скорость движения поезда; датчиком  $B\Delta V$  – скорость сближения с идущим впереди поездом; датчиком  $BP$  – давление в тормозной магистрали; датчиком  $B l_p$  – отсутствие разрыва состава поезда.

Для работы датчика  $B\Delta V$  может быть использован принцип ближней радиолокации. Важным условием функционирования ближней радиолокации является требование, чтобы «голова» поезда идущего сзади и «хвост» идущего впереди поезда должны находиться на отрезке железной дороги, на котором





устройства  $ALS_{ПЗ}$ ; допустимая скорость соударения при сцеплении поездов на ходу  $\Delta V_3$  – с помощью  $AV_3$ .

В *COMP* задается величина межпоездного интервала, при котором должна обеспечиваться наибольшая точность его регулирования [57].

В *MPU* вводится информация о плане и профиле железнодорожного пути, а также вводятся численные значения массы состава и локомотива, численность состава поезда в вагонах, основного сопротивления движению поезда при холостом ходе локомотива, коэффициента трения между колесной парой и тормозной колодкой, силы нажатия тормозных колодок на ось колесной пары. Вся эта информация необходима для определения текущего значения тормозного пути «своего» поезда на основании известных зависимостей правил тяговых расчетов для поездной работы.

Сигналами для *MPU* для начала процедуры вычисления длины тормозного пути «своего» поезда, в случае экстренного торможения, являются резкие изменения давления в тормозной магистрали  $P$  и скорости движения поезда  $V$ . Информация об этом принимается от  $BP$  и  $BV$ . При движении поезда на основании сигнала на выходе  $BS$ , (который пропорционален пройденному «своим» поездом расстоянию  $S$ ), элементом  $SMI$  вычисляется сигнал для  $Al_{ПЗ}$ , (данный сигнал пропорционален длине состава «своего» поезда  $l_{П}$ ). В итоге, сигнал на выходе  $SMI$  будет пропорционален расстоянию, пройденному «хвостом» «своего» поезда  $S - l_{П}$ . Таким способом определяется координата «хвоста» «своего» поезда.

При отсутствии разрыва состава «своего» поезда данный сигнал передается на один из входов  $RW$ . Этот сигнал в закодированном виде передается по радиоканалам для приема  $RW$  поезда, идущего сзади, или  $RW$  центрального пункта управления, то есть центра радиоблокировки (ЦРБ). Если «хвост» «своего» поезда отрывается, то с выхода  $Bl_P$  поступает сигнал  $SFL_{П}$  и передача сигнала в  $RW$  о координате «хвоста» «своего» поезда прекращается.

Для поезда идущего сзади исчезновение радиосигнала о координате «хвоста» идущего впереди поезда является сигналом о прекращении работы

радиоканала и необходимости перехода на другие способы ИРДП. Информация о координате «хвоста» идущего впереди поезда  $S' - l''_{II}$  и текущем значении его тормозного пути  $l'_T$  поступает в приемник  $RW$  «своего» поезда. После дешифрации сигнал, который будет пропорционален разности расстояний  $S' - l''_{II}$ , подается на один из входов  $SM3$ , на второй вход которого подается сигнал с выхода  $BS$  (который пропорционален расстоянию  $S$ , пройденному «головой» «своего» поезда). Сигнал на выходе  $SM3$  пропорционален разности расстояний  $(S' - l''_{II}) - S$ , при этом данная разница равняется текущей величине межпоездного интервала  $\Delta S$ . Полученный сигнал поступает на входы  $SM4$  и  $SM5$ , а также на входы  $AD$  и  $COMP$ .

Сигнал на выходе  $MPU$ , будет пропорционален текущей величине тормозного пути «своего» поезда  $l_T$ , и поступает на второй вход  $RW$  [58], а также на вход  $SM2$ . На второй вход  $SM2$  поступает сигнал с информацией, о текущем значении тормозного пути идущего впереди поезда  $l'_T$ , этот сигнал получен в результате дешифрования принятого  $RW$  сигнала. На выходе  $SM2$  получают сигнал, который будет пропорционален разности  $\Delta l_T = l'_T - l_T$ , данный сигнал поступает на второй вход  $SM4$ .

Сигнал, получаемый на выходе  $SM4$ , будет пропорционален разности  $\Delta l_T - \Delta S$ , данный сигнал поступает на вход  $SL2$ . С выхода  $SL2$  сигнал подается на один из входов  $SM9$  только в случае выполнения условия когда  $\Delta S < \Delta l_T$ . Это вызовет уменьшение заданной текущей скорости поезда для  $RV$ .

Элементом  $SM5$  выполняется операция сравнения заданного значения межпоездного интервала  $\Delta S_3$  с его текущим значением  $\Delta S$ . Если  $\Delta S$  становится больше его установленного значения, то на выходе  $SL1$  появится сигнал, который будет поступать на один из входов  $SM8$ . На основании данного сигнала текущая скорость движения поезда будет уменьшена.

Сигнал на выходе  $AD$  будет пропорционален текущей скорости сближения  $\Delta V_B$  «головой» поезда идущего сзади с «хвостом» поезда, идущего впереди. Элементом  $SM6$  данный сигнал будет сравниваться с сигналом, который пропорционален заданной скорости сближения поезда  $\Delta V_3$ . Если расстояние

сближения поездов  $\Delta S$  достигло величины, когда можно использовать аппаратный контроль скорости сближения  $\Delta V$  на основе методов ближней радиолокации, то по команде COMP выключатель  $SF\Delta V$  соединяет выход  $SM6$  с входом  $SL3$ . Полученный сигнал на выходе элемента  $SL3$  будет подаваться на один из входов  $SM10$ , это позволяет обеспечить регулирование скорости движения поезда таким образом, чтобы скорость сближения поездов не превышала заданную (выполняется условие  $\Delta V \leq \Delta V_3$ ).

Поскольку скорость сближения поездов является одним из основных показателей безопасности движения [59], полученное значение  $\Delta V_B$  сравнивается с фактическим значением  $\Delta V$  (измеряется  $B\Delta V$ ). Если фактическая скорость сближения поездов больше вычисленной, то сигнал с выхода  $SM7$ , будет пропорционален разности значений  $\Delta V_B - \Delta V$ , через  $SL4$  данный сигнал будет поступать на вход  $SM11$ , это вызовет корректировку текущей скорости движения поезда  $V$  в сторону ее уменьшения.

Управляющее воздействие  $U_{TM}$  на систему торможения  $LC$  вырабатывается регулятором  $RV$  с учетом величины текущего значения давления в тормозной магистрали (контролируется датчиком  $BR$ ).

Таким образом, современная отечественная система ИРДП, (рисунок 1.2) обеспечивает возможность безопасного уменьшения межпоездного интервала в автоматическом режиме ведения поездов (автоведение) вплоть до нуля.

Широкое применение системы ИРДП получили в станах Европейского союза (ЕС), Японии и США.

В странах ЕС системы ИРДП функционируют на основе спецификации ERTMS/ETCS. Разработанные в соответствии с данной спецификацией системы ИРДП предусматривают функционирование на трех уровнях, два из которых предусматривают использование цифрового радиоканала в качестве основного средства передачи информации и управляющих команд.

Наибольшее распространение в ЕС получил уровень 2 систем ИРДП, согласно ETCS. Основой системы ETCS уровня 2 является ЦРБ, сопряженный с системами электрической централизации (ЭЦ) и АБ. Передача управляющих

сообщений на локомотив осуществляется по радиоканалу. В системе ETCS уровня 2 используются рельсовые цепи или счетчики осей для контроля целостности состава. Светофоры на перегоне являются опциональными и могут отсутствовать. Основой для определения местоположения локомотива являются евробализы, устанавливаемые на путях. Евробализы являются опорными точками для системы координат.

В Японии, в качестве ИРДП, применяют систему ATACS. Это система управления движением поездов, основанная на цифровом радиоканале. Она состоит из бортового оборудования, стационарного оборудования, оборудования цифровой радиосвязи. В качестве цифрового радиоканала используется сеть на частоте 400 МГц. По общим принципам работы система ATACS соответствует европейской системе ETCS уровня 3.

На основании анализа существующих методов и средств ИРДП, можно сделать вывод, что наиболее часто используемые пути повышения пропускной способности железнодорожных участков это уменьшение межпоездного интервала и удлинение состава поездов.

В первом случае наибольшее значение пропускной способности железнодорожного участка можно получить, если в системе ИРДП используется информация о координате поезда, его скорости и зависимости от нее длины пути экстренного торможения идущего впереди поезда [60].

По условиям безопасности движения, расстояние между последним вагоном («хвостом») идущего впереди поезда и головным локомотивом («головой») следующего за ним поезда должно быть не менее разности пути служебного торможения идущего сзади поезда и пути экстренного торможения поезда, идущего впереди [61]. Обеспечить выполнение этого условия можно только при динамическом расчете скорости движения поезда на основе необходимого объема и качества непрерывно получаемой информации о координате и скорости движения поезда, идущего впереди.

Поскольку отечественные и зарубежные системы ИРДП используют для обмена информацией между ЦРБ и поездами цифровой радиоканал, проведем

анализ особенностей стандартов цифровой радиосвязи для организации системы ИРДП на базе цифрового радиоканала.

### 1.3 Анализ особенностей стандартов цифровой радиосвязи в системах интервального регулирования

В работе систем ИРДП, к цифровому радиоканалу предъявляются следующие требования:

1) режим «хендовера», то есть непрерывный обмен информацией между ЦРБ и поездами на перегоне;

2) сокращение времени установления соединений с возможной организацией постоянного (в режиме группового соединения) взаимодействия между ЦРБ и поездами;

3) оптимизация режимов передачи данных по радиоканалу;

4) повышение помехоустойчивости информации за счет введения избыточного кодирования;

4) определение достоверности передачи данных при различных условиях распространения радиосигналов [62, 63].

В таблице 1.1 приведены основные и дополнительные функции, которые должна обеспечивать радиосвязь на железнодорожном транспорте [64].

В настоящее время для работы систем ИРДП на железнодорожном транспорте используют стандарты цифровой радиосвязи TETRA, GSM-R и DMR [64, 65, 66].

В таблице 1.2 приведено использование радиочастотного ресурса, а также применяемые стандарты цифровой радиосвязи на железных дорогах США Канады, ЕС и Российской Федерации (РФ)

В стандарте TETRA (TErrestrial Trunked RAdio) для железнодорожного транспорта предусмотрены диапазоны частот 410—430/450-470 МГц (не лицензируемый диапазон) и 870—876/915-921 МГц.

Радиус зоны обслуживания базовой станции TETRA зависит: от типа модуляции и кодирования; наличия естественных преград (рельефа местности); окружающей электромагнитной обстановки. Максимальный радиус действия базовой станции TETRA может составлять до 60 км.

Таблица 1.1 – Основные и дополнительные функции радиосвязи на железнодорожном транспорте

Функции передачи	Параметры выполнения
1	2
<b>Функции передачи речи</b>	
Индивидуальный вызов	Время установления соединения – не более 1с Время передачи соединения – не более 0,3 с Вероятность успешной передачи сообщения – не менее 0,995 Помехозащищенность информации
Групповой вызов	
Широковещательный вызов	
<b>Функции передачи данных</b>	
Передача статусных сообщений	Достоверность принимаемой информации не менее $10^{-4}$ Передача видеосигналов Высокая надежность каналов связи Гарантия качества обслуживания на всей территории охвата сети
Передача коротких сообщений	
Передача данных с коммутацией каналов	
Передача данных с коммутацией пакетов	
Передача пакетов с коммутацией каналов	
Сетевой режим	
Организация виртуальных сетей связи	
Интеграция с сетями определения местоположения	
Приоритетный доступ	
Исключительный приоритет	
Идентификация вызывающей стороны	
Подключение абонентов к уже установившемуся соединению	
Прямой режим	
Быстрый набор номера	

Стандарт GSM-R (Global System for Mobile communications — Railway) специально разработан для железных дорог на основе стандарта подвижной радиосвязи GSM.

В GSM-R используют диапазон частот 876–880 МГц для передачи от мобильной (МС) к базовой станции (БС) и 921–925 МГц для передачи от БС к МС.

Зона покрытия каждой БС зависит от высоты подвеса антенной секции, от рельефа местности и количества препятствий на пути до абонента, в среднем радиус действия БС GSM-R составляет 20 км.

Таблица 1.2 – Использование радиочастотного ресурса и стандарты цифровой радиосвязи на различных железных дорогах

Область применения	США, Канада	ЕС	РФ
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
Диспетчеризация движения поездов на магистральных и высокоскоростных линиях	220МГц/GSM/CDMA	GSM/GSM-R	GSM/GSMR/TETRA
Диспетчеризация малодеятельных линий	220МГц/GSM/CDMA	GSM/TETRA	Отдельные проекты на основе применения спутниковой связи
Диспетчеризация подвижного состава	220МГц/GSM/CDMA	GSM-R	GSM/GSM-R/ TETRA
Диспетчеризация ремонтных работ на инфраструктуре	220МГц/GSM/CDMA	GSM-R	GSM
Мониторинг опасных грузов	GSM/CDMA	GSM	GSM для отдельных категорий грузов
Интервальное регулирование движения поездов	220 МГц, Wi-Fi	GSM-R (активно прорабатывается возможность перехода на IP поверх GSM-R/ TETRA/LTE)	160 МГц DMR/GSM-R
Автоматизация маневровой работы	220 МГц, Wi-Fi	220 МГц	160МГц/DMR/GSMR/TETRA

Стандарт DMR (Digital Mobile Radio) может работать в диапазоне частот 136 – 174 МГц (закреплен за службами железнодорожного транспорта для организации низовой технологической радиосвязи), 403 – 470МГц, 450 – 527 МГц.

Технические характеристики существующего оборудования цифровой радиосвязи, представлены в таблице 1.3 [67].



Таблица 1.3 – Технические характеристики существующего оборудования цифровой радиосвязи

Характеристика	GSM-R	TETRA	IEEE 802.11	ГТС220	LTE-R	Спутниковая
1	2	3	4	5	6	7
Рабочая частота	876–880, 921–925 МГц	410–430, 450–470 МГц	2,4/5,8 ГГц	217,5–222,0 МГц	450 и 800 МГц; 1,4 и 1,8 ГГц	Аренда канала связи
Пропускная способность радиоканала	200 кГц	25 кГц	20–40 МГц	25 кГц	1,4–20 МГц	> 20 МГц
Максимальная скорость обмена данными	172 кбит/с	7,2 кбит/с	> 10 Мбит/с	16–32 кбит/с	10/50 Мбит/с	> 2 Мбит/с
Поддержка IP-протокола	Нет	Нет	Да	Да	Да	Да
Вид модуляции, метод доступа к каналу связи	GMSK, TDMA	DPSK, TDMA	QPSK, QAM	4DQPSK	QPSK, 16-QAM, 64-QAM (OFDM, SCFDM)	FSK-PSK
Состояние	Серийное производство	Серийное производство	Серийное производство	Серийное производство	Разработка	Серийное производство
Позиционирование на рынке	Планируется использовать до 2030 года	Практически устаревшая	Широко применяется и развивается	Только в США (компания Metrolink)	Согласован ие стандарта	Только в Европе (компания Thalys, SNCF)

Актуальным требованием, которое предъявляется к современной системе цифровой радиосвязи, обеспечивающей управление по радиоканалу системой ИРДП, является возможность поддержания эффективного и надежного обмена данными. Объем передаваемых данных для работы системы ИРДП представлен в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Объем данных для работы системы ИРДП

Характер информации	Объем данных, байт
На постоянной основе	
Скорость поезда	4
Координаты поезда	8
Сигналы АЛС	4
По требованию	
Экстренная остановка	2
Актуализация графика движения	10
Ограничение скоростного режима	10

Все данные передаются с периодичностью один раз в 3 с для высокоскоростных поездов и один раз в 7 с для всех остальных пассажирских и грузовых поездов. Системы ИРДП предполагают широкое использование средств радиосвязи для обеспечения обмена данными по следующим направлениям: ЦРБ — поезда; поезда — ЦРБ.

Сведения о задержках при передаче информации в радиосетях TETRA, GSM-R и DMR представлены в таблице 1.5 [68].

Таблица 1.5 – Задержки при передаче информации в радиосетях

Наименование параметра	Радиосеть GSM-R			Радиосеть TETRA	Конвенциональная радиосеть DMR
	CSD	GPRS real COM	GPRS «клиент-сервер»		
Средняя задержка в канале, мс	600	500	1300	>300	25
Минимальная/максимальная задержка в канале, мс	500/900	300/1500	100/3900	>500	22,5/27,5
Заявленная скорость обмена данными, кбит/с	9,6	171,2	171,2	28,8	64
Средняя пропускная способность канала, кбит/с	8,168	5,152	4,904	-	-
Минимальная/максимальная пропускная способность канала, кбит/с	7,52/8,96	1,52/14,296	0,336/9,52	2,4/4,8	23,46/114,27

Величина задержки при передаче данных в системах ИРДП на скорости движения до 350 км/ч должна составлять не более 100 мс. Данному требованию соответствуют возможности только системы связи GSM-R и DMR.

Стандарт DMR в большей степени удовлетворяет требованиям, предъявляемым к системам ИРДП на базе цифрового радиоканала, таким как: время установления соединения; максимальная скорость передачи информации; частотная эффективность; наличие некоторых дополнительных сетевых функций.

При передаче информации по радиоканалу между ЦРБ и поездами возможно возникновение зон отсутствия радиосвязи (зон радиомолчания), проведем анализ причин отсутствия радиосвязи в системах ИРДП на базе цифрового радиоканала.

#### 1.4 Анализ причин отсутствия радиосвязи в системах интервального регулирования движения поездов

Инфраструктура железнодорожного транспорта относится к категории критически важных объектов [69].

В связи с этим надежность и живучесть цифровой радиосети системы ИРДП являются важными требованиями, предъявляемыми к средствам обмена данными, для обеспечения функционирования системы ИРДП и управления ею [70, 71].

Причины и искажающие факторы, которые могут привести к возникновению зон отсутствия радиосвязи (зон радиомолчания) в системах ИРДП на базе цифрового радиоканала могут быть естественного характера (непреднамеренные) и искусственного характера (преднамеренные).

В общем виде под искажающими факторами понимают нежелательное воздействие электрических, магнитных или электромагнитных полей от внешних источников, которые нарушают нормальную работу системы ИРДП или ухудшают достоверность передачи информации по цифровым радиоканалам.

К непреднамеренным причинам и факторам естественного характера можно отнести:

- электромагнитное влияние высоковольтных линий электропередач (ЛЭП);
- электромагнитное влияние тяговой сети железнодорожного транспорта (ТС) как переменного, так и постоянного тока;
- влияние атмосферного электричества (грозовые разряды);
- электромагнитное влияние мощных радиопередатчиков;
- электромагнитное влияние мощных промышленных электроустановок;
- отсутствие зоны прямой видимости из-за рельефа местности, ухудшения погодных условий, а также наличия искусственных сооружений между радиопередатчиком и радиоприемником [72].

К преднамеренным причинам и факторам искусственного характера можно отнести:

- подавление радиосигнала, при помощи генерации шумоподобного сигнала на частотах передачи системы ИРДП (радиоглушилки);
- спуфинг-атаки (англ. spoofing – подмена) – вид атак, при которых с помощью специального устройства (спуфера), работающего на частотах системы ИРДП, приемнику под видом истинных данных посылаются ложные с более высоким уровнем сигнала, в этом случае приемник начинает работать с более сильным сигналом и получает заведомо ложные данные [73].

На данный момент радиоглушилки выпускаются как промышленными предприятиями, так и изготавливаются кустарно в домашних условиях радиолюбителями. Современные радиоглушилки способны генерировать радиопомехи сигналов таких сетей как WiFi, GSM, CDMA и т.д. Радиоглушилки создают помехи на выбранной частоте, генерируя сильный белый шум.

В состав любой радиоглушилки входят следующие функциональные блоки: генератор (управляет напряжением); настроечная схема (позволяет выбрать частоту); источник помех; блок усиления радиочастот; передающая антенна.

Радиоглушилки обладают достаточно большим радиусом подавления радиосигнала, который может составлять от 25 до 100 метров. Радиус радиоподавления зависит: от типа местности (рельефа); высоты установки передающей антенны; погодных условий; мощности радиопередающего

оборудования. Портативные радиоглушилки имеют габариты мобильного телефона, поэтому их можно легко спрятать в сумку или карман.

На различных уровнях модели OSI помехи в системе ИРДП могут быть представлены в виде:

– на физическом уровне, подавление сигнала путем создания оптимальной помехи в частотно-временном пространстве и с учетом значений фазовых параметров информационных элементов;

– на канальном уровне, создание структурной помехи с нарушением исправляющей способности кода, подавление системы синхронизации, оптимизация структуры помехи на длине кодовой комбинации при различных уровнях неопределенности о кодовой структуре сигнала [74];

Поскольку цифровая радиосеть в системе ИРДП работает на двух нижних уровнях модели OSI (физическом и канальном), влияние помех на вышестоящих уровнях рассматриваться не будут.

Результаты измерения радиошумов на участке железной дороги [75] показал, что ТС оказывает существенное влияние на качество радиосигналов, при этом уровни радиопомех превышают установленную норму, значение которой составляет до 60 дБмкВ.

При передаче ответственной информации по цифровым радиоканалам должны выполняться требования и по минимизации опасных ошибок. Ошибка передачи ответственной информации о поездной ситуации на перегонах и станциях по цифровым радиоканалам каналам должна быть не менее  $2 \times 10^{-2}$  на бит.

Во всех современных стандартах цифровой радиосвязи, используемых для организации радиоканала между ЦРБ и поездами в системах ИРДП, применяется помехоустойчивое кодирование радиосигнала. Помехоустойчивое кодирование необходимо для того, чтобы он воспринимался только той радиостанцией, которой предназначен данный радиосигнал. Кодирование радиосигнала обеспечивает безопасность шифрования и дешифрования сигнала, а также

минимизацию электромагнитного влияния источников радиопомех на устойчивость приема сигналов.

Для организации радиосвязи системы ИРДП на железнодорожном транспорте используют радиоволны ультракороткого диапазона (УКВ). УКВ диапазон, который используется для организации радиосвязи, включает в себя метровые волны (длина волны  $\lambda=1-10$  м или частота  $f=30-300$  МГц), а также дециметровые волны ( $\lambda=10-100$  см или частота  $f=300$  МГц - 3 ГГц).

УКВ радиоволны от ионосферы не отражаются, они свободно проходят ее, то есть эти волны не имеют пространственной ионосферной волны. Поверхностная ультракороткая волна, на которой возможна радиосвязь, имеет два существенных недостатка:

- поверхностная радиоволна не огибает земную поверхность и большие препятствия;
- сильно поглощается в почве.

УКВ радиоволны широко применяются там, где требуется небольшой радиус действия радиостанции, связь ограничивается обычно пределами прямой видимости (50-60 км) или немного превышает это расстояние (80-100 км) [76]. Распространение радиоволн УКВ диапазона представлено на рисунке 1.3.

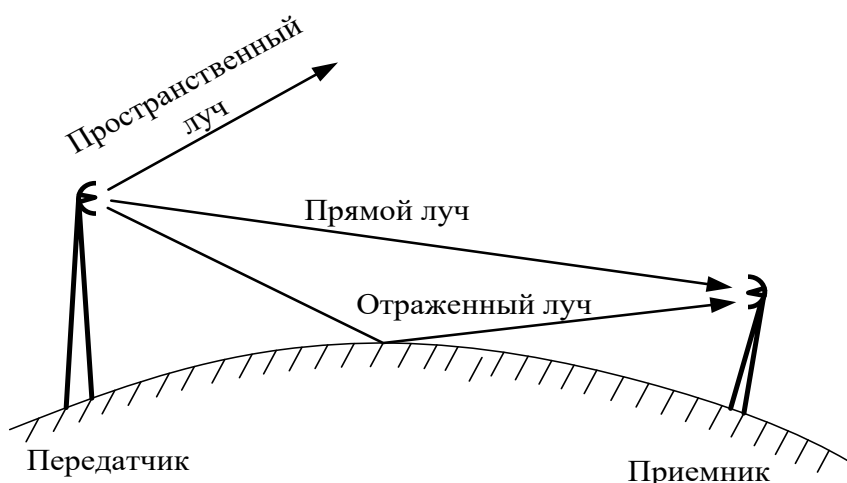


Рисунок 1.3 – Распространение радиоволн УКВ диапазона

Для решения проблем распространения радиоволн УКВ диапазона применяют частотно-территориальное планирование (ЧТП). ЧТП сетей связи с

подвижными объектами предусматривает выбор структуры (конфигурации) сети, места установки БС, выбор типа, высоты и ориентации антенн, распределение частот между БС. Для уменьшения капитальных затрат должна осуществляться оптимизация частотно-территориального плана, то есть необходимо разрабатывать план, обеспечивающий заданную зону обслуживания, емкость сети, требуемое качество обслуживания при минимальном числе БС и используемых частот [77].

Для удовлетворения высоких требований по надежности цифровой радиосвязи на железнодорожном транспорте, выбор мест установки БС, осуществляется с 50% перекрытием зон покрытия соседних БС. В результате зона обслуживания такой цифровой радиосети фактически будет иметь двойное покрытие. Построение цифровой радиосети с двойным радио покрытием невыгодно с экономической точки зрения, а также с точки зрения распределения частотного ресурса и электромагнитной совместимости между соседними БС. Поэтому согласно ЧТП базовые станции устанавливаются вдоль железнодорожного пути с учетом отсутствия «мертвых зон» между соседними БС, при наихудших погодных условиях. В пределах зоны покрытия определенной БС, все поезда находящиеся на перегоне или станции, обслуживаются только этой базовой станцией [78].

С учетом специфики сильно изменяющегося рельефа местности, который имеет большое количество оврагов и балок, в работе систем ИРДП возможны ситуации возникновения отсутствия радиосвязи (зона молчания) между ЦРБ и движущимся поездом, для которого рассчитывается безопасная кривая торможения в точку прицеливания [76]. Зона отсутствия радиосвязи показана на рисунке 1.4.

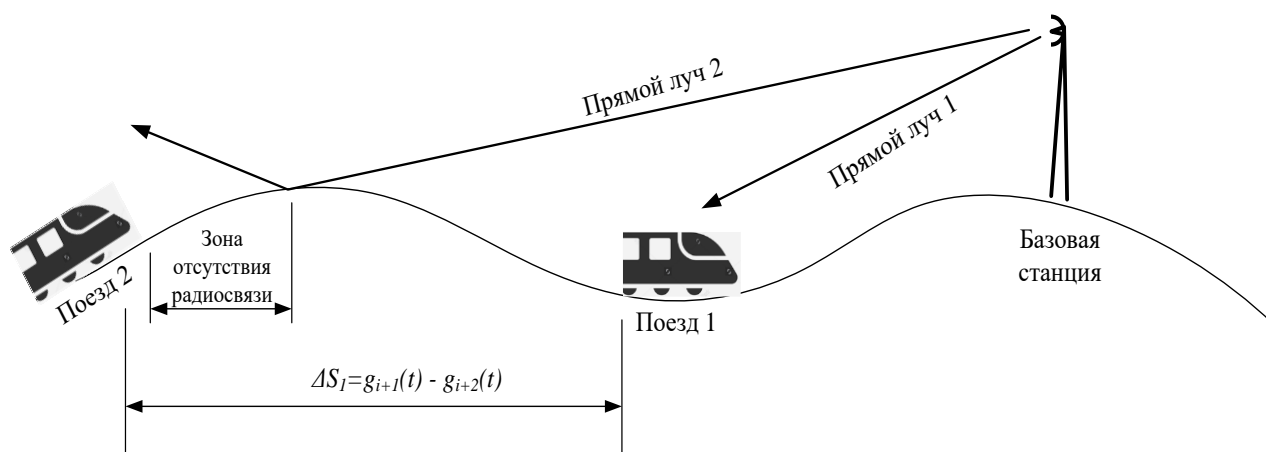


Рисунок 1.4 – Зона отсутствия радиосвязи

где  $\Delta S$  – безопасная кривая торможения поезда 2 в точку прицеливания;  
 $g_{i+1}(t)$  и  $g_{i+2}(t)$  – текущие координаты поездов 1 и 2 соответственно (определяются бортовыми устройствами одометрии).

Исходя из вышеизложенного, основными причинами возникновения зон отсутствия радиосвязи (зон радиомолчания) в системе ИРДП являются:

- отсутствие зоны прямой видимости из-за рельефа местности, а также наличия искусственных сооружений между радиопередатчиком и радиоприемником;
- подавление радиосигнала, при помощи генерации шумоподобного сигнала на частотах передачи системы ИРДП.

## 1.5 Выводы по разделу 1

Проведенный анализ существующих методов ИРДП показал, что внимание ученых, которые специализируются в области ИРДП сосредоточено на вопросах обеспечения безопасности и надежности устройств, а также на рассмотрении технического аспекта анализа и синтеза систем, часто в ущерб проблеме их эксплуатационной эффективности.

В качестве основных задач, с точки зрения эксплуатационной эффективности, выделяются следующие: обеспечение возрастающего объема



перевозок; повышение скоростей движения поездов; увеличение пропускной способности железнодорожных линий; своевременное, качественное и полное удовлетворение потребностей народного хозяйства и населения в перевозках; повышение эффективности работы транспорта. Особое внимание уделяется скорости движения поездов и пропускной способности железнодорожных линий, как средствам улучшения других показателей работы железных дорог. В качестве показателей эффективности систем ИРДП будем рассматривать потери времени и энергии, вызванные нерациональным выбором режима движения поезда.

Проведенный анализ существующих систем ИРДП показал, что при отсутствии радиосигнала между ЦРБ и движущимся поездом скорость движения поезда регулируется на координаты светофоров, установленных на пути. Для поезда идущего сзади пропадание радиосигнала о координате «хвоста» поезда идущего впереди, является сигналом о прекращении работы радиоканала и необходимости перехода на другие способы ИРДП.

Проведенный анализ особенностей стандартов цифровой радиосвязи в системах ИРДП показал, что стандарт DMR в большей степени удовлетворяет требованиям, предъявляемым к системам ИРДП, таким как: время установления соединения; максимальная скорость передачи информации; частотная эффективность; наличие некоторых сетевых функций.

Проведенный анализ причин отсутствия радиосвязи в системах ИРДП показал, что причины и искажающие факторы, которые могут привести к отсутствию радиосвязи могут быть преднамеренными и непреднамеренными. Основными причинами отсутствия радиосвязи в системе ИРДП являются: отсутствие зоны прямой видимости из-за рельефа местности, ухудшения погодных условий, а также наличия искусственных сооружений между радиопередатчиком и радиоприемником; подавление радиосигнала.

Актуальными являются дальнейшие исследования на основе математических моделей процессов повышения эксплуатационной эффективности систем ИРДП, учитывающих параметры движения поездов, характеристики пути и максимально допустимое время отсутствия радиосвязи.

Таким образом, целью работы является разработка методов совершенствования систем ИРДП на базе цифрового радиоканала, которые позволяют учитывать максимально допустимое время отсутствия радиосвязи между центром радиоблокировки и движущимися поездами, что позволит повысить эксплуатационную эффективность систем ИРДП. Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. Выполнить анализ существующих методов и средств интервального регулирования, анализ особенностей стандартов цифровой радиосвязи, а также причин отсутствия радиосвязи в системах ИРДП.

2. Разработать модель функционирования системы ИРДП на базе цифрового радиоканала, разработать структурно-функциональную модель и алгоритм функционирования оптимизированной системы интервального регулирования, разработать математическую модель определения максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи.

3. Провести имитационное компьютерное моделирование математической модели максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи по критерию обеспечения безопасности движения и критерию снижения пропускной способности движения грузовых и пассажирских поездов.

4. Разработать программную реализацию, а также провести расчет экономической эффективности от внедрения оптимизированной системы ИРДП.

## РАЗДЕЛ 2

СИНТЕЗ МОДЕЛЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ  
ИНТЕРВАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ2.1 Модель функционирования системы интервального регулирования  
движения поездов на базе цифрового радиоканала

Системы ИРДП на базе цифрового радиоканала работают на основе принципов радиоблокировки. Радиоблокировка предназначена для организации и управления движением на участках железных дорог с использованием цифрового радиоканала различных стандартов для связи между ЦРБ и поездами. [79]. Связь с поездами в системе ИРДП при помощи цифрового радиоканала различных стандартов представлена на рисунке 2.1.

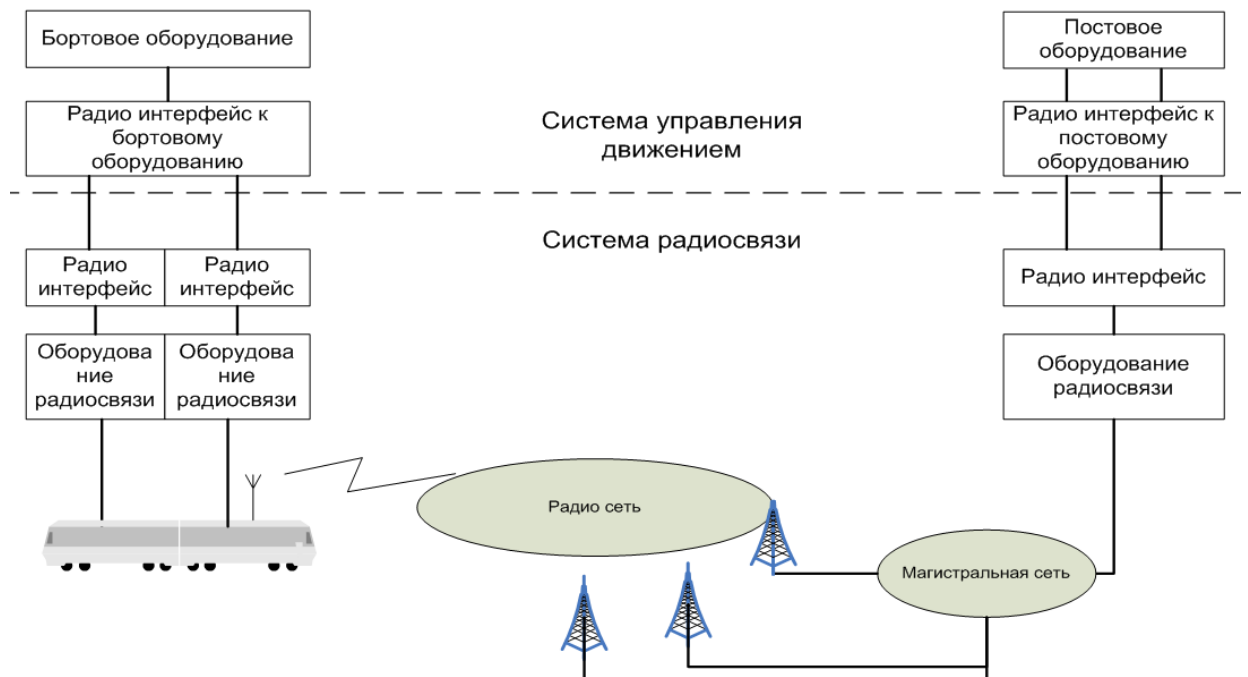


Рисунок 2.1 – Связь с поездами в системе ИРДП при помощи цифрового радиоканала

Системы ИРДП с на базе цифрового радиоканала можно разделить на централизованные, децентрализованные и смешанные.

В централизованной системе ИРДП в ЦРБ значимая информация обрабатывается специализированным микропроцессорным комплексом, а затем передается по цифровым радиоканалам поездам. В ЦРБ рассчитывается индивидуальная скорость движения каждого поезда, с учетом общей поездной ситуации на участке, а также постоянных и временных ограничений скорости и профиля пути.

В децентрализованной системе ИРДП контрольная и управляющая информация обрабатывается бортовым процессорным устройством поезда (БПУ). Важной задачей БПУ является динамический расчет кривых торможения в зависимости от местоположения поезда на участке. Для этого в бортовую электронную карту вносится цифровая модель участка пути с координатами на ней опорных точек, в качестве которых могут быть реальные или «виртуальные» бализы, а также генераторы РЦ цепей или счетчиков осей.

В смешанной системе ИРДП обработка требуемой информации разделяется между специализированным микропроцессорным комплексом, установленным в ЦРБ, и БПУ поезда.

Система ИРДП состоит из станционной и бортовой частей [80]. Станционная часть системы ИРДП включает в себя:

- 1) ЦРБ;
- 2) центральное процессорное устройство (ЦПУ);
- 3) объектные контроллеры на станциях, разъездах и переездах;
- 4) БС и вышки цифровой радиосвязи;
- 5) единый диспетчерский центр управления (ЕДЦУ).

Бортовая часть системы ИРДП включает в себя:

- 1) БПУ;
- 2) бортовое радиопередающее оборудование и антенны;
- 3) бортовое навигационное оборудование;
- 4) вспомогательное локомотивное оборудование.

ЦРБ выполняет следующие функции:

- 1) регистрация/де-регистрация поездов;
- 2) определение параметров движения поездов;
- 3) установка/отмена временных ограничений по скорости;
- 4) управление передачей данных;
- 5) контроль радиосвязи с поездами;
- 6) выполнение самодиагностики;
- 7) запись и хранение временных ограничений по скорости.

Бортовая часть системы ИРДП выполняет следующие функции:

- 1) выдачу на бортовой дисплей локомотива информации о допустимых параметрах движения поезда;
- 2) контроль фактической скорости движения поезда;
- 3) генерацию управляющих команд для воздействия на систему торможения локомотива;
- 4) непрерывное сравнение фактической и допустимой скоростей движения поезда и автоматическое (без возможности отмены со стороны машиниста локомотива) экстренное торможение поезда при превышении допустимой скорости движения и отсутствии реакции машиниста по её снижению в заданных пределах в течение расчётного периода времени;
- 5) прием сигналов от стационарных устройств;
- 6) непрерывный прием информации, разрешающей движение поезда с допустимой для данных конкретных условий скоростью;
- 7) возможность движения поезда по последним полученным допустимым параметрам движения, в случае потери радиосвязи;
- 8) экстренное торможение поезда в случае отказа бортовой системы безопасности;
- 9) информирование машиниста о расстоянии до места остановки (закрытого маршрутного или выходного светофора) и допустимой скорости движения;
- 10) прием информации о временных ограничениях скорости и реализацию на её основе необходимого скоростного режима;

11) ввод с пульта машиниста локомотива необходимой информации о поезде, в соответствии с требованиями по эксплуатации радиоблокировки;

12) индикацию неисправностей бортовой системы безопасности и передачу такой информации стационарным устройствам системы;

13) оповещение машиниста локомотива в случае нарушения контроля целостности состава поезда;

14) запись информации о параметрах движения поезда и командах управления на защищенный электронный носитель с последующей возможностью её расшифровки;

15) контроль включения и исправности состояния канала радиосвязи;

16) запись информации о диагностике бортовой системы безопасности в бортовом регистраторе и вывод информации на дисплей машиниста [81].

В соответствии с функциями, которые выполняет оборудование станционной и бортовой частей системы ИРДП, была разработана модель функционирования системы ИРДП на базе цифрового радиоканала, которая представлена на рисунке 2.2.

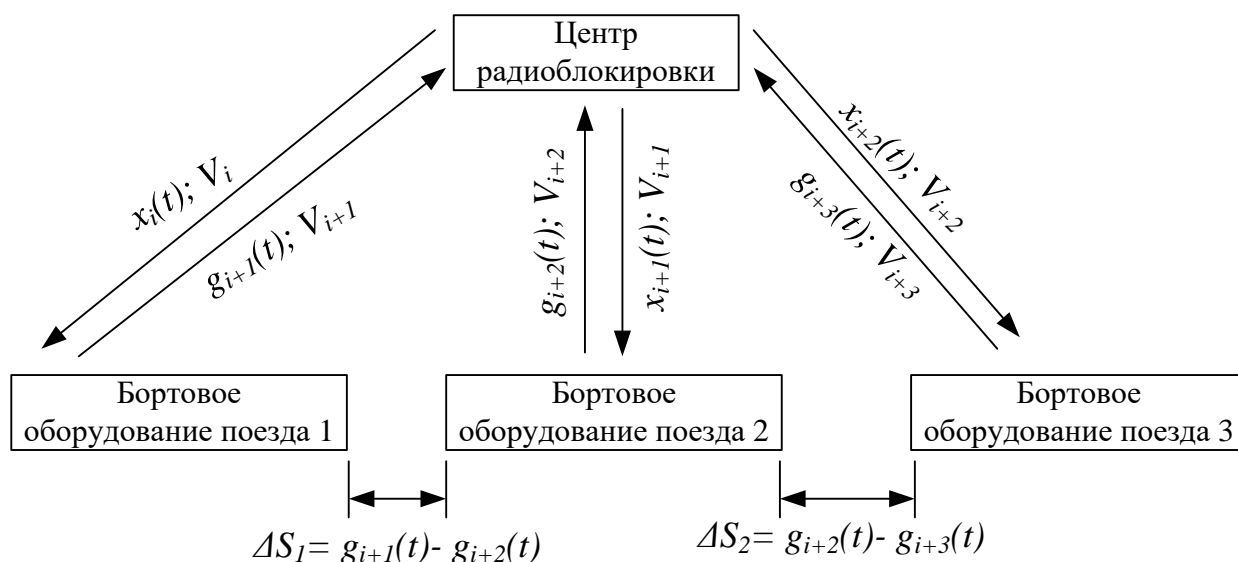


Рисунок 2.2 – Модель функционирования системы ИРДП на базе цифрового радиоканала

Для модели функционирования системы ИРДП на базе цифрового радиоканала разработаем алгоритм организации интервального регулирования движения поездов:

- 1) текущая координата поезда 1  $g_{i+1}(t)$  определяется бортовыми устройствами одометрии (счетчик оборота осей);
- 2) бортовое радиопередающее оборудование поезда 1 передает текущую координату оборудованию ЦРБ;
- 3) оборудование ЦРБ рассчитывает точку прицельного торможения до хвоста поезда 1 с защитным участком;
- 4) стационарная радиоаппаратура непрерывно передает следующему поезду 2 координату прицельного торможения  $x_{i+1}(t)$ ;
- 5) бортовая аппаратура поезда 2 рассчитывает и следует безопасной кривой торможения в точку прицеливания  $\Delta S_1$ .

Безопасные кривые торможения в точку прицеливания для поездов, следующих друг за другом, представлены на рисунке 2.3.

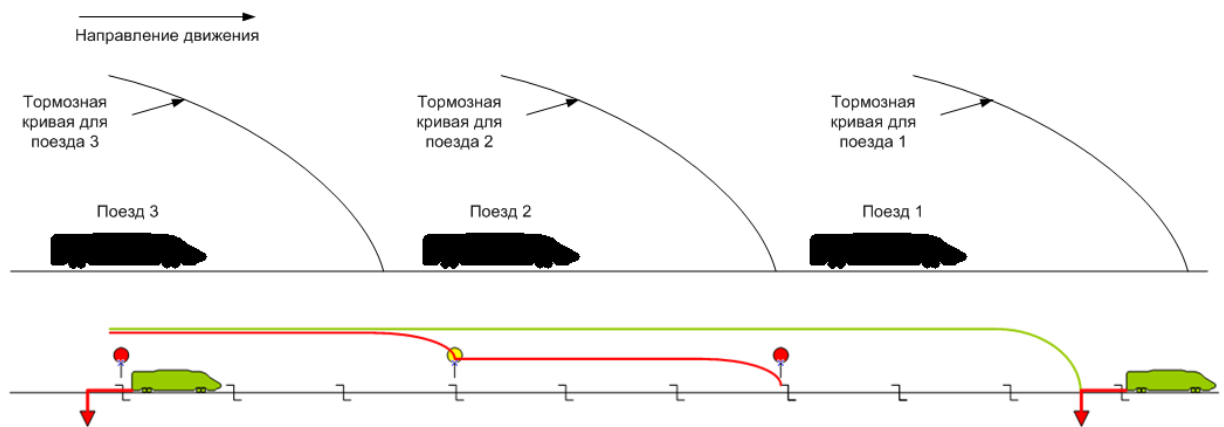


Рисунок 2.3 – Безопасные кривые торможения в точку прицеливания для поездов, следующих друг за другом

Функционирование системы ИРДП основано на концепции подвижных (виртуальных) блок-участков. В этом случае точка прицельного торможения поезда идущего сзади определяется на основании координаты «хвоста» поезда идущего впереди. Концепция подвижных блок-участков позволяет повысить

пропускную способность на железнодорожных перегонах с помощью гибкого регулирования интервалов попутного следования поездов на железнодорожных перегонах.

Согласно эксплуатационно-техническим требованиям, предъявляемым к системам ИРДП на базе цифрового радиоканала, при определении местоположения поезда необходимо учитывать погрешность измерений, возможные зоны не прохождения радиосигналов, а также возможность движения поезда по последним полученным допустимым параметрам движения, в случае потери радиосвязи. Для этого необходимо разработать структурно-функциональную модель оптимизированной системы ИРДП на базе цифрового радиоканала.

## 2.2 Структурно-функциональная модель оптимизированной системы интервального регулирования

Поскольку сеть радиосвязи является составной частью сложного комплекса системы ИРДП, точность передачи данных по радиоканалу между ЦРБ и поездами, должна достигаться в сложной помеховой обстановке, которая и определяет помехоустойчивость цифрового радиоканала системы ИРДП. В связи с этим важное значение имеет устойчивость системы ИРДП к воздействию преднамеренных и непреднамеренных искажений радиосигналов.

Цифровая радиосвязь различных стандартов, применяемая на железнодорожном транспорте, имеет принцип открытости, то есть известны характер и структура передаваемых данных по радиоканалу, данные передаются периодически в режиме пакетной передачи. В этом случае посторонние лица, с помощью радиотехнической аппаратуры, могут длительное время накапливать информацию о режиме радиосвязи системы ИРДП, применяемых частотных диапазонах, типах радиосигналов, видов модуляции в радиоканале. Такая накопленная информация может быть использована посторонними лицами для формирования сигналов преднамеренных искажений работы системы ИРДП.



Формирование сигналов преднамеренных искажений для системы ИРДП может вызывать: разрыв сеанса радиосвязи между ЦРБ и поездами (возникновение зон радиомолчания); затруднение радиосвязи (повышение вероятности ошибочного приема бит); введение ложной информации в систему ИРДП (спуферные атаки).

В общем виде в радиоканале сигналы системы ИРДП  $s(t)$  будут передаваться при воздействии на них мультипликативной  $\mu(t)$  и аддитивной  $\xi(t)$  помех, которые являются непреднамеренными. Если преднамеренные искажения в радиоканале отсутствуют, на входе радиоприемной аппаратуры системы ИРДП будет наблюдаться реализация случайного процесса, который имеет вид [82]:

$$x(t) = \mu(t)s(t) + \xi(t) \quad (2.1)$$

Функция  $\mu(t)$  представляет собой случайный процесс, причем  $\mu(t) \geq 0$ ,  $t \in R = [0, \infty)$ .

Преднамеренные искажения  $\eta(t)$  можно представить в виде:

$$\eta(t) = \zeta(t)\mu(t) + \xi(t), \quad (2.2)$$

где  $\zeta(t)$  – искажения, формируемые посторонней радиотехнической аппаратурой.

Модель воздействия преднамеренных и непреднамеренных искажений в радиоканале системы ИРДП представлена на рисунке 2.4.

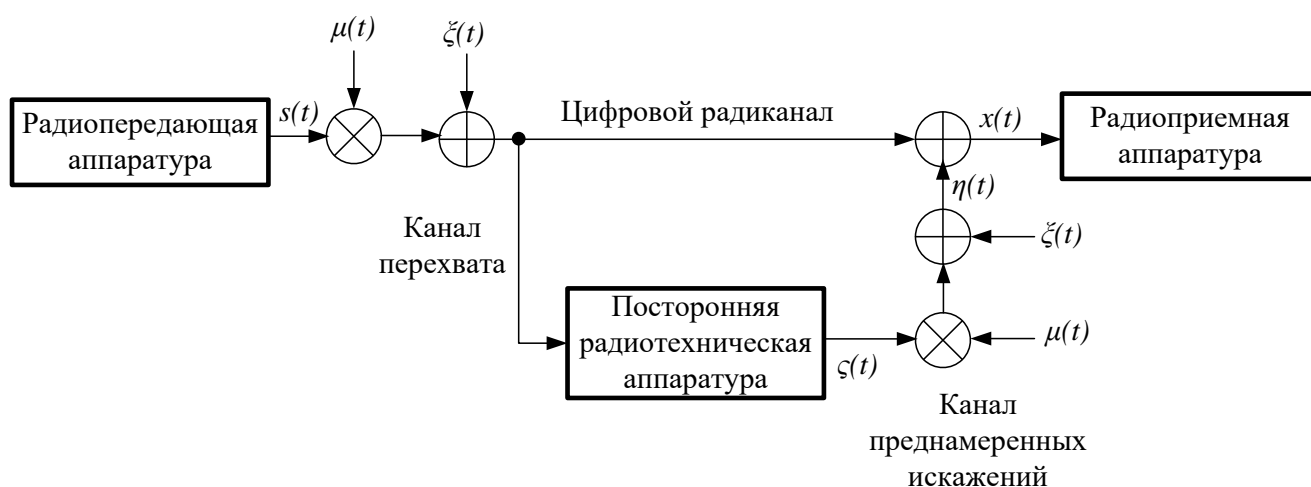


Рисунок 2.4 – Модель воздействия преднамеренных и непреднамеренных искажений в радиоканале системы ИРДП

На основании приведенной модели воздействия преднамеренных и непреднамеренных искажений в радиоканале системы ИРДП, для разработки структурно-функциональной модели оптимизированной системы ИРДП на базе цифрового радиоканала, необходимо разработать модель функционирования ИРДП с учетом действия помех и искажающих факторов.

Модель функционирования системы ИРДП с учетом воздействия помех (непреднамеренные) и искажающих факторов (преднамеренные) представлена на рисунке 2.5. Если непреднамеренные радиопомехи или преднамеренное подавление радиосигнала будут иметь большую мощность и длительность действия, исправляющая способность помехоустойчивых кодов будет не эффективна, что приведет к отсутствию возможности декодировать сигнал радиопередающим оборудованием системы ИРДП и как следствие к возникновению отсутствия радиосвязи.

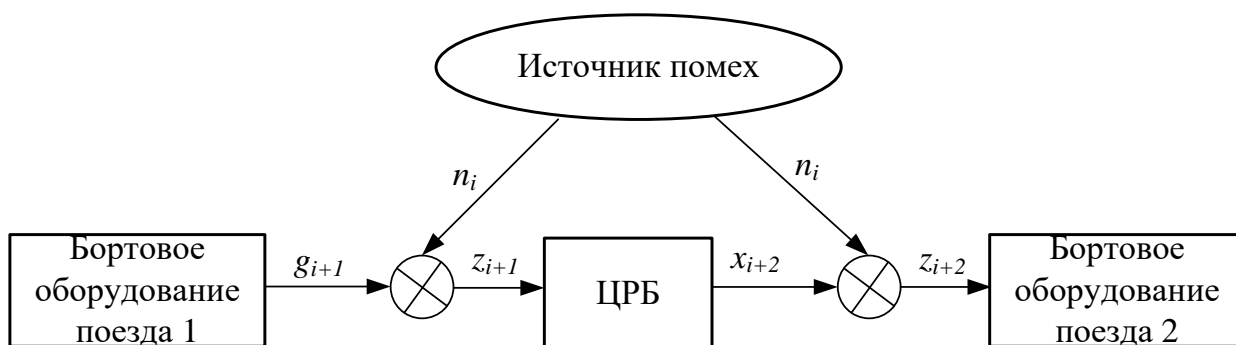


Рисунок 2.5 – Модель функционирования системы ИРДП с учетом воздействия помех и искажающих факторов

Согласно модели (рисунок 2.5) в случае воздействия источника преднамеренных или непреднамеренных помех, на вход ЦРБ (с выхода радиоканала) действует сумма  $z_{i+1}$  текущей координаты поезда  $g_{i+1} = \tilde{g}(t_i)$  и помех  $n_i = n(t_i)$ . На вход бортового оборудования поезда 2 аналогично действует сумма  $z_{i+2}$  координаты прицельного торможения  $x_{i+2}$  и помех  $n_i = n(t_i)$ . В результате в радиосигналах, которые поступают в ЦРБ и бортовое оборудование поезда 2, содержится случайная составляющая, которую можно охарактеризовать

величиной дисперсии  $\sigma_n^2$ . При этом работу ЦРБ по определению координаты прицельного торможения поезда можно описать уравнением:

$$x_i = \alpha_1 x_{i-1} + \dots + \alpha_n x_{i-n} + \beta_0 z_i + \dots + \beta_1 z_{i-1} + \dots + \beta_m z_{i-m}. \quad (2.3)$$

Работу ЦРБ с точки зрения теории автоматического управления (ТАУ), можно рассматривать как цифровую систему управления. Поскольку цифровая система управления линейна, то можно отдельно рассматривать прохождение сигналов и помех через систему ИРДП. Таким образом, необходимо найти дисперсию процесса, которая описывается следующим уравнением общего вида [83]:

$$x_i = \alpha_1 x_{i-1} + \dots + \alpha_n x_{i-n} + \beta_0 N_i + \dots + \beta_1 N_{i-1} + \dots + \beta_m N_{i-m}. \quad (2.4)$$

Воздействие преднамеренных или непреднамеренных помех в системе ИРДП может приводить к погрешности вычисления как текущей координаты поезда  $g_{i+1}$ , так и погрешности вычисления координаты прицельного торможения  $x_{i+2}$  (конец защитного участка).

В системе ИРДП описанию динамики движения поездов соответствует разностное уравнение  $g_i = \nu g_{i-1} + \xi_i$ , где  $\nu$  – постоянный коэффициент;  $\xi_i$  – гауссовские независимые случайные величины с дисперсией  $\sigma_\xi^2$ .

Поэтому в системе ИРДП можно определить вероятностные характеристики возможных траекторий поездов в дискретном времени. Для этого необходимо возвести левую и правую части уравнения движения поезда в квадрат и найти математическое ожидание [84]. В результате получаем  $\sigma_g^2 = \nu \sigma_g^2 + \sigma_\xi^2$  или  $\sigma_g^2 = \frac{\sigma_\xi^2}{1-\nu}$ . Данная величина дисперсии  $\sigma_g^2$  определяет динамический диапазон возможных отклонений траектории движения поезда от среднего значения.

Другим параметром, описывающим движение поезда, является характеристика скорости изменения траектории движения поезда. Для системы ИРДП в качестве такой меры скорости можно использовать коэффициент корреляции двух соседних значений текущих координат поезда  $g(t_{i-1})=g_{i-1}$  и  $g(t_i)=g_i$ . Для нахождения коэффициента корреляции необходимо умножить левую и правую части уравнения на  $g_{i-1}$  и найти их среднее значение:

$$M\{g_i g_{i-1}\} = \nu M\{g_{i-1}^2\} + M\{\xi g_{i-1}\}. \quad (2.5)$$

Поскольку  $M\{\xi g_{i-1}\} = 0$ , то коэффициент корреляции  $\frac{M\{g_i g_{i-1}\}}{M\{g_{i-1}^2\}} = \nu$ . Таким образом, параметр  $|\nu| < 1$  оказывается равным значению коэффициента корреляции двух соседних значений траекторий движения поезда.

Точность динамического расчета допустимой скорости движения поезда в конкретной точке пути зависит от точности определения координаты его головного локомотива. Интенсивность опасных отказов, приводящих к неправильному определению координаты головы поезда, должна быть меньше  $10^{-9}$  1/час.

Для повышения точности динамического расчета максимально допустимой скорости движения поезда в конкретной точке пути, а также точности определения координаты «хвоста» (минимального удаления позиции «хвоста» поезда) впереди идущего поезда в системе ИРДП, при условии воздействия помех, искажающих факторов и отсутствия радиосвязи, основной задачей является минимизация дисперсии ошибки  $\varepsilon_i = x_i - g_i$  точности системы ИРДП. Для минимизации дисперсии ошибки можно осуществить выбор коэффициентов  $\alpha_i$  и  $\beta_i$  системы ИРДП.

Для возможности нахождения  $\min M\{(\xi_i)^2\} = \min M\{(x_i - g_i)^2\}$  необходимо подставить в формулу для ошибки известные соотношения:

$$\begin{aligned} \varepsilon_i &= \alpha_i x_{i-1} + \beta_i (g_i + n_i) - g_i = \alpha_i x_{i-1} + (\beta - 1)(\nu g_{i-1} + \varepsilon_i) + \beta_i n_i = \\ &= (\alpha_i + \nu(\beta_i - 1))g_{i-1} + \alpha_i \varepsilon_{i-1} + (\beta_i - 1)\varepsilon_i + \beta_i n_i \end{aligned} \quad (2.6)$$

Для минимизации ошибки системы ИРДП полагаем, что  $\alpha + \nu(\beta_i - 1) = 0$ , тогда:

$$\varepsilon_i = \alpha_i \varepsilon_{i-1} + (\beta_i - 1)\varepsilon_i + \beta_i n_i. \quad (2.7)$$

В уравнении (2.5) отражены три составляющие ошибки системы ИРДП на базе цифрового радиоканала. Первое слагаемое учитывает ошибку на предыдущем шаге работы системы ИРДП  $\varepsilon_{i-1} = x_{i-1} - g_{i-1}$ .

Второе слагаемое представляет собой динамическую ошибку за счет изменения траектории движения поезда. В системе ИРДП в качестве устройств

одометрии используют счетчик оборота колесной пары (одометр). В процессе эксплуатации колесных пар, радиус колеса меняется и как следствие возникает погрешность определения координаты поезда. Данная погрешность линейно растёт по мере удаления поезда от точечного датчика (бализы) и обнуляется при прохождении поезда над следующим датчиком, который определяет следующую координату поезда [85].

Третье слагаемое  $\beta_i n_i$  представляет собой ошибку, которая вызвана действием помех, искажающих факторов или отсутствием радиосвязи в системе ИРДП.

Поскольку все слагаемые являются независимыми, то дисперсия будет равна сумме дисперсий ошибок всех трех слагаемых:

$$D_i = v^2(1 - \beta_i)^2 D_{i-1} + (\beta_i - 1)^2 \sigma_\xi^2 + \beta_i^2 \sigma_n^2, \quad (2.8)$$

где  $D_i = M\{\varepsilon_i^2\}$ ,  $\sigma_\xi^2 = M\{\xi_i^2\}$ ,  $\sigma_n^2 = M\{n_i^2\}$ .

Минимальное значение  $P_i = D_i \min$  дисперсии ошибки достигается при  $\beta_i = (\sigma_n^2)^{-1} P_{\varepsilon i} / (1 + (\sigma_n^2)^{-1} P_{\varepsilon i})$ , где  $P_{\varepsilon i} = v^2 P_{i-1} + \sigma_\xi^2$  [86].

Для разрабатываемой оптимизированной системы ИРДП можно сформулировать следующую модель функционирования:

$$x_i = x_{\varepsilon i} + P_i \frac{1}{\sigma_n^2} (z_i - x_{\varepsilon i}), \quad P_i = \frac{P_{\varepsilon i}}{1 + \frac{1}{\sigma_n^2} P_{\varepsilon i}}, \quad P_{\varepsilon i} = v^2 P_{i-1} + \sigma_\xi^2, \quad (2.9)$$

где  $x_{\varepsilon i} = vx_{i-1}$ .

В модели (2.9) величина  $x_{\varepsilon i}$  является экстраполированной на один шаг траектории движения поезда или прогнозом значения траектории поезда. На предыдущем шаге состояние системы ИРДП было  $x_{i-1}$ . Динамика изменения траектории поезда описывается уравнением  $g_i = vg_{i-1} + \xi_i$ . Наиболее оптимальным в системе ИРДП с точки зрения прогноза траектории движения поезда  $g_i$  это предсказать, что сигнал  $g_i$  будет иметь величину  $x_{\varepsilon i} = vx_{i-1}$ .

Таким образом, в разрабатываемой оптимизированной системе ИРДП на базе цифрового радиоканала вначале должен быть сформирован прогноз  $x_{\varepsilon i}$

траектории движения поезда по известным соотношениям правил тяговых расчетов для поездной работы. Затем необходимо определить рассогласование  $z_i - x_{эi}$  между сделанным прогнозом и очередным сигналом  $z_i$  (поступающим в ЦРБ), который искажен помехами, искажающими факторами либо из-за отсутствия радиосвязи. После этого очередное состояние системы ИРДП  $x_i$  формируется как сумма прогноза  $x_{эi}$  и взвешенного рассогласования.

Весовым коэффициентом  $p_i/\sigma_n^2$  служит отношение дисперсии ошибки системы ИРДП  $p_i$  и дисперсии помех, действующих на систему.

Как было сказано ранее, основными причинами отсутствия радиосвязи в системе ИРДП являются: отсутствие зоны прямой видимости из-за рельефа местности, а также наличия искусственных сооружений между радиопередатчиком и радиоприемником и подавление радиосигнала, при помощи генерации шумоподобного сигнала на частотах передачи ИРДП. В связи с этим в модель оптимизированной системы ИРДП должна учитывать максимально возможное время отсутствия радиосвязи.

Разработанная структурно-функциональная модель оптимизированной системы ИРДП, согласно модели функционирования (2.9), с учетом максимально возможного времени отсутствия радиосвязи, представлена на рисунке 2.6 [87].

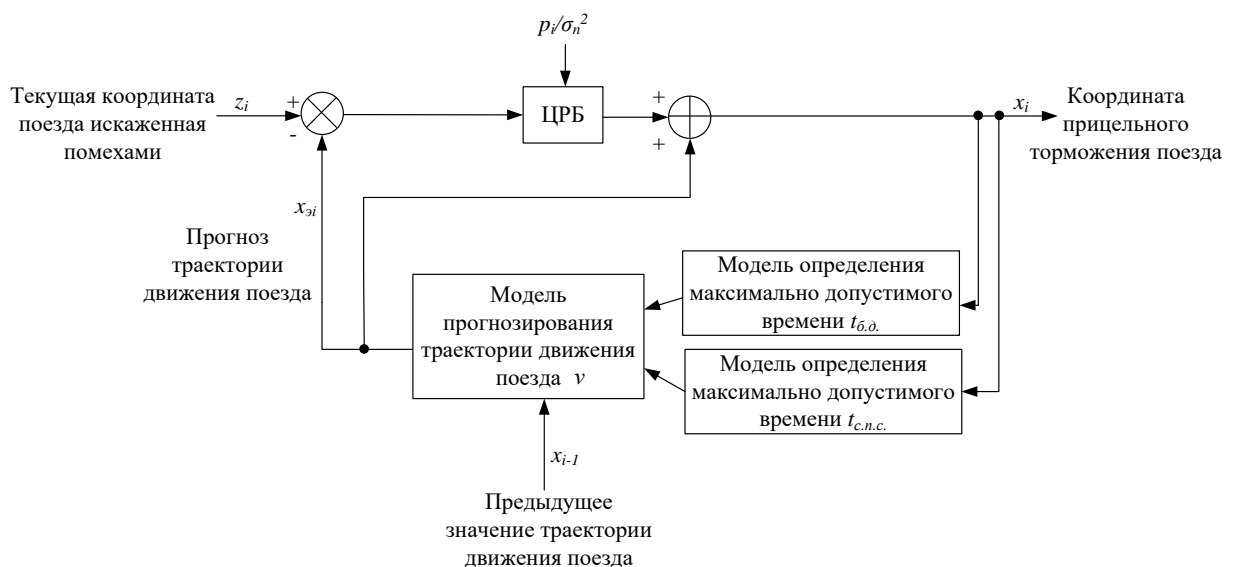


Рисунок 2.6 – Структурно-функциональная модель оптимизированной системы ИРДП

Для структурно-функциональной модели оптимизированной системы ИРДП разработаем алгоритм функционирования системы ИРДП, который представлен на рисунке 2.7.

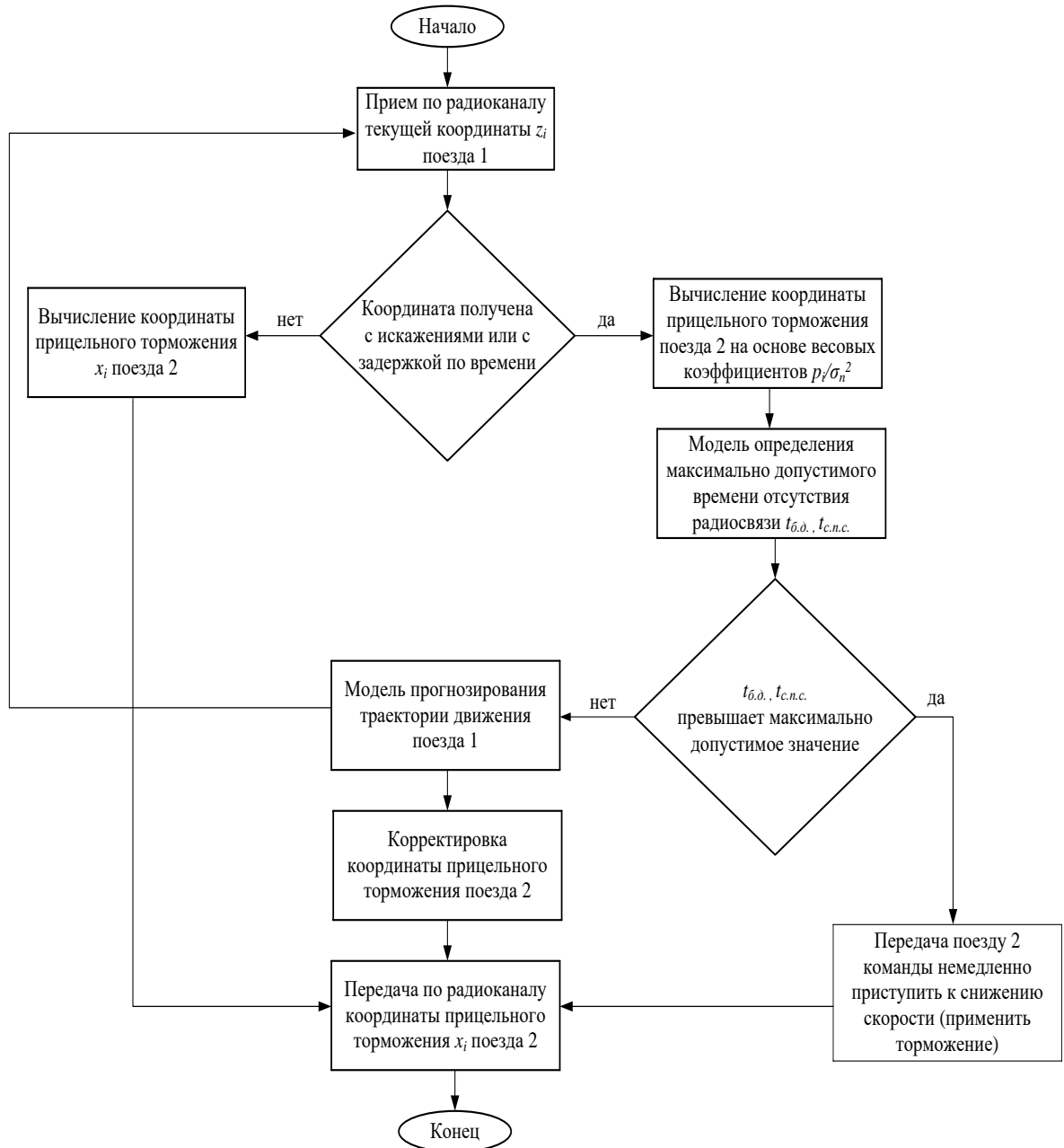


Рисунок 2.7 – Алгоритм функционирования оптимизированной системы ИРДП

Рассмотрим подробно алгоритм функционирования оптимизированной системы ИРДП [88]. Когда по радиоканалу в ЦРБ поступает текущая координата  $z_i$  поезда 1, которая возможно искажена помехами, либо искажающими факторами, в ЦРБ в процессе декодирования сигнала происходит анализ степени

искажения принятого сигнала. Также зная периодичность приема сигнала от движущихся поездов (раз в 3 секунды для высокоскоростных поездов и раз в 7 секунд для всех остальных пассажирских и товарных поездов) анализируется задержка во времени относительно предыдущего полученного сигнала по радиоканалу от данного поезда.

Если задержка во времени либо критические искажения принятого сигнала отсутствуют, в ЦРБ происходит стандартная процедура вычисления координаты  $x_i$  поезда 2. Затем координата  $x_i$  по радиоканалу передается поезду 2 идущему сзади.

В случае, если координата  $z_i$  имеет критические искажения сигнала, которые не позволяют ее корректно декодировать, либо зафиксирована задержка во времени при получении радиосигнала, в ЦРБ происходит вычисление координаты прицельного торможения поезда 2 на основе весовых коэффициентов  $p_i/\sigma_n^2$ . Одновременно с этим запускается модель определения максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи по критерию обеспечения безопасности движения поездов  $t_{б.д.}$  и критерию снижения пропускной способности движения поездов  $t_{с.н.с.}$ . Если время  $t_{б.д.}$  и  $t_{с.н.с.}$  не превышает максимально допустимого значения, происходит запуск модели прогнозирования траектории поезда 1 за время отсутствия радиосвязи. На основании полученного прогноза траектории движения поезда 1, производится корректировка координаты прицельного торможения  $x_i$  поезда 2, которая затем передается по радиоканалу поезду 2.

Если время отсутствия радиосвязи  $t_{б.д.}$  и  $t_{с.н.с.}$  превышает допустимые значения, по радиоканалу незамедлительно передается команда поезду 2 немедленно приступить к снижению скорости либо применить торможение.

Для структурно-функциональной модели оптимизированной системы ИРДП необходимо разработать модель определения максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи.



### 2.3 Модель определения максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи

По причине отсутствия радиосвязи в системе ИРДП может быть нарушена безопасность движения поездов, а также произойдет снижение пропускной способности движения поездов [89]. В связи с этим сформулируем критерий обеспечения безопасности и критерий снижения пропускной способности движения поездов, системы ИРДП.

Критерий обеспечения безопасности движения - это отсутствие возможности столкновения поездов при наихудших условиях и минимальном допустимом интервале следования поездов  $L_{и min}$  в случае временного отсутствия радиосвязи в работе системы ИРДП на базе цифрового радиоканала.

Критерий снижения пропускной способности - это неоправданное снижение скорости поезда идущего сзади (поезд 2), если поезд, идущий впереди (поезд 1), начал снижать скорость, но продолжает движение, в случае временного отсутствия радиосвязи в работе системы ИРДП на базе цифрового радиоканала.

Критерий обеспечения безопасности движения поездов является приоритетным, поэтому максимально допустимое время отсутствия радиосвязи необходимо рассматривать для наихудших условий.

В качестве наихудших условий, с точки зрения системы ИРДП, будем рассматривать случай экстренного торможения поезда 1 в плоть до полной остановки  $V_{1ф} = 0$  км/ч, с точки зрения поезда 2, для которого рассчитывается безопасная кривая торможения в точку прицеливания  $x_{i+2}$ , при этом полагаем, что поезд 2 движется с максимально допустимой скоростью для данного участка  $V_{2max}$ .

Важным условием работы системы ИРДП является непрерывная передача следующему поезду координаты прицельного торможения  $x_{i+2}$ . В случае отсутствия радиосвязи в системе ИРДП машинист идущего вслед поезда 2 ведет его по показаниям АБ и АЛС [90].

Поскольку путь служебного торможения идущего позади поезда 2 больше пути экстренного торможения идущего впереди поезда 1, то машинист поезда 2 должен приступить к резкому снижению скорости или даже экстренному торможению.

В системе ИРДП межпоездной интервал  $\Delta S$  рассчитывается с учетом защитного участка. Защитный участок представляет собой участок пути, предназначенный для автоматической безопасной остановки поезда бортовой системой безопасности (БСБ), перед занятым путевым участком. Поэтому при кратковременном отсутствии радиосвязи, будет неоправданно снижение скорости, или торможения идущего сзади поезда 2, с точки зрения минимального интервала следования поездов  $L_{u\ min}$ . На железнодорожном транспорте минимальный интервал следования поездов получают с помощью разделения участка железной дороги на блок-участки.

Использование минимального интервала следования поездов позволит увеличить количество поездов на одном участке железной дороги и как следствие увеличить пропускную способность данного участка. В настоящее время допустимый интервал между поездами попутного следования определяется в качестве решения тяговой задачи для поездов с заданными массой и длиной с учетом графика движения, действующих систем АБ. При допустимом интервале между поездами запас межпоездного интервала должен быть больше либо равен длине блок-участка. Значение  $L_{u\ min}$  должно выбираться при строгом соблюдении требований безопасности движения поездов.

Минимально допустимый интервал следования поездов  $L_{u\ min}$  можно определить по формуле, м:

$$L_{u\ min} > S_1 + S_{\text{запас}} \quad (2.10)$$

где  $S_1$  – максимальный тормозной путь поезда 1;  $S_{\text{запас}}$  – запас межпоездного интервала, больший или равный длине блок-участка [91].

Согласно эксплуатационно-техническим требованиям к системам интервального регулирования движением поездов на перегонах, запас

безопасного интервала, следующих друг за другом поездами, достаточного для остановки машинистом локомотива с применением служебного торможения, должен быть не менее 300 метров, то есть  $S_{\text{запас}} = 300$  м.

В общем виде максимально допустимое время отсутствия радиосвязи в работе системы ИРДП  $t_{\text{max доп}}$  будет определяться по формуле, с:

$$t_{\text{max доп}} = t_1 - t_2 \quad (2.11)$$

где  $t_1$  – время движения поезда 2 с максимально допустимой скоростью движения  $V_{2\text{max}}$  на данном участке (вплоть до возможного столкновения с поездом 1, который применил экстренное торможение);  $t_2$  – время которое будет затрачено поездом 1 (вплоть до полной остановки) при экстренном торможении, с:

$$t_2 = \frac{V_{1\text{max}} - V_{1\phi}}{a_{1\text{max}}} \quad (2.12)$$

где  $V_{1\text{max}}$  – максимально допустимая скорость движения поезда 1 на данном участке;  $V_{1\phi}$  – фактическая скорость движения поезда 1 на момент пропадания радиосвязи (при условии полной остановки поезда  $V_{1\phi} = 0$  м/с);  $a_{1\text{max}}$  – максимальное ускорение торможения поезда 1, м/с<sup>2</sup>:

$$a_{1\text{max}} = \frac{V_{1\text{max}}^2}{2S_1} \quad (2.13)$$

где  $S_1$  – максимальный тормозной путь поезда 1.

Расстояние  $S_{1\text{T}}$ , которое пройдет поезд 1 (вплоть до полной остановки) при экстренном торможении определяется по формуле [92], м:

$$S_{1\text{T}} = V_{1\phi} * t_2 + \frac{a_{1\text{max}} * t_2^2}{2} \quad (2.14)$$

Расчетное расстояние опасного сближения поездов (вплоть до возможного столкновения) определяется по формуле, м:

$$L_p = L_{u \text{ min}} + S_{1m} \quad (2.15)$$

Время  $t_1$  определяется по формуле, с:

$$t_1 = \frac{L_p}{V_{2\text{max}}} \quad (2.16)$$

Подставив формулы (2.12) – (2.16) в выражение (2.11), получим уравнения расчета максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи  $t_{max}$  доп.

Уравнение (2.17) соответствует определению максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи для критерия снижения пропускной способности поездов, с:

$$t_{c.n.c.} = \frac{L_u \min + [V_{1\phi} * (\frac{(V_{1max} - V_{1\phi}) * 2S_1}{V_{1max}^2}) + \frac{V_{1max}^2 * (\frac{(V_{1max} - V_{1\phi}) * 2S_1}{V_{1max}^2})^2}{2S_1}]}{V_{2max}} - \frac{(V_{1max} - V_{1\phi}) * 2S_1}{V_{1max}^2} \quad (2.17)$$

При условии, что поезд 1 во время экстренного торможения полностью остановится (то есть  $V_{1\phi} = 0$  м/с), получим уравнение (2.18), которое соответствует определению максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи для критерия обеспечения безопасности движения поездов, с [93]:

$$t_{\phi.0.} = \frac{L_u \min + [V_{1\phi} * (\frac{(V_{1max} - V_{1\phi}) * 2S_1}{V_{1max}^2}) + \frac{V_{1max}^2 * (\frac{(V_{1max} - V_{1\phi}) * 2S_1}{V_{1max}^2})^2}{2S_1}]}{V_{2max}} - \frac{(V_{1max} - V_{1\phi}) * 2S_1}{V_{1max}^2} =$$

$$\frac{L_u \min + S_1}{V_{2max}} - \frac{2S_1}{V_{1max}} \quad (2.18)$$

Разработанная модель определения максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи в условиях интенсивного движения поездов, при условии минимального межпоездного интервала следования  $L_u \min$ , позволит полностью исключить вероятность опасного сближения поездов (критерий обеспечения безопасности движения), а также соблюдать допустимый скоростной режим движения (критерий снижения пропускной способности).

## 2.4 Выводы по разделу 2

1. Разработана модель функционирования системы ИРДП на базе цифрового радиоканала, на основании которой был разработан алгоритм организации интервального регулирования движения поездов.

2. Разработана модель функционирования системы ИРДП с учетом действия помех и искажающих факторов.

3. Разработана модель функционирования оптимизированной системы ИРДП, на основании которой разработана структурно-функциональная модель оптимизированной системы ИРДП с учетом максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи. Для структурно-функциональной модели оптимизированной системы ИРДП разработан алгоритм функционирования системы ИРДП.

4. Разработана модель определения максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи по критерию обеспечения безопасности движения поездов и критерию снижения пропускной способности движения поездов. Модель определения максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи позволит полностью исключить вероятность опасного сближения поездов, а также соблюдать допустимый скоростной режим движения поездов.

## РАЗДЕЛ 3

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМОГО ВРЕМЕНИ  
ОТСУТСТВИЯ РАДИОСВЯЗИ В СИСТЕМАХ ИНТЕРВАЛЬНОГО  
РЕГУЛИРОВАНИЯ

## 3.1 Определение максимального тормозного пути для грузовых и пассажирских поездов

В модели определения максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи как по критерию обеспечения безопасности движения поездов  $t_{\text{б.д.}}$ , так и по критерию снижения пропускной способности движения поездов  $t_{\text{с.п.с.}}$  фигурирует такой параметр как максимальный тормозной путь  $S_l$  поезда 1. Поэтому перед моделированием максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи, вначале нужно определить максимальный тормозной путь, как для грузовых, так и для пассажирских поездов для наихудших условий их движения.

В качестве наихудших условий движения, с точки зрения системы ИРДП, будем рассматривать случай экстренного торможения поезда 1 в плоть до полной остановки  $V_{1\phi} = 0$  км/ч, с точки зрения поезда 2, для которого рассчитывается безопасная кривая торможения в точку прицеливания  $x_i$ , при этом поезд 2 движется с максимально допустимой скоростью для данного участка  $V_{2\text{max}}$ .

Для определения максимального тормозного пути для грузовых и пассажирских поездов воспользуемся Правилами тяговых расчетов для поездной работы. Правила тяговых расчетов для поездной работы определяют порядок и методику тяговых расчетов, а также устанавливают основные нормативы, которые применяются в расчетах. Согласно правил тяговых расчетов для поездной работы, при экстренном торможении, наихудшими условиями для грузового поезда повышенной массы и длины являются:

- соединенный грузовой поезд массой до 16 тыс. тонн с объединенной тормозной магистралью;
- локомотивы расположены в голове и последней трети поезда;

- пневматическое торможение, колодочные и дисковые тормоза (чугунные, композиционные, металлокерамические колодки или накладки);
- при максимально допустимой скорости движения 80 км/ч тормозной путь при экстренном торможении составляет 1400 м.

Согласно правил тяговых расчетов для пассажирских поездов при экстренном торможении, наихудшими условиями являются:

- скоростной пассажирский поезд до 25 вагонов;
- электропневматическое торможение, дисковые тормоза (композиционные, металлокерамические накладки);
- при максимально разрешенной скорости 200 км/ч тормозной путь при экстренном торможении составляет 2400 м.

На основе правил тяговых расчетов для поездной работы, при помощи метода интервалов скорости проведем расчет максимального тормозного пути  $S_1$  для грузового и пассажирского поезда, при наихудших условиях движения. Расчеты будем проводить для участков со спусками крутизной круче 10 ‰ до 15 ‰ включительно.

Согласно методу интервалов скорости тормозной путь [94] поезда 1 ( $S_1$ , м) равен сумме подготовительного тормозного пути ( $S_n$ , м) и действительного пути торможения ( $S_d$ , м):

$$S_1 = S_n + S_d. \quad (3.1)$$

$$S_n = 0,278v_0t_n, \quad (3.2)$$

где  $v_0$  – скорость поезда в момент начала торможения, км/ч;  $t_n$  – время подготовки тормозов к действию, с.

$$S_d = \sum \frac{500(v_n^2 - v_k^2)}{\zeta(1000\vartheta_p\varphi_{кр} + w_0 + w_c)}, \quad (3.3)$$

где  $v_n$  и  $v_k$  – начальная и конечная скорости в расчетном интервале, км/ч;  $\zeta$  – замедление поезда под действием удельной замедляющей силы (1Н/т), км/ч<sup>2</sup> (для грузовых и пассажирских поездов принимаем 12,2 км/ч<sup>2</sup>);  $w_0$  – основное удельное сопротивление движению поезда при работе локомотива в тяговом

режиме Н/кН;  $w_c$  – удельное сопротивление от спрямленного уклона, для которого производятся расчеты (на подъеме значение со знаком «+», при спуске значение со знаком «-»), Н/т;  $\vartheta_p$  – расчетный тормозной коэффициент поезда;  $\varphi_{кр}$  – расчетный коэффициент трения тормозной колодки о колесо.

Основное удельное сопротивление движению поезда при работе локомотива в тяговом режиме ( $w_0$ ), определяется по формуле:

$$w_0 = \frac{w'_0 P + w''_0 Q}{P + Q}, \quad (3.4)$$

где  $P$  – вес локомотива, кН (для локомотива грузового назначения принимаем 1961,33 кН, для локомотива пассажирского назначения принимаем 1274,8645 кН);  $Q$  – вес вагонов, кН (для соединенного грузового поезда с объединенной тормозной магистралью принимаем 156906,4 кН, для скоростного пассажирского поезда принимаем 12258,312 кН);  $w'_0$  – основное удельное сопротивление движению локомотива, Н/кН;  $w''_0$  – основное удельное сопротивление движению вагонов, Н/кН.

Основное удельное сопротивление движению локомотива ( $w'_0$ ), в режимах тяги и электрического торможения, определяется по формуле:

$$w'_0 = 1,9 + 0,008v_0 + 0,00025v_0^2 \quad (3.5)$$

Основное удельное сопротивление движению четырехосных груженых вагонов ( $w''_0$ ) на звеньевом пути, с подшипниками скольжения, определяется по формуле:

$$w''_0 = 0,7 + \frac{80 + v_0 + 0,025v_0^2}{q_0}, \quad (3.6)$$

где  $q_0$  – масса, приходящаяся на одну ось колесной пары, кН (в расчетах принимаем  $q_0 > 60$  кН).

Удельное сопротивление от спрямленного уклона, для которого производятся расчеты ( $w_c$ ) определяется по формуле:



$$w_c = 9,81i_c, \quad (3.7)$$

где  $i_c$  – уклон участка пути, спрямленного в продольном профиле и плане, ‰ (в расчетах принимаем от 10 до 15 ‰).

Время подготовки тормозов к действию ( $t_{\Pi}$ ) определим по формулам:

– грузовые поезда длиной более 500 осей

$$t_{\Pi} = 24 - \frac{35w_c}{1000\vartheta_p\varphi_{кр}}; \quad (3.8)$$

– пассажирские поезда длиной более 25 вагонов

$$t_{\Pi} = 7,5 - \frac{10w_c}{1000\vartheta_p\varphi_{кр}}. \quad (3.9)$$

Расчетный коэффициент трения тормозной колодки о колесо, для композиционных колодок, определяется по формуле:

$$\varphi_{кр} = 0,36 \frac{v_0 + 150}{2v_0 + 150} \quad (3.10)$$

Расчетный тормозной коэффициент поезда определяется по формуле:

$$\vartheta_p = \frac{\sum K_p}{(Q + P_y)},$$

(3.11)

где  $Q$  – масса состава, т (для грузового поезда повышенной массы и длины принимаем 16000 т, для пассажирского поезда принимаем 1250 т);  $P_y$  – учетная масса локомотива, т (для локомотива грузового назначения принимаем 200 т, для локомотива пассажирского назначения принимаем 130 т);  $K_p$  – расчетная сила нажатия на колодку, кН.

Для композиционных колодок расчетная сила нажатия определяется по формуле [95]:

$$K_p = 1,22K \frac{0,1K + 20}{0,4K + 20}, \quad (3.12)$$

где  $K$  – действительные сила нажатия, кН (для композиционных колодок  $K=16$  кН).

На основании метода интервалов скорости был рассчитан максимальный тормозной путь для грузового и пассажирского поезда. Результаты расчетов максимального тормозного пути грузового поезда  $S_1$ , в зависимости от фактической скорости движения поезда  $V_{1ф}$  представлены в таблице 3.1 и на рисунке 3.1.

Таблица 3.1 – Значения максимального тормозного пути грузового поезда

$V_{1ф}$ , км/ч	30	40	50	60	70	80
$S_1$ , м	200	350	550	790	1075	1400

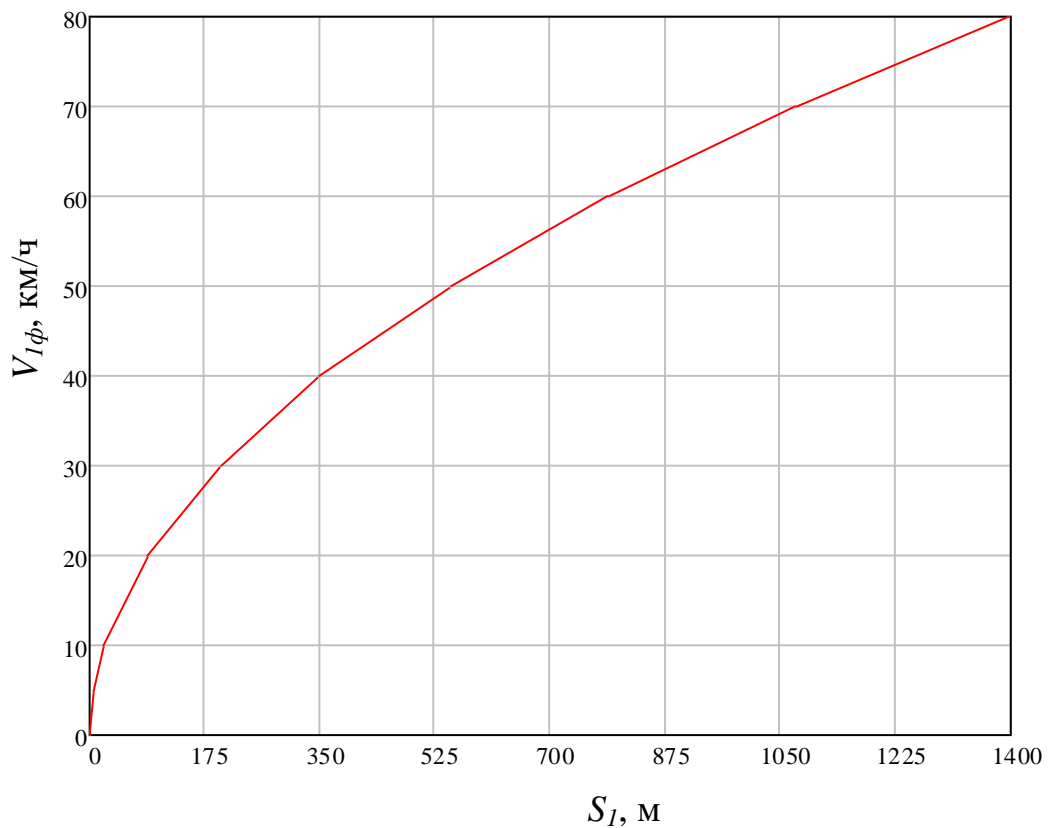


Рисунок 3.1 – Максимальный тормозной путь грузового поезда

Результаты расчетов максимального тормозного пути пассажирского поезда  $S_1$ , в зависимости от фактической скорости движения поезда  $V_{1ф}$  представлены в таблице 3.2 и на рисунке 3.2.

Таблица 3.2 – Значения максимального тормозного пути пассажирского поезда

$V_{1\phi}$ , км/ч	40	60	80	100	120	140	160	180	200
$S_1$ , м	100	225	400	600	875	1200	1550	1950	2400

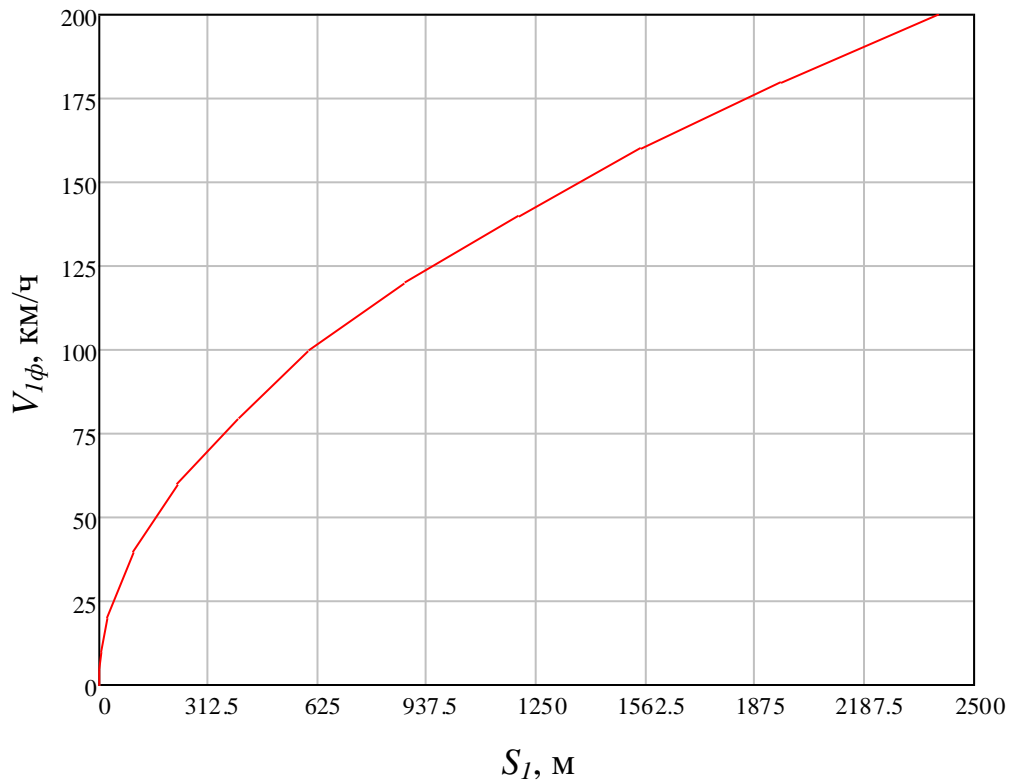


Рисунок 3.2 – Максимальный тормозной путь пассажирского поезда

На основании полученных результатов максимального тормозного пути для грузового и пассажирского поезда, проведем моделирование максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи.

### 3.2 Моделирование максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи

Для моделирования максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи по критерию обеспечения безопасности движения поездов и критерию снижения пропускной способности движения поездов, на основании выражения

(2.10) произведем расчет минимально допустимого интервала следования  $L_{и min}$  грузовых и пассажирских поездов.

Результаты минимально допустимого интервала следования грузовых и пассажирских поездов  $L_{и min}$  в зависимости от фактической скорости движения  $V_{1ф}$ , представлены в таблицах 3.3 и 3.4 соответственно.

Таблица 3.3 – Значения минимально допустимого интервала следования грузовых поездов

$V_{1ф}$ , км/ч	30	40	50	60	70	80
$L_{и min}$ , м	500	650	850	1090	1375	1700

Таблица 3.4 – Значения минимально допустимого интервала следования пассажирских поездов

$V_{1ф}$ , км/ч	40	60	80	100	120	140	160	180	200
$L_{и min}$ , м	400	525	700	900	1175	1500	1850	2250	2700

На основании модели (2.17) произведем моделирование максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи для критерия снижения пропускной способности движения грузовых поездов  $t_{с.п.с.}$ , при разных фактических скоростях движения поезда 1 на момент пропадания радиосвязи [96]  $V_{1ф} = 30; 40; 50; 60; 70; 80$  км/ч, с учетом минимального допустимого интервала между поездами  $L_{и min}$ . Результаты моделирования представлены в таблице 3.5 и на рисунке 3.3.

Таблица 3.5 – Результаты моделирования максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи по критерию снижения пропускной способности грузовых поездов

$V_{1\phi}$ , км/ч	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	
$t_{c.п.с.}$ , с	36	43,3	49,3	54	57,3	59,3	60											$V_{2max}=30$ км/ч
$t_{c.п.с.}$ , с	27	34,3	40,7	46,1	50,6	54	56,5	58	58,5									$V_{2max}=40$ км/ч
$t_{c.п.с.}$ , с	21,6	29,1	35,8	41,8	46,9	51,3	54,9	57,6	59,6	60,8	61,2							$V_{2max}=50$ км/ч
$t_{c.п.с.}$ , с	18	25,5	32,4	38,7	44,3	49,2	53,5	57,1	60,1	62,4	64,1	65	65,4					$V_{2max}=60$ км/ч
$t_{c.п.с.}$ , с	15,4	23	30	36,5	42,5	47,8	52,6	56,9	60,5	63,6	66,2	68,1	69,6	70,4	70,7			$V_{2max}=70$ км/ч
$t_{c.п.с.}$ , с	13,5	21,1	28,2	34,9	41,1	46,7	51,9	56,6	60,8	64,5	67,7	70,4	72,6	74,3	75,6	76,3	76,5	$V_{2max}=80$ км/ч

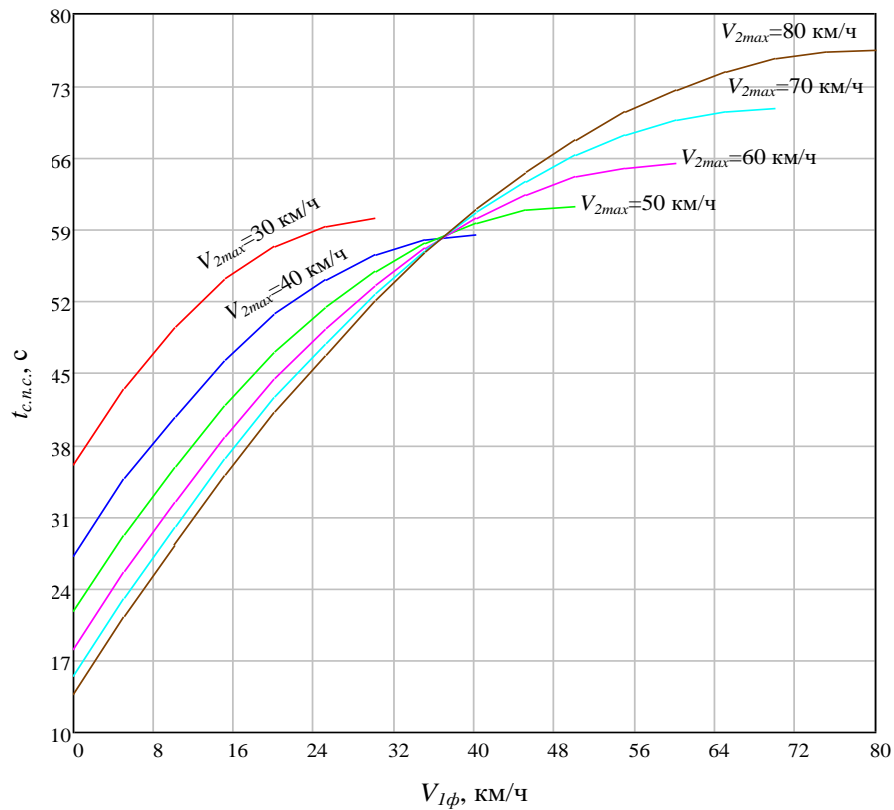


Рисунок 3.3 – Результаты моделирования максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи по критерию снижения пропускной способности грузовых поездов

На основании модели (2.17) произведем моделирование максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи для критерия снижения пропускной способности движения пассажирских поездов  $t_{c.п.с.}$ , при различных фактических скоростях движения поезда 1 на момент пропадания радиосвязи  $V_{1\phi} = 40; 60; 80; 100; 120; 140; 160; 180; 200$  км/ч, с учетом минимального допустимого интервала между поездами  $L_{и min}$ . Результаты моделирования представлены в таблице 3.6 и на рисунке 3.4.

Таблица 3.6 – Результаты моделирования максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи по критерию снижения пропускной способности пассажирских поездов

$V_{1\phi}$ , км/ч	0	10	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	
$t_{c.п.с.}$ , с	27	30,9	33,7	36									$V_{2max}=40$ км/ч
$t_{c.п.с.}$ , с	18	22,1	25,5	30	31,5								$V_{2max}=60$ км/ч
$t_{c.п.с.}$ , с	13,5	17,7	21,3	27	30,3	31,5							$V_{2max}=80$ км/ч
$t_{c.п.с.}$ , с	10,8	14,8	18,5	24,6	28,9	31,5	32,4						$V_{2max}=100$ км/ч
$t_{c.п.с.}$ , с	9	13,1	17	23,5	28,6	32,3	34,5	35,2					$V_{2max}=120$ км/ч
$t_{c.п.с.}$ , сек	7,7	11,9	15,8	22,8	28,5	32,9	36	37,9	38,5				$V_{2max}=140$ км/ч
$t_{c.п.с.}$ , с	6,7	10,9	14,9	22	28	32,9	36,7	39,4	41	41,6			$V_{2max}=160$ км/ч
$t_{c.п.с.}$ , с	6	10,2	14,1	21,4	27,6	32,9	37,2	40,6	43	44,5	45		$V_{2max}=180$ км/ч
$t_{c.п.с.}$ , с	5,4	9,6	13,6	20,9	27,4	33	37,8	41,6	44,7	46,8	48,1	48,6	$V_{2max}=200$ км/ч

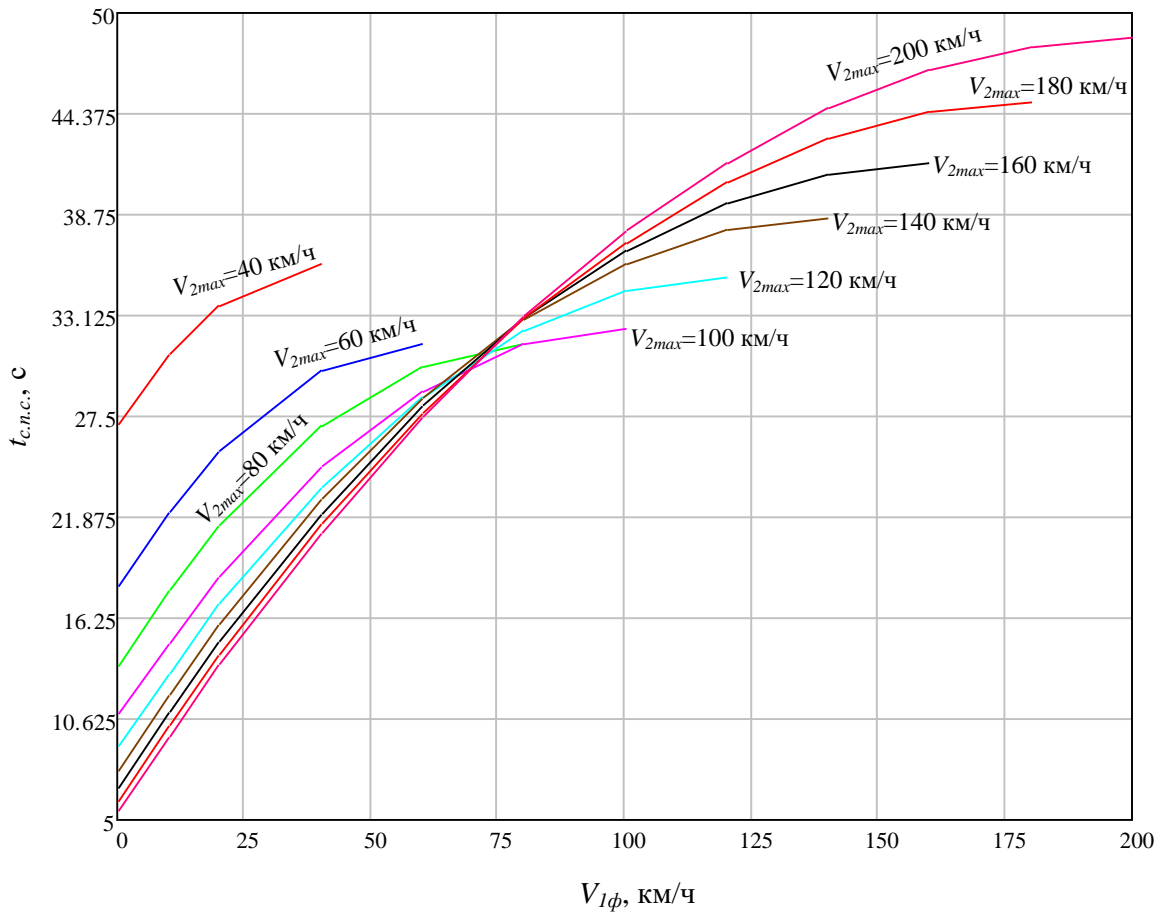


Рисунок 3.4 – Результаты моделирования максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи по критерию снижения пропускной способности пассажирских поездов

На основании модели (2.18) произведем моделирование максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи для критерия обеспечения безопасности движения грузовых поездов  $t_{б.д.}$ , при условии полной остановки поезда 1 ( $V_{1ф} = 0$  км/ч) для разных максимально допустимых скоростей движения поезда 2,  $V_{2max} = 30; 40; 50; 60; 70; 80$  км/ч, с учетом минимального допустимого интервала между поездами  $L_{и min}$ . Результаты моделирования представлены в таблице 3.7 и на рисунке 3.5.

Таблица 3.7 – Результаты моделирования максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи по критерию обеспечения безопасности движения грузовых поездов

$V_{2max}$ , км/ч	30	40	50	60	70	80
$t_{б.д.}$ , с	36	27	21,6	18	15,4	13,5

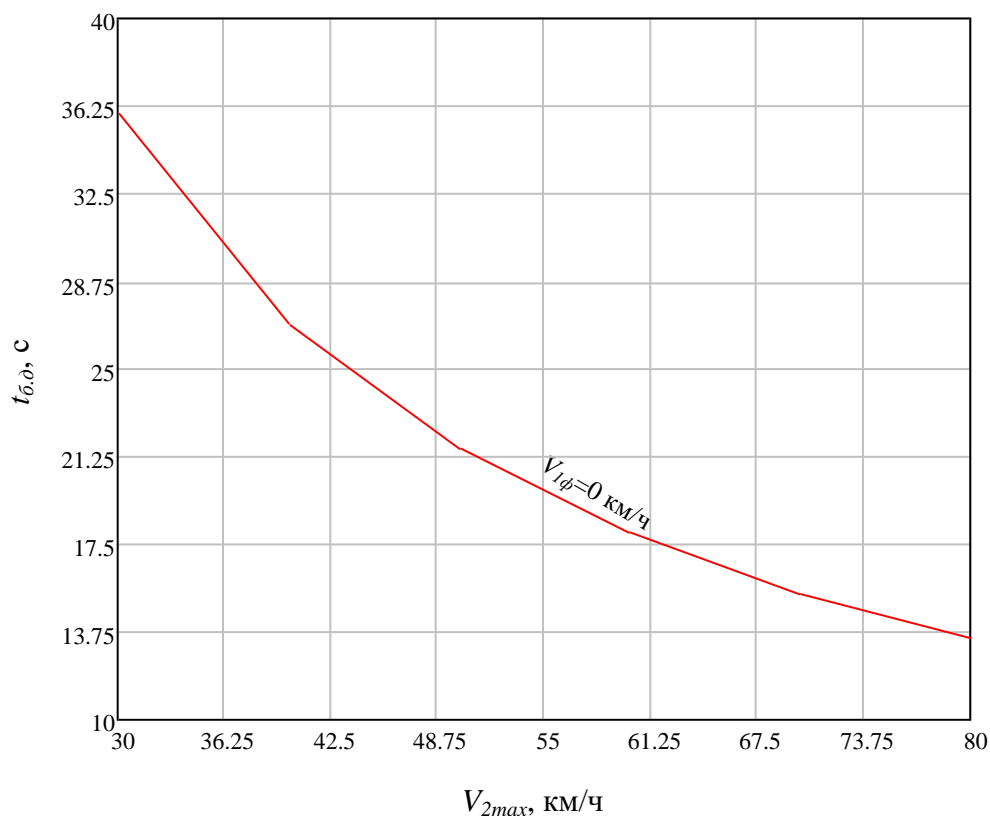


Рисунок 3.5 – Результаты моделирования максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи по критерию обеспечения безопасности движения грузовых поездов

На основании модели (2.18) произведем моделирование максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи для критерия обеспечения безопасности движения пассажирских поездов  $t_{б.д.}$ , при условии полной остановки поезда 1 ( $V_{1ф} = 0$  км/ч) для разных максимально допустимых скоростей движения поезда 2,  $V_{2max} = 40; 60; 80; 100; 120; 140; 160; 180; 200$  км/ч, с учетом



минимального допустимого интервала между поездами  $L_{и min}$ . Результаты моделирования представлены в таблице 3.8 и на рисунке 3.6.

Таблица 3.8 – Результаты моделирования максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи по критерию обеспечения безопасности движения пассажирских поездов

$V_{2max}$ , км/ч	40	60	80	100	120	140	160	180	200
$t_{б.д.}$ , с	27	18	13,5	10,8	9	7,7	6,7	6	5,4

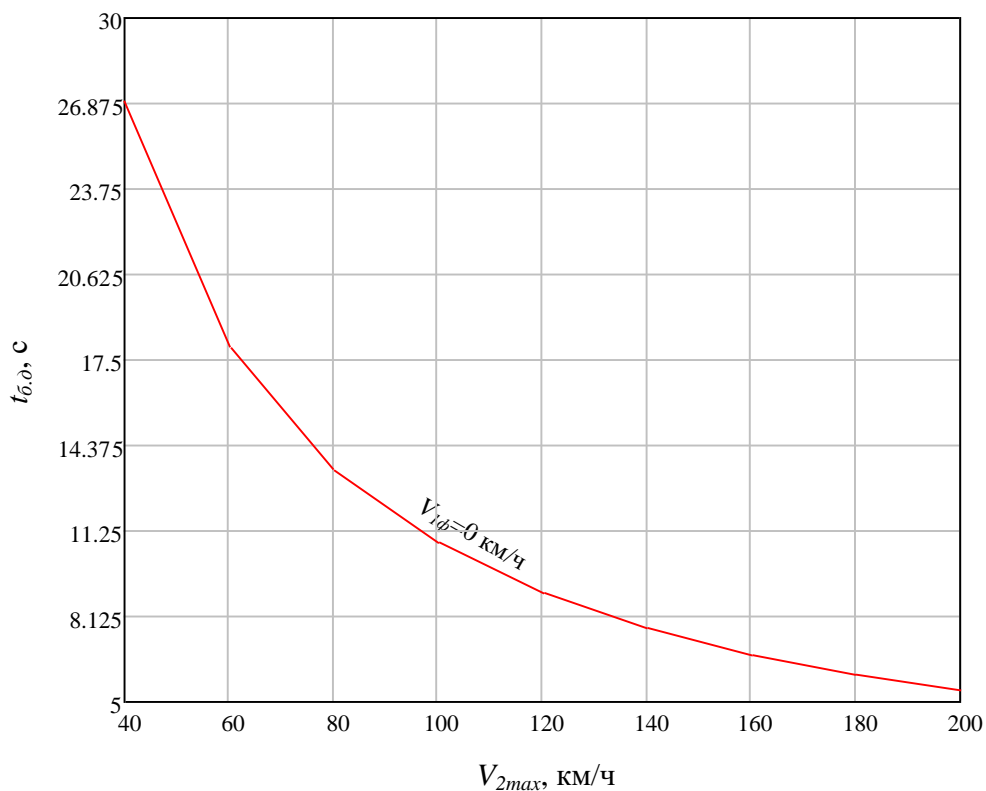


Рисунок 3.6 – Результаты моделирования максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи по критерию обеспечения безопасности движения пассажирских поездов

Результаты моделирования максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи как по критерию обеспечения безопасности движения поездов, так и по критерию снижения пропускной способности движения поездов, справедливы

для случая отсутствия радиосвязи с поездом 2. Так как в случае отсутствия радиосвязи с поездом 2 полагаем, что данный поезд движется с максимально допустимой скоростью  $V_{2max}$ .

Разработанные модели (2.17) и (2.18) можно использовать для определения текущего времени отсутствия радиосвязи между движущимися поездами по известным фактическим скоростям поезда 1 ( $V_{1ф}$ ) и поезда 2 ( $V_{2ф}$ ), а также по известным координатам поездов (определяются системой позиционирования).

Проведенный анализ результатов моделирования, как для грузовых, так и для пассажирских поездов, показал, что учет максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи по критерию снижения пропускной способности, позволит поезду 2 за время отсутствия радиосвязи (зоны не прохождения радиосигналов) продолжать движение с фактической скоростью  $V_{1ф}$ , которая может достигать максимально допустимую скорость  $V_{2max}$  для данного участка.

Проведенный анализ результатов моделирования показал, что для реализации критерия обеспечения безопасности движения как грузовых, так и пассажирских поездов, максимально допустимое время отсутствия радиосвязи  $t_{б.д.}$  должно составлять время, за которое поезд 2 пройдет расстояние в 300 метров ( $S_{запас}$ ) на максимально допустимой скорости  $V_{2max}$  для данного участка.

В условиях интенсивного движения, при соблюдении минимального межпоездного интервала следования поездов  $L_{и min}$ , в случае кратковременного отсутствия радиосвязи в системе ИРДП между ЦРБ и движущимися поездами, учет значения максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи, позволит полностью исключить вероятность опасного сближения поездов (реализовать критерий обеспечения безопасности движения поездов), а также соблюдать допустимый скоростной режим движения поездов (реализовать критерий снижения пропускной способности движения поездов).

### 3.3 Оценка адекватности модели максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи

Согласно теории моделирования под адекватностью модели понимают соответствие результатов, полученных на модели, поведению реального объекта [97].

Существуют два основных подхода к оценке адекватности математической модели:

- по средним значениям откликов математической модели и реальной системы;
- по дисперсиям отклонений откликов математической модели от среднего значения откликов реальной системы.

Первый подход к оценке адекватности математической модели основан на проверке гипотезы о близости средних значений каждой  $n$ -й компоненты откликов математической модели  $Y_n$  известным средним значениям  $n$ -й компоненты откликов реальной системы.

Второй подход к оценке адекватности математической модели основан на сравнении дисперсий, которое проводят с помощью критерия Фишера, критерия согласия  $\chi^2$ , критерия Колмогорова-Смирнова, критерия Кохрена.

Критерий Фишера (F-критерий) является статистическим критерием. Статистика критерия Фишера при выполнении нулевой гипотезы имеет распределение Фишера. С помощью критерия Фишера проводят проверку гипотезы о согласованности.

Критерий согласия  $\chi^2$  (критерий согласия Пирсона) является непараметрическим методом. Критерий согласия  $\chi^2$  позволяет оценить значимость различий между фактическим количеством откликов или качественных характеристик выборки, попадающих в каждую категорию и теоретическим количеством откликов, которое можно ожидать в изучаемых группах откликов реальной системы при справедливости нулевой гипотезы. Критерий согласия  $\chi^2$  актуален при больших выборках компонент откликов  $n > 100$ .

Критерий согласия Колмогорова-Смирнова является непараметрическим критерием. Критерий согласия Колмогорова-Смирнова предназначен для проверки гипотезы о принадлежности выборки откликов некоторому закону распределения. По критерию согласия Колмогорова-Смирнова осуществляется проверка того, что полученное в результате эксперимента распределение откликов соответствует предполагаемой математической модели. Критерий согласия Колмогорова-Смирнова обычно применяют при малых выборках, когда известны средняя и дисперсия совокупности.

Критерий Кохрена (G-критерий) используют при сравнении трех и более выборок откликов одинакового объема  $n$ .

Для проверки разработанной модели максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи на адекватность, необходимо сравнить скоростной режим движения грузовых и пассажирских поездов реальной системы ИРДП и оптимизированной системы ИРДП, в случае отсутствия радиосвязи между ЦРБ и движущимися поездами. Поскольку модель максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи по критерию обеспечения движения поездов разработана для наихудших условий и отвечает за безопасность движения поездов, оценку адекватности будем проводить для этой модели.

Зависимости скоростного режима движения грузовых поездов реальной и оптимизированной систем ИРДП представлены на рисунке 3.7.

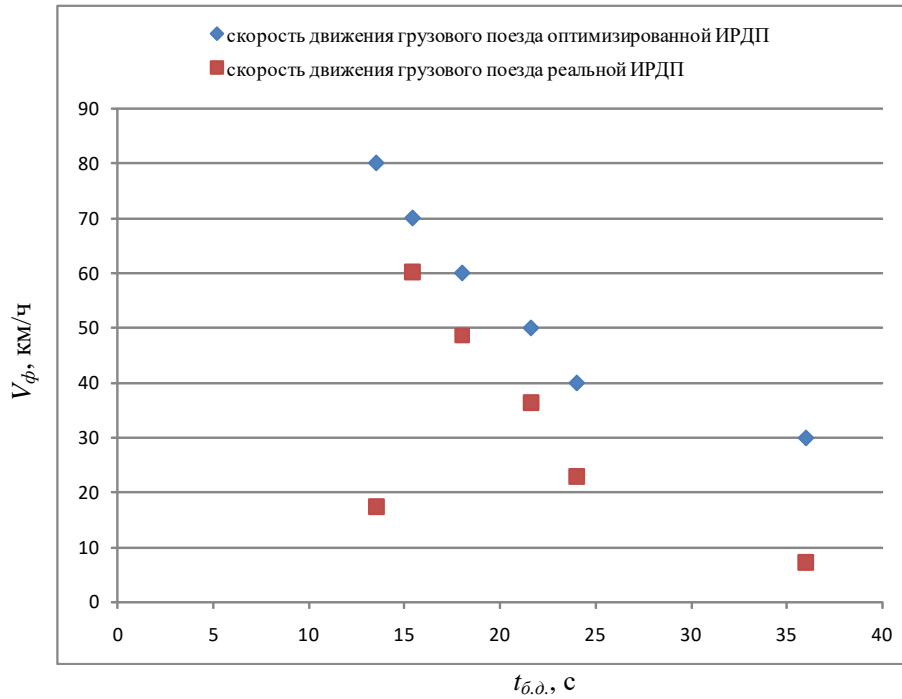


Рисунок 3.7 – Зависимости скоростного режима движения грузовых поездов реальной и оптимизированной систем ИРДП

Оценку адекватности полученной зависимости проведем на основе критерия Фишера [98]. Критерий Фишера применяется для проверки равенства дисперсий двух выборок. Критерий Фишера относят к критериям рассеяния. При проверке гипотезы положения, то есть гипотезы о равенстве средних значений в двух выборках, имеет смысл проверить гипотезу о равенстве дисперсий. Если гипотеза о равенстве дисперсий верна, то для сравнения средних можно воспользоваться более мощным критерием.

Пусть имеются две независимые выборки скоростей движения поездов (Рисунок 3.7): оптимизированной системы ИРДП  $x_1, \dots, x_{n1}$  и реальной системы ИРДП  $y_1, \dots, y_{n2}$  имеющие нормальное распределение с параметрами  $(a_x, \sigma_x^2)$  и  $(a_y, \sigma_y^2)$ . При этом  $n_1 = n_2 = 6$ . Необходимо проверить гипотезу равенства дисперсий  $\sigma_x^2$  и  $\sigma_y^2$  опираясь на их выборочные оценки при доверительной вероятности  $p = 0,95$ .

В качестве основной гипотезы  $H_0$  рассмотрим гипотезу видов:  $\sigma_x^2 = \sigma_y^2$ , в качестве альтернативной рассмотрим гипотезу  $H_1$  видов  $\sigma_x^2 \neq \sigma_y^2$ . Поскольку средние неизвестны, то наилучшими оценками дисперсий являются [99].

$$S_x^2 = \frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x})^2 \text{ и } S_y^2 = \frac{1}{n_2 - 1} \sum_{i=1}^{n_2} (y_i - \bar{y})^2. \quad (3.13)$$

Исходя из теоремы Фишера, случайные величины  $S_x^2$  и  $S_y^2$  не зависят от средних, и если справедлива нулевая гипотеза  $H_0: \sigma_x^2 = \sigma_y^2$ , то случайные величины  $\frac{(n_1 - 1) S_x^2}{\sigma^2}$  и  $\frac{(n_2 - 1) S_y^2}{\sigma^2}$  имеют распределение  $\chi^2$  с  $n_1 - 1$  и  $n_2 - 1$  степенями свободы соответственно. В этом случае статистика

$$F = \frac{S_x^2}{S_y^2}, \quad (3.14)$$

не зависит от параметров нормального распределения, а имеет распределение Фишера с  $n = n_1 - 1$  и  $m = n_2 - 1$  степенями свободы. Если дисперсии равны, то отношение их оценок должно быть близким к единице. Критерий можно сформулировать следующим образом: гипотеза  $H_0$  отвергается, если  $F < C_1$  или  $F > C_2$ , где  $C_1 < 1 < C_2$ . В этом случае задача сводится к нахождению констант  $C_1$  и  $C_2$ . По заданному уровню значимости  $\alpha$ , а также числу степеней свободы по таблицам распределения Фишера находят квантиль  $F_{1-\alpha}(n, m)$ . Для  $\alpha$ -квантилей Фишера справедливо соотношение

$$F_\alpha(n, m) = \frac{1}{F_{1-\alpha}(n, m)}. \quad (3.15)$$

Тогда алгоритм проверки гипотезы будет иметь вид:

$$F = \frac{S_{\max}^2}{S_{\min}^2}. \quad (3.16)$$

Обозначим через  $n_{\min}$  объем выборки с меньшей выборочной дисперсией и через  $n_{\max}$  с большей выборочной дисперсией. По таблице для распределения Фишера находится критическая точка с уровнем значимости  $\alpha/2$  и числами степеней свободы  $n_{\min} - 1$  и  $n_{\max} - 1$ . Если  $F < F_{кр}$ , то основная гипотеза принимается, а в противном случае отвергается.

С использованием зависимости скоростного режима движения грузовых поездов реальной и оптимизированной систем ИРДП, рассчитаны дисперсии адекватности для полученных данных. Имеем арифметические средние:

$$\overline{V_{ep}^o} = 55; \overline{V_{ep}^p} = 41$$

Дисперсия будет равна:

$$S_x^2 = \frac{1}{6-1} \sum_{i=1}^6 (V_{epi}^o - \overline{V_{ep}^o})^2 = 350; \quad S_y^2 = \frac{1}{6-1} \sum_{i=1}^6 (V_{epi}^p - \overline{V_{ep}^p})^2 = 569,5$$

Найдем значение критерия Фишера:

$$F = \frac{S_{\max}^2}{S_{\min}^2} = \frac{569,5}{350} = 1,627.$$

Из таблиц [100] находим:

$$F_{кр}(n; m) = F_{кр}(5; 5) = 5,05$$

Так как  $F = 1,627 < F_{кр} = 5,05$  в этом случае нулевая гипотеза не отклоняется.

Критерий Фишера чувствителен к отклонениям от нормальности распределений. Для повышения устойчивости используем корректировку степеней свободы. Вместо  $n$  и  $m$  используются

$$N = d \cdot n, \quad M = d \cdot m, \quad (3.17)$$

где

$$b = (n_1 + n_2) \frac{\sum_{i=1}^{n_1} (V_{epi}^o - \overline{V_{ep}^o})^4 + \sum_{i=1}^{n_2} (V_{epi}^p - \overline{V_{ep}^p})^4}{\left[ \sum_{i=1}^{n_1} (V_{epi}^o - \overline{V_{ep}^o})^2 + \sum_{i=1}^{n_2} (V_{epi}^p - \overline{V_{ep}^p})^2 \right]^2} = 1,84$$

$$d = \left( 1 + \frac{b-3}{2} \frac{n_1+n_2-4}{n_1+n_2-b+3} \right)^{-1} = 1,54$$

Окончательно имеем

$$N = d \cdot n = 1,54 \cdot 5 = 7,7; \quad M = d \cdot m = 1,54 \cdot 5 = 7,7.$$

Рассчитаем критическое значение:

$$F_{кр}(7,7; 7,7) = 3,37.$$

Так как  $F = 1,628 < F_{кр} = 3,37$  нулевая гипотеза не отклоняется и в этом случае.

На основании расчетов делаем вывод, что разработанная модель максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи для грузовых поездов

оптимизированной системы ИРДП при уровне доверительной вероятности 0,95 адекватна реальному поведению системы ИРДП в случае отсутствия радиосвязи между ЦРБ и движущимися поездами.

Аналогично на основе критерия Фишера проведем проверку на адекватность разработанной модели максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи для пассажирских поездов. Зависимости скоростного режима движения пассажирских поездов реальной и оптимизированной систем ИРДП представлены на рисунке 3.8.

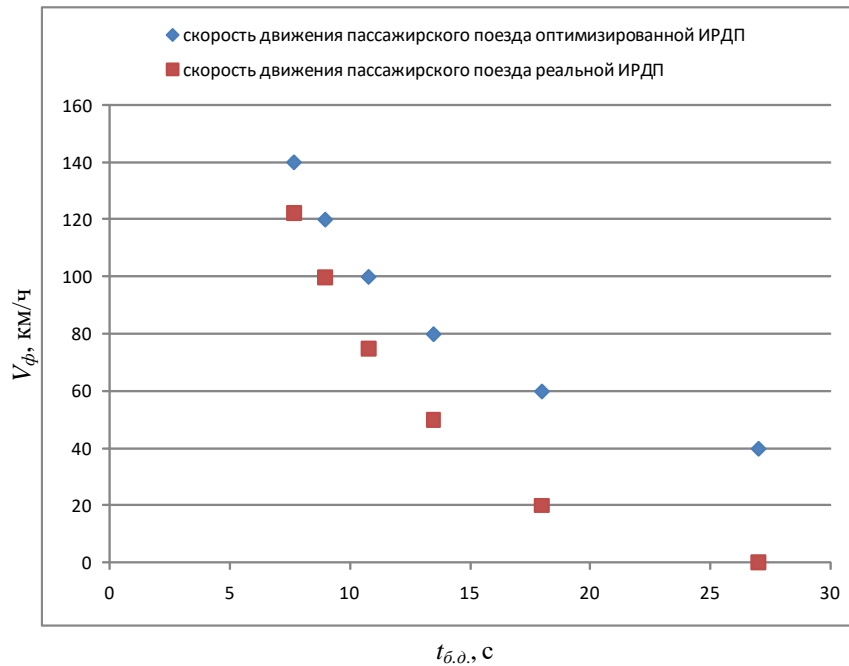


Рисунок 3.8 – Зависимости скоростного режима движения пассажирских поездов реальной и оптимизированной систем ИРДП

С использованием зависимости скоростного режима движения пассажирских поездов реальной и оптимизированной систем ИРДП, рассчитаны дисперсии адекватности для полученных данных. При этом  $n_1=n_2=6$ . Имеем арифметические средние:

$$\overline{V_n^o} = 118,8; \overline{V_n^p} = 95,2$$

Дисперсия будет равна:

$$S_x^2 = \frac{1}{9-1} \sum_{i=1}^9 (V_{ni}^o - \overline{V_n^o})^2 = 3001,6; \quad S_y^2 = \frac{1}{9-1} \sum_{i=1}^9 (V_{ni}^p - \overline{V_n^p})^2 = 4238,7$$



Найдем значение критерия Фишера:

$$F = \frac{S_{\max}^2}{S_{\min}^2} = \frac{4238,7}{3001,6} = 1,41.$$

Из таблиц [101] находим:

$$F_{кр}(n; m) = F_{кр}(8; 8) = 3,44$$

Так как  $F=1,41 < F_{кр}=3,44$  в этом случае нулевая гипотеза не отклоняется.

Критерий Фишера чувствителен к отклонениям от нормальности распределений. Для повышения устойчивости используем корректировку степеней свободы. Вместо  $n$  и  $m$  используются

$$N = d \cdot n, \quad M = d \cdot m, \quad (3.17)$$

где

$$b = (n_1 + n_2) \frac{\sum_{i=1}^{n_1} (V_{ni}^o - \bar{V}_n^o)^4 + \sum_{i=1}^{n_2} (V_{ni}^p - \bar{V}_n^p)^4}{\left[ \sum_{i=1}^{n_1} (V_{ni}^o - \bar{V}_n^o)^2 + \sum_{i=1}^{n_2} (V_{ni}^p - \bar{V}_n^p)^2 \right]^2} = 1,72$$

$$d = \left( 1 + \frac{b-3}{2} \frac{n_1+n_2-4}{n_1+n_2-b+3} \right)^{-1} = 1,86$$

Окончательно имеем

$$N = d \cdot n = 1,86 \cdot 8 = 14,88; \quad M = d \cdot m = 1,86 \cdot 8 = 14,88.$$

Рассчитаем критическое значение:

$$F_{кр}(14,88; 14,88) = 2,39.$$

Так как  $F=1,41 < F_{кр}=2,39$  нулевая гипотеза не отклоняется и в этом случае.

На основании расчетов делаем вывод, что разработанная модель максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи для пассажирских поездов оптимизированной системы ИРДП при уровне доверительной вероятности 0,95 адекватна реальному поведению системы ИРДП в случае отсутствия радиосвязи между ЦРБ и движущимися поездами.

Таким образом, проведена оценка адекватности модели максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи для грузовых и пассажирских поездов в случае отсутствия радиосвязи между ЦРБ и движущимися поездами.

### 3.4 Выводы по разделу 3

1. Для моделирования максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи произведен расчет максимального тормозного пути для грузовых и пассажирских поездов при наихудших условиях для участков железных дорог со спусками крутизной круче 10 ‰ до 15 ‰ включительно.

2. Проведено моделирование максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи по критерию обеспечения безопасности и критерию снижения пропускной способности для грузовых и пассажирских поездов с учетом минимально допустимого интервала следования поездов.

3. В условиях интенсивного движения, при соблюдении минимального межпоездного интервала следования поездов  $L_{и min}$ , в случае кратковременного отсутствия радиосвязи в системе ИРДП между ЦРБ и движущимися поездами, учет значения максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи, позволит полностью исключить вероятность опасного сближения поездов, а также соблюдать допустимый скоростной режим движения поездов.

4. Проведена оценка адекватности модели максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи по критерию обеспечения безопасности движения грузовых и пассажирских поездов на основании критерия Фишера.

5. Разработанная модель максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи по критерию обеспечения безопасности движения грузовых и пассажирских поездов оптимизированной системы ИРДП при уровне доверительной вероятности 0,95 адекватна реальному поведению системы ИРДП в случае отсутствия радиосвязи между ЦРБ и движущимися поездами.

## РАЗДЕЛ 4

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ  
ОТ ВНЕДРЕНИЯ ОПТИМИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ИНТЕРВАЛЬНОГО  
РЕГУЛИРОВАНИЯ

4.1. Эксплуатационно-технические требования к системам интервального регулирования движения поездов на базе цифрового радиоканала

Оптимизированная система ИРДП на базе цифрового радиоканала позволит перейти к технологиям управления подвижным составом на основе микропроцессорной техники, минимизировать возможность принятия ошибочных решений машинистами локомотивов, повысить эффективность и экономичность управления железнодорожным транспортом, повысить эксплуатационную надежность тягового подвижного состава.

На основании эксплуатационно-технических требований, предъявляемых к системам интервального регулирования движением поездов, можно сформулировать основные требования, предъявляемые к системам ИРДП на базе цифрового радиоканала, которым должна соответствовать оптимизированная система ИРДП.

Согласно эксплуатационно-техническим требованиям, устройства ИРДП должны обеспечивать: требуемую безопасность движения поездов; пропускную способность железнодорожных линий; способствовать уменьшению занятого в перевозочном процессе производственного персонала (при сохранении пропорций между экономическими затратами и эксплуатационно-техническими эффектами).

При определении необходимой степени безопасности движения и уровня автоматизации перевозочного процесса, который должен быть реализован системами ИРДП, необходимо учитывать такие факторы как: интенсивность движения поездов на участке; скорость движения поездов на участке; необходимую длину тормозного пути [102].

При разработке новых, или модернизации существующих аппаратных или программных средств, способных расширить функциональные возможности системы ИРДП, необходимо стремиться к выполнению ряда требований:

- унификация аппаратных и программных средств управления движением поездов, для возможности их использования всеми структурами железнодорожного транспорта, которые принимают непосредственное участие в перевозочном процессе;

- системы ИРДП (которые включают в себя станционные и перегонные устройства) должны иметь централизованное управление сигналами из единого дорожного центра управления (ЕДЦУ);

- реализуемая на базе современных микропроцессорных аппаратных и программных средств система ИРДП должна иметь централизацию управления движением поездов на уровне управления дорог (ДУ) или отделения дорог (ОУ);

- внедрение системы ИРДП на участке железной дороги должно приводить к сокращению напольного оборудования на перегонах (релейные шкафы, светофоры, дроссель-трансформаторы и т.д.);

- использование в системе ИРДП современных аппаратных и программных средств диагностики, самотестирования, дистанционного контроля, в том числе для фиксации аналоговых параметров (напряжение, ток, сопротивление изоляции, время срабатывания), а также предотказных состояний системы;

- возможности гибкой реорганизации системной функциональной структуры ИРДП, на основе реализации сезонных и суточных режимов работы на участках железных дорог, на которых возможны значительные изменения интенсивности грузопотоков и пассажиропотоков.

Системы ИРДП на базе цифрового радиоканала должны отвечать требованиям электромагнитной совместимости, иметь надежную защиту от влияний посторонних источников электроэнергии, атмосферных и коммутационных перенапряжений, других электрических и электромагнитных полей в соответствии с европейским стандартом EN 6100, а также

преднамеренных электромагнитных воздействий искусственного характера (радиоглушилки и спуферы) [103, 104].

Регулирование межпоездных интервалов попутного следования поездов и направления движения должно осуществляться стационарным оборудованием радиоблокировки (ЦРБ) на основе информации о местоположении и параметрах движения поездов, поступающей от бортовой системы безопасности поезда (БСБ), установленной на локомотивах. Местоположение поезда должно определяться на основе информации, поступающей от локомотивного одометра и системы точечной передачи данных от реперных датчиков (бализ), а в случае необходимости местоположение поезда может определяться по РЦ [105] и результатам работы счетчиков оборота осей. На основании данных от поездов, полученных по цифровому радиоканалу, ЦРБ рассчитывает величину безопасного расстояния между поездами (минимальный межпоездной интервал), на основе безопасного расстояния между поездами, а также допустимые параметры движения для каждого поезда и разрешение на движение поезда по участку.

Система ИРДП должна работать совместно с существующей микропроцессорной системой станций (МПЦ), которая осуществляет интервальное регулирование движением на станциях и управление напольными устройствами ЖАТ [106].

На основании представленных эксплуатационно-технических требований, сформулируем основные функции оптимизированной системы ИРДП на базе цифрового радиоканала:

– интервальное регулирование движения поездов должно быть реализовано в соответствии со Спецификацией системных требований ERTMS/ETCS для уровня 3 (SRS SUBSET026 v.2.3.0) на основании информации о местоположении поездов, параметров движения поездов и информации целостности составов поездов;

– обмен информацией между стационарными устройствами системы ИРДП и БСБ локомотивов должен осуществляться через сеть цифровой радиосвязи

различных стандартов, в соответствии со Спецификацией системных требований ERTMS/ETCS (SRS SUBSET-026 v.2.3.0) [107];

– система ИРДП должна иметь возможность одновременного управления в режиме полного контроля до 30 поездов, которые находятся в пределах одного железнодорожного участка;

– система ИРДП должна иметь возможность управления движением поездов посредством ДЦ с возможностью передачи на резервное управление с автоматизированного рабочего места дежурного по станции (АРМ ДСП) [108];

– система ИРДП должна иметь возможность организации интервального движения поездов с использованием принципов подвижных «виртуальных» блок-участков [109];

– управление регистрацией и дерегистрацией поездов в зоне действия системы ИРДП должно осуществляться в соответствии со Спецификацией системных требований ERTMS/ETCS (SRS SUBSET-026 v.2.3.0);

– установка и снятие временных ограничений по скорости движения поездов должно осуществляться в соответствии со Спецификацией системных требований ERTMS/ETCS (SRS SUBSET-026 v.2.3.0);

– система ИРДП должна обеспечивать движение поездов в различных режимах функционирования (нормальном и ограниченном), в случае отсутствия радиосвязи между ЦРБ и поездами;

– регистрация всех событий и действий персонала системы ИРДП на специальных защищенных электронных носителях.

На основании основных функций, которые должна реализовывать оптимизированная система ИРДП, рассмотрим ее основные поездные компоненты:

– БСБ поезда, с помощью которой осуществляется управление поездом. БСБ должна быть установлена на каждом поезде. БСБ должна отвечать всем требованиям безопасности движения поездов, осуществлять связанную с ЦРБ координацию движения поездов в пределах железнодорожного участка, а также осуществлять расчеты необходимые для движения поездов [110];

– интерфейс машиниста, который состоит из средства отображения сигнальных показаний, звуковых сигнализаторов и средства ввода данных (для запуска системы, отмены сигнала остановки, ввода сведений о тормозных свойствах поезда). На пульте машиниста должно отображаться расстояние до места смены скоростного ограничения, максимально допустимая, текущая разрешенная и фактическая скорости движения поезда;

– модуль поездного интерфейса для взаимодействия с поездным оборудованием (с тормозной системой);

– антенны для связи с напольными системами (радиостанциями, приемопередатчиками и кабельными шлейфами);

– устройства измерения пройденного пути и скорости (одометр, счетчик оборота осей, доплеровский радар и др.);

– регистратор, который должен фиксировать события, а также информацию о нештатных ситуациях.

В число основных компонентов напольного оборудования оптимизированной системы ИРДП входят [111] приемопередатчики (бализы), они служат для точечной передачи данных. Приемопередатчики могут быть установлены по отдельности или группами, могут быть с неизменяемой информацией (работающие автономно) или управляемые, связанные через напольный электронный модуль с другими устройствами ЖАТ (светофорами).

ЦРБ должен выполнять функции распорядительного поста ИРДП. ЦРБ осуществляет управление путевыми устройствами оптимизированной системы ИРДП, хранение неизменных данных участка железной дороги, получение текущих данных с постов ЭЦ и ДЦ, выдачу на БСБ поездов разрешения на движение и профиля участка пути и др. ЦРБ должен обмениваться информацией с поездами посредством сети цифровой радиосвязи различных стандартов.

Определение местоположения поездов должно осуществляться методами спутниковой навигации (ГЛОНАСС/GPS) и корректировки данных точечными приемопередатчиками (бализами). Информация о местоположении поезда должна отображаться как координата точки, на траектории движения поезда [112]. Расчет

пройденного пути ведется относительно позиции установки приемоответчика (бализы), который поезд проследовал последним. При определении местоположения поезда необходимо учитывать погрешность измерений, что в свою очередь требует расчета доверительного интервала. В оптимизированной системе ИРДП полученный доверительный интервал является «узким», (но отличным от нуля), располагается непосредственно за приемоответчиком и линейно растет по мере удаления от него из-за погрешностей измерения пройденного пути. При проезде следующего приемоответчика или группы приемоответчиков сведения о местоположении поезда корректируются.

В качестве сведений о местоположении поезда в оптимизированной системе ИРДП могут быть следующие:

- предполагаемое местоположение поезда на участке;
- максимально удаленная позиция «головы» поезда;
- минимально удаленная позиция «головы» поезда;
- максимально удаленная позиция «хвоста» поезда;
- минимально удаленная позиция конца «хвоста» поезда.

Поезда периодически или при определенных событиях извещают ЦРБ о своем местоположении, доверительном интервале, скорости движения и направлении следования.

Разрешение на движение поезда по участку заданной длины передается через приемоответчики либо по цифровым радиоканалам от ЦРБ на основании запроса от БСБ поезда. Разрешение на движение поезда состоит из нескольких частей, которые соответствуют числу впередилежащих «виртуальных» блок-участков, для каждого из которых устанавливается предельный срок действия разрешения. Другие временные параметры радиоблокировки могут быть определены для конечного «виртуального» блок-участка и защитного участка за ним. Каждое разрешение на движение действует до тех пор, пока на поезд не поступит новое разрешение или не истечет время радиоблокировки (тайм-аут).

В оптимизированной системе ИРДП можно выделить две цели, для достижения которых задается срок действия разрешений:



1) согласование разрешений на движение поезда со временем разделки последней секции маршрута на «виртуальные» блок-участки и защитные участки (если поезд останавливается в конце маршрута);

2) согласование с существующими системами ЭЦ и ДЦ, в которых возможна отмена маршрута с выдержкой времени, достаточной для остановки поезда перед запрещающим сигналом светофора. Конец маршрута движения по разрешению представляет собой координату, за которую не должна заходить «голова» поезда в случае максимальной ошибки при измерении пройденного пути (соответствует местоположению запрещающего сигнала светофора). За данной координатой располагается конечная точка зоны контроля, которая рассчитывается как точка прицеливания при экстренном торможении поезда. Точка прицеливания является концом защитного участка, если он является;

– точкой опасности (предельный столбик стрелки), если нет определенного защитного участка (он не был установлен);

– концом маршрута движения поезда по разрешению, если ни конец защитного участка, ни точка опасности неприменимы.

Каждое разрешение на движение поезда заменяется новым разрешением, которое передается на поезд при достижении им заданной точки прицеливания и продлевает действие предыдущего разрешения [113].

Выданное разрешение на движение может быть отменено в случаях:

– если потребовалось разомкнуть установленный ранее маршрут движения поезда. В этом случае ЦРБ отправляет на поезд разрешение с местом новой точки прицеливания, а оборудование БСБ проверяет, может ли поезд с учетом самых неблагоприятных условий остановиться у данной точки прицеливания и принимает или отвергает это разрешение;

– в опасных ситуациях для экстренной остановки. В этом случае применяют команды двух видов: безусловная команда (при получении которой поезд должен быть немедленно остановлен с использованием экстренного торможения); условная команда (при получении которой поезд остановится только в том случае, если минимально удаленная координата «головы» поезда не достигла

указанной точки прицеливания, в противном случае поезд может игнорировать эту команду).

Различные характеристики, которые связаны с маршрутом движения поезда, должны передаваться в БСБ в виде данных о профиле пути. Данные о профиле пути должны быть структурированы в виде значений, увязанных с начальной и конечной координатами движения поезда по соответствующему железнодорожному участку.

Статический профиль скорости движения поезда должен включать в себя максимально допустимую скорость движения на участке, постоянно действующие ограничения и разрешенную скорость следования по маршруту. БСБ локомотива вычисляет кривую наименее разрешенной скорости движения поезда на данном участке пути. Данная кривая представляет собой наименьшие значения скорости согласно профилю пути, с учетом временных ограничений, конструкционной скорости поезда, а также ограничений, связанных с эксплуатационным режимом используемым на данном железнодорожном участке [114].

Профиль участка пути определяет уклон пути и необходим БСБ локомотива для расчета динамической кривой скорости при торможении. В целях безопасности, для каждого отрезка пути выбирается минимальное из имеющихся значений уклона и подъема. Профиль состояния пути содержит специфическую информацию об особенностях электрической тяги, плотности воздуха (для работы систем кондиционирования пассажирских вагонов), наличии тоннелей и мостов, (где запрещена остановка), наличии зона не прохождения радиосигналов (зоны радиомолчания) и др. Профиль пригодности маршрута движения поезда определяет критерии, которым поезд должен соответствовать, чтобы въехать на заданный участок пути (осевую нагрузку, вид тяги и т.д.).

Определение фактической скорости поезда должно осуществляться с помощью датчиков пути и датчиков скорости, а также методов спутниковой навигации (ГЛОНАСС/GPS).

Для движения поезда с заданной скоростью, должны быть определены:

- разрешенная скорость, отображается на дисплее машиниста и не должна превышать;

- при достижении фактической скорости движения поезда, значения кривой скорости предупреждения, звучит акустический сигнал привлечения внимания машиниста локомотива;

- при превышении фактической скорости движения поезда, значения условной скорости служебного торможения, автоматически включается служебное торможение поезда, с учетом времени реакции тормозной системы на эту команду торможение должно произойти в пределах заданной кривой скорости;

- при превышении фактической скорости движения поезда, значения условной скорости экстренного торможения, автоматически включается экстренное торможение поезда (зависит от текущего значения разрешенной скорости движения поезда).

Условная скорость служебного торможения и скорость предупреждения должны быть рассчитаны так, чтобы машинист локомотива успел среагировать на полученную команду и исключить движение поезда со скоростью, при которой включается экстренное торможение (с учетом времени реакции тормозной системы). Поскольку экстренное торможение влечет за собой значительные негативные последствия, такие как: значительные нагрузки на подвижной состав; последствия ударных механических воздействий; возможность травмирования пассажиров. После применения экстренного торможения машинист локомотива обязан написать рапорт с объяснением причин. При торможении дополнительно используется кривая предупредительной разрешенной скорости, которая определяет момент выдачи машинисту информации о предстоящем снижении скорости.

После автоматического срабатывания тормозной системы [115] следование поезда по маршруту может быть продолжено после полной остановки поезда и ввода машинистом особой команды. При включении торможения из-за

превышения скорости, тормоза могут быть отпущены после снижения скорости поезда до безопасного значения.

Эксплуатационные режимы функционирования оптимизированной системы ИРДП определяют методы управления поездом. Эксплуатационные режимы функционирования можно разделить на шесть групп:

1) режимы штатной работы оборудования БСБ локомотива под контролем системы ИРДП;

2) режим ограниченной функциональности БСБ локомотива, при котором ответственность за безопасность движения поезда передается машинисту, данный режим используется для управления поездом при отсутствии разрешения на движение;

3) режимы для предотвращения опасностей в критических ситуациях;

4) режимы, связанные с управлением локомотивами при двойной тяге;

5) режимы для движения на линиях, не оборудованных системой ИРДП;

6) автономные режимы и режимы нештатной работы БСБ локомотива.

На основании вышеизложенного, в различных режимах функционирования, оптимизированная система ИРДП на базе цифрового радиоканала должна реализовывать следующие функции:

– передачу на БСБ локомотива информации о профиле пути и допустимой скорости движения поезда;

– контроль положения поезда на перегоне;

– расчет безопасных межпоездных интервалов попутного следования поездов;

– наличие между следующими друг за другом поездами безопасного межпоездного интервала, достаточного для остановки машинистом локомотива с применением служебного торможения поезда на расстоянии не менее 300 метров от «хвостового» вагона внезапно остановившегося впереди идущего поезда;

– передачу на БСБ локомотива сигналов от стационарных устройств ЖАТ;

– на основе информации, получаемой от БСБ локомотива о местонахождении поезда, целостности его состава и информации, находящейся в

постоянной базе данных участка (электронной карте), передачу на БСБ информации о допустимой скорости движения поезда, включая временные и постоянные ограничения скорости и другую информацию, необходимую для организации безопасного движения по перегонам и отдельным пунктам;

- передачу на БСБ локомотива команды от поездного диспетчера (ДНЦ) или дежурного по станции (ДСП), разрешающей проследование входного, выходного или маршрутного светофора с запрещающим показанием;

- передачу на БСБ локомотива команды ДНЦ или ДСП на принудительную остановку поезда и команды на её отмену [116];

- авторизированный доступ к программному обеспечению, аппаратным средствам, органам управления и каналам связи;

- передачу в МПЦ станции сообщения о приближении поезда к станции не менее чем за 50 с;

- передачу в МПЦ станции статуса «виртуального» участка приближения/удаления длиной 50м для выполнения условий размыкания секций маршрута;

- передачу в МПЦ станции информации о занятости перегона необорудованным БСБ поездом.

БСБ локомотива в составе оптимизированной системы ИРДП должна реализовывать следующие функции:

- выдачу на бортовой дисплей локомотива информации о допустимых параметрах движения поезда;

- контроль фактической скорости движения поезда;

- генерацию управляющих команд для воздействия на систему торможения локомотива [117];

- непрерывное сравнение фактической и допустимой скоростей движения поезда и автоматическое не отменяемое экстренное торможение поезда (при превышении допустимой скорости движения и отсутствии реакции машиниста по её снижению в заданных пределах, в течение расчётного периода времени);

- прием сигналов от стационарных устройств ЖАТ;

- непрерывный прием информации, разрешающей движение поезда с допустимой для данных конкретных условий скоростью движения;
- возможность движения поезда по последним полученным допустимым параметрам движения, в случае потери радиосвязи по цифровому радиоканалу с ЦРБ;
- экстренное торможение поезда в случае отказа БСБ локомотива [118];
- информирование машиниста локомотива о расстоянии до места остановки (закрытого маршрутного или выходного светофора) и допустимой скорости движения поезда;
- прием информации о временных ограничениях скорости и реализацию на основе полученной информации требуемого скоростного режима движения поезда;
- ввод с пульта машиниста локомотива необходимой информации о поезде, в соответствии с требованиями по эксплуатации оптимизированной системы ИРДП;
- индикацию неисправностей БСБ локомотива и передачу данной информации в ЦРБ;
- оповещение машиниста локомотива, в случае нарушения контроля целостности состава поезда;
- запись информации о параметрах движения поезда и командах управления на защищенный электронный носитель, с последующей возможностью её расшифровки;
- контроль включения и исправного состояния канала цифровой радиосвязи различных стандартов;
- запись информации о диагностике БСБ локомотива в бортовом регистраторе и вывод информации на дисплей машиниста локомотива [119].

Поскольку функционирование оптимизированной системы ИРДП должно соответствовать эксплуатационно-техническим требованиям, предъявляемым к системам ИРДП необходимо рассмотреть инфраструктуру системы ИРДП на базе цифрового радиоканала.

## 4.2 Инфраструктура системы интервального регулирования движения поездов на базе цифрового радиоканала

Для разработки программной реализации функционирования оптимизированной системы ИРДП, необходимо рассмотреть инфраструктуру ИРДП, а также взаимодействие оборудования ЦРБ и оборудования бортового процессорного устройства поезда (БПУ) с другими подсистемами ИРДП. Инфраструктура системы ИРДП представлена на рисунке 4.1.

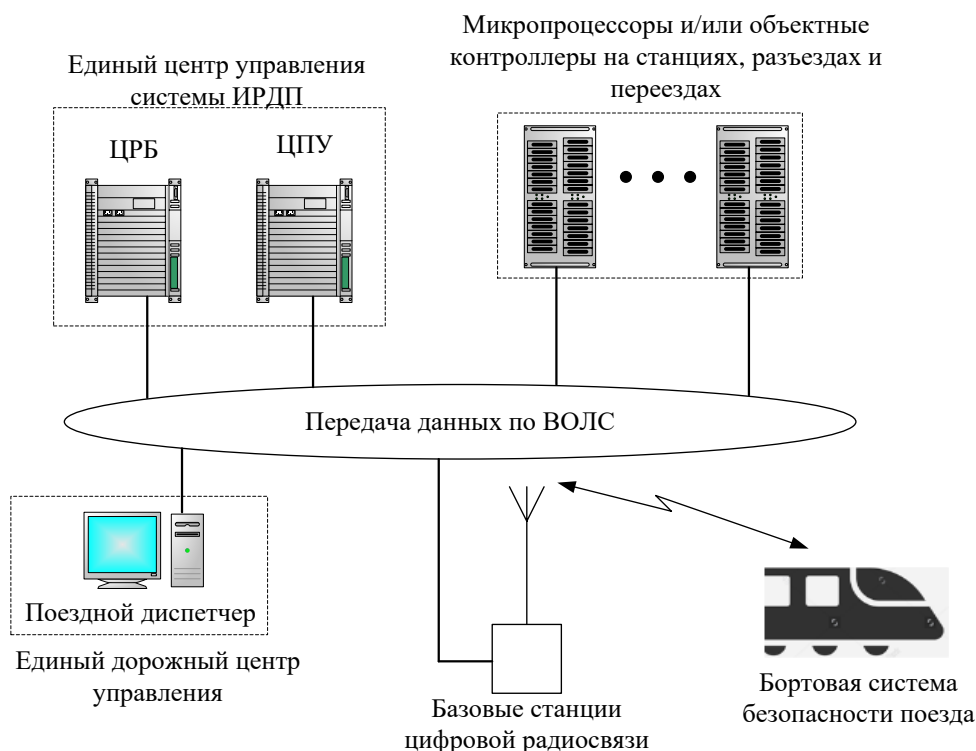


Рисунок 4.1 – Инфраструктура системы ИРДП

В состав единого центра управления системы ИРДП входят: центральное процессорное устройство (ЦПУ); оборудование ЦРБ; радиокommunikационное оборудование; контроллер базовой станции [120].

ЦПУ осуществляет управление оборудованием ЦРБ, а также микропроцессорами или объектными контроллерами, установленными на станциях. Для обеспечения условия надежности в ЦПУ применяется принцип дублирования с диверсификацией программного обеспечения. Оборудование ЦПУ состоит из двух идентичных полукомплектов, каждый из которых имеет

независимое электропитание и сетевое подключение к сети волоконно-оптических линий связи (ВОЛС). Один полукомплект осуществляет функции управления, второй находится в режиме «горячего резерва», при этом обрабатывая ту же самую информацию. В любой момент времени резервный полукомплект способен взять на себя функции управления системой ИРДП. Оборудование ЦПУ имеет встроенную систему диагностики аппаратных средств единого центра управления системой ИРДП, а также микропроцессорами или объектными контроллерами, на станциях.

Оборудование ЦРБ осуществляет:

- регистрацию или де-регистрацию поездов, которые находятся в пределах участка управления системой ИРДП;
- определение параметров движения поездов;
- установку или отмену временных ограничений по скорости;
- управление передачей данных по цифровому радиоканалу различных стандартов;
- контроль радиосвязи с поездами;
- выполнение самодиагностики;
- запись и хранение временных ограничений по скорости.

Контроллер базовой станции это сетевой элемент, который является ядром подсистемы цифровой радиосети различных стандартов. Функции, которые выполняет контроллер базовой станции [121]:

- переключение и освобождение каналов между коммутатором мобильной сети связи (КМС) и БС;
- уведомление мобильной станции (МС) о поступившем вызове;
- управление уровнями излучаемой мощности МС и БС при изменении условий приема радиосигнала;
- наблюдение за качественными характеристиками радиосигнала (уровни приема, интерференция и т.д.);



- управление эстафетной передачей радиосигнала от одной БС к другой при перемещении поезда, либо при изменении радиообстановки на участке железной дороги;

- обслуживание БС, контроллера БС, установка и обновление программного обеспечения на элементы системы БС, мониторинг и устранение аварийных ситуаций, изменение логического состояния элементов, тестирование оборудования системы БС;

- поддержка интерфейсов для системы управления сетью, БС, а также узла обслуживания абонентов GPRS (реализация всех функций обработки пакетной информации).

Как было отмечено в разделе 1, в качестве сети цифровой радиосвязи в системе ИРДП могут быть использованы такие стандарты как TETRA, GSM-R и DMR. При этом DMR в большей степени удовлетворяет требованиям, предъявляемым к системам ИРДП на базе цифрового радиоканала, таким как: время установления соединения; максимальная скорость передачи информации; частотная эффективность; наличие некоторых дополнительных сетевых функций.

Процесс передачи данных между БСБ и ЕДЦУ при помощи цифровой радиосвязи, дополнительно требует мероприятий по защите информации от несанкционированного доступа. В качестве способа защиты информации, передаваемой по каналам цифровой радиосвязи, оптимизированной системы ИРДП, предлагается создание защищенной виртуальной цифровой радиосети (Virtual Private Network, VPN).

Виртуальный цифровой радиоканал должен быть создан поверх реального физического цифрового радиоканала. Виртуальный цифровой радиоканал позволяет обеспечивать: шифрование данных; контроль целостности данных; аутентификацию источника данных. Одним из главных преимуществ технологии VPN является простота построения цифровой радиосети, поскольку можно использовать только программные решения для повышения скорости криптографических операций, без установки дополнительного оборудования как в ЕДЦУ, так и в БСБ локомотивов.

Подсистема обеспечения безопасности цифровой радиосети должна основываться на применении технологий контроля и защиты сетевого доступа 802.1х. Проверка подлинности сетевого доступа IEEE 802.1х представляет собой механизм контроля доступа на основе портов, который можно настроить на выполнение взаимной проверки подлинности между оборудованием БСБ локомотивов и оборудованием ЕДЦУ. После реализации такой настройки любое радиопередающее оборудование, которому не удалось пройти проверку подлинности, не сможет участвовать в передаче речи или передаче данных в цифровой радиосети.

Помимо генерации и распределения динамических ключей шифрования, стандартом IEEE 802.1х предусмотрено регулярное изменение сеансовых ключей и мониторинг сетевого доступа. Согласно стандарту IEEE 802.1х управление доступом осуществляется на основе идентификаторов (user name) и паролей пользователей или их цифровых сертификатов. При этом средства IEEE 802.1х совместимы с существующими системами аутентификации, которые на данный момент применяются на железнодорожном транспорте.

Оборудование БСБ поезда по цифровому радиоканалу передает в ЦРБ следующую информацию:

- параметры движения поезда;
- информацию о профиле пути;
- команду экстренного торможения (в случае необходимости);
- установку или отмену временных ограничений по скорости;
- различные служебные текстовые сообщения.

Оборудование ЦРБ передает на автоматизированное рабочее место поездного диспетчера (АРМ ДНЦ), которое расположено в едином дорожном центре управления (ЕДЦУ) следующую информацию [122]:

- информацию о поездах, которые находятся на железнодорожном участке;
- положения поездов в пределах железнодорожного участка;
- параметры движения поездов;
- статус оборудования ЦРБ;

– служебные сообщения.

На основании полученной информации АРМ ДНЦ [123] передает оборудованию ЦРБ команды управления и временные ограничения по скорости.

Оборудование ЦРБ передает ЦПУ информацию о поездах и статус ЦРБ, взамен получает информацию о маршрутах, а также информацию об экстренных событиях в системе ИРДП. Взаимодействие оборудования ЦРБ с другими подсистемами ИРДП представлено на рисунке 4.2.



Рисунок 4.2 – Взаимодействие оборудования ЦРБ с другими подсистемами ИРДП

Микропроцессоры или объектные контроллеры на станциях, разъездах и переездах обеспечивают контроль и управление напольными устройствами ЖАТ, такие как светофоры, стрелки, переезды, РЦ, система счета осей и др. Микропроцессоры или объектные контроллеры оснащены встроенными средствами диагностики, с помощью которых можно быстро обнаружить сбой в работе, а также неисправности напольного оборудования ЖАТ. Один микропроцессор или объектный контроллер может управлять несколькими напольными устройствами ЖАТ. Микропроцессоры или объектные контроллеры могут быть установлены централизованно или децентрализованно. При централизованном размещении их устанавливают в помещении с центральным процессором. При децентрализованном размещении их устанавливают в

непосредственной близости от управляемых напольных устройств ЖАТ. Децентрализованное размещение позволяет экономить сигнально-блокировочный кабель, что в свою очередь позволяет снизить влияние внешних электромагнитных полей, которые способны индуцировать наведенные токи, способные вызвать помехи в работе сигнальных устройств ЖАТ [124].

Обмен информацией между микропроцессорами или объектными контроллерами с ЦПУ организован с помощью технологии локальных вычислительных сетей Ethernet (10 Base-F, 100 Base-FX), а также с помощью протокола UDP/IP [125].

Объектные контроллеры изготавливают в виде печатных плат на основе технологии многослойного монтажа (6 слоев) [126]. Это позволяет монтировать системы объектных контроллеров в специализированных шкафах ЖАТ. В одном шкафу можно разместить до 16 объектных контроллеров разных типов. Внешний вид печатных плат объектных контроллеров представлен на рисунке 4.3.

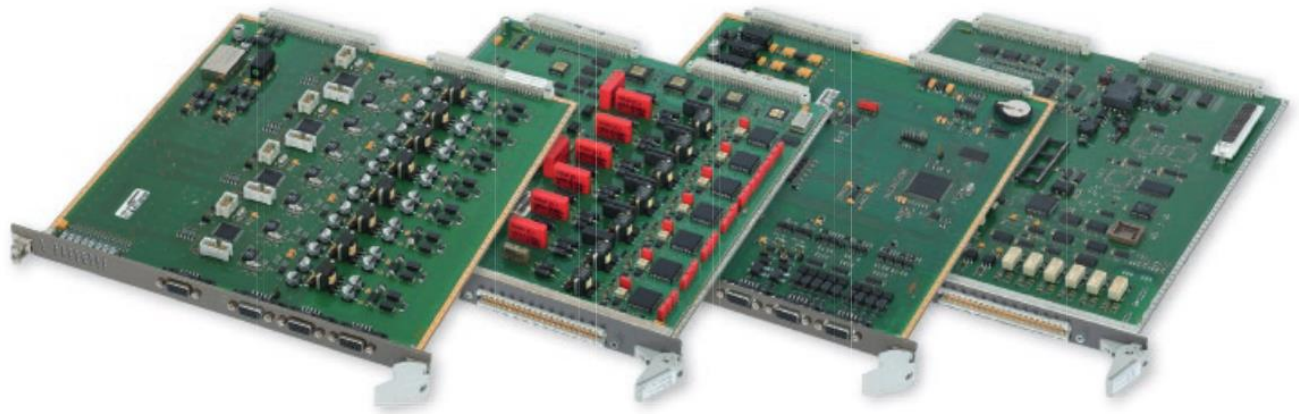


Рисунок 4.3 – Печатные платы объектных контроллеров

Стойка со смонтированным оборудованием ЦРБ представлена на рисунке 4.4.

Структурная схема БСБ поезда, а также взаимодействие оборудования БПУ с другими подсистемами ИРДП представлены на рисунках 4.5 и 4.6.



Рисунок 4.4 – Стойка с оборудованием ЦРБ

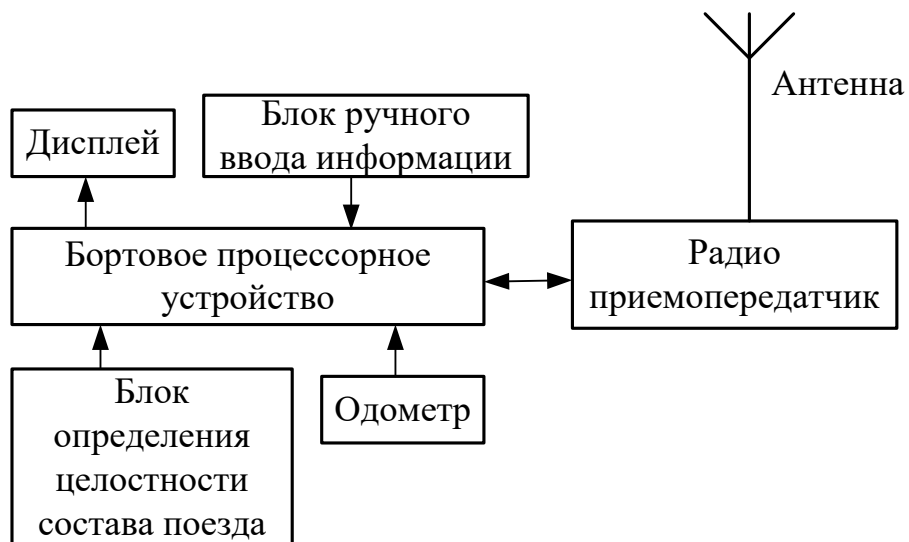


Рисунок 4.5 – Структурная схема БСБ поезда

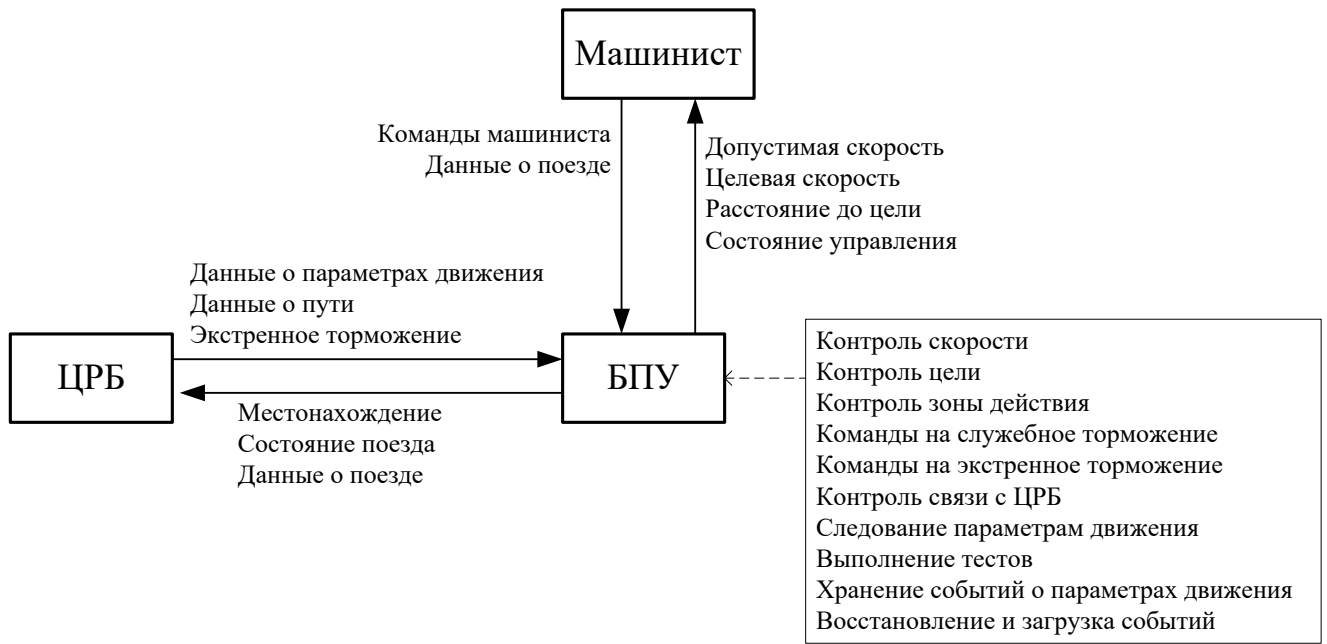


Рисунок 4.6 – Взаимодействие оборудования БПУ с другими подсистемами ИРДП

Оборудование БПУ выполняет следующие задачи:

- контроль скорости поезда;
- контроль точки прицельного торможения поезда;
- контроль зоны действия временных ограничений по скорости;
- выработку команд на служебное торможение поезда;
- выработку команд на экстренное торможение поезда;
- контроль связи поезда с оборудованием ЦРБ;
- следование параметрам движения поезда;
- выполнение диагностических тестов;
- хранение событий о параметрах движения поезда;
- восстановление и загрузку событий [127].

В процессе движения оборудование БПУ измеряет с помощью одометра скорость движения поезда и пройденный путь, а также контролирует текущую скорость поезда и данные о разрешенной скорости движения поезда на этом участке.

Блок определения целостности состава поезда контролирует целостность всего состава вагонов поезда с помощью контроля давления в тормозной

магистрали. Основными причинами падения давления в тормозной магистрали поезда являются:

- разъединение тормозных рукавов или другое нарушение целостности тормозной магистрали в составе поезда;
- обрыв (самоотцеп) автосцепных устройств вагонов;
- сход вагонов с рельсов с нарушением целостности тормозной магистрали.

С помощью блока определения целостности состава оборудование БПУ контролирует целостность состава поезда и передает по цифровому радиоканалу координаты мест, которые занимают «голова» поезда (локомотив) и «хвост» (последний вагон) всего состава [128].

Одометр представляет собой прибор для измерения количества оборотов колесной пары локомотива. С помощью одометра можно измерить скорость движения поезда, а также пройденный путь. Одометр преобразует пройденный путь поезда в показания на индикаторе [129]. Одометр локомотива состоит из счетчика оборота колесной пары локомотива и датчика, связанного с вращением колесной пары.

Угловая скорость колесной пары локомотива  $\omega$  определяется по формуле, рад/с:

$$\omega = \frac{V}{R}, \quad (4.1)$$

где  $V$  – скорость локомотива, м/с;  $R$  – радиус колесной пары локомотива, м.

Угол поворота колесной пары  $\Omega$  определяется по формуле, рад:

$$\Omega = \frac{S}{2\pi R} * 2\pi = \frac{S}{R}, \quad (4.2)$$

где  $S$  – пройденный путь поездом, м;  $2\pi R$  – длина окружности колесной пары локомотива, м.

Полный пройденный путь поезда можно выразить через число оборотов колесной пары ( $n$ ) с помощью соотношения, м:

$$S = n * (2\pi R), \quad (4.3)$$

Скорость движения поезда можно определить по формуле, м/с:

$$V = dS/dt = \frac{dn}{dt} * 2\pi R , \quad (4.4)$$

Как было отмечено в разделе 2, в процессе эксплуатации колесных пар радиус колеса изменяется (уменьшается), и как следствие, возникает погрешность определения расстояния, пройденного поездом. Эта погрешность линейно возрастает по мере движения поезда по перегону, но полностью обнуляется при прохождении поезда над следующим точечным датчиком (бализой).

Бализы представляют собой автономные транспондеры (приемопередатчики), то есть автономные приемопередающие устройства с энергонезависимой памятью которые необходимы для обмена данными с подвижным составом. Бализа представляет собой техническое средство для беспроводной передачи (индуктивным способом) БСБ локомотива фиксированного пакета данных (телеграммы) который содержит следующую информацию:

- координату установки бализы на перегоне;
- уникальный номер одиночной бализы или группы бализ;
- количество бализ в группе;
- информация, определяющая направление движения поезда;
- уникальный номер страны или региона установки бализ;
- информация о цифровой радиосети, в которой может быть произведена регистрация поезда;
- информация о параметрах соединения с оборудованием ЦРБ.

Бализы могут быть двух типов: пассивными и активными. Содержание телеграммы пассивной бализы не зависит от поездной ситуации и состояния напольных устройств ЖАТ. Содержание телеграммы активной бализы зависит от состояния входного светофора (открыт или закрыт) [130]. Установленные бализы между рельсами на железнодорожном перегоне представлена на рисунке 4.7.





Рисунок 4.7 – Установленные бализы на железнодорожном перегоне

Бализы воспринимают высокочастотный сигнал от проезжающего над ними поезда, в ответ передают свои координаты, данные о пути (кривизна пути, уклон пути), постоянные или временные ограничения по скорости движения поезда. Расстояние между бализами зависит от установленной на железнодорожном перегоне скорости движения поездов и может находиться в пределах от 1 до 2,5 км.

Для передачи информации от бализы используется частотная манипуляция [131]. В качестве несущей частоты используют 4,237 МГц. Логическая единица кодируется частотой 4,516 МГц (8 периодов), а логический ноль кодируется частотой 3,951 МГц (7 периодов). Скорость передачи данных бализы может составлять 564,46 кбит/с.

Энергоснабжение бализы получают от передающих модулей подвижного состава, которые излучают сигнал с частотой 27,095 МГц. Данный сигнал индуцирует в катушке индуктивности бализы электрический ток. Считыватель для приема кодовых посылок от бализ представлен на рисунке 4.8. Считыватель устанавливается под днищем поезда на высоте 21 см над головкой рельса. Кодовая посылка с бализы на поезд поступает через 150 мкс после приема высокочастотного сигнала.



Рисунок 4.8 – Считыватель для приема кодовых комбинаций от бализ

Оборудование БПУ отображает на дисплее машиниста локомотива следующую информацию:

- допустимая скорость движения поезда;
- целевая скорость движения поезда;
- расстояние до цели;
- состояние управления.

Дисплей машиниста локомотива системы ИРДП представлен на рисунке 4.9



Рисунок 4.9 – Дисплей машиниста локомотива системы ИРДП

Представленная инфраструктура системы ИРДП на базе цифрового радиоканала, позволяет реализовать следующие технико-эксплуатационные преимущества:

- повышение пропускной способности на железнодорожном участке (за счет применения подвижных «виртуальных» блок-участков, при которых интервал попутного следования поездов на участке сокращается до 1,5 минуты);

- диспетчерское управление всем железнодорожным участком из ЕДЦУ (нет необходимости в ДСП, а также в эксплуатационном штате на разъездах, остановочных пунктах и станциях);

- повышение безопасности движения поездов (за счет устранения опасных ошибок и неправильных действий обслуживающего персонала, а также повышение безопасности при осуществлении маневров поездов);

- высокая надежность системы ИРДП (минимальная напольная инфраструктура и унифицированное оборудование, отсутствие промежуточных реле в цепях управления и контроля, реализуется нагруженное «горячее» резервирование основных функциональных узлов системы (ЦПУ), в случае выхода из строя основных средств управления система ИРДП переходит в защищенное состояние с безопасным контролем занятия и освобождения поездом участка);

- связь оборудования ЦРБ с оборудованием БПУ поездов осуществляется при помощи цифрового радиоканала различных стандартов;

- расширенная диагностика и контроль состояния системы ИРДП (возможность выявления предотказных состояний, что позволяет перейти от планового обслуживания к обслуживанию по фактическому техническому состоянию, это, обеспечивает снижение затрат на техническое обслуживание, существенное сокращение времени поиска и устранения неисправностей);

- низкая стоимость жизненного цикла и быстрая окупаемость системы ИРДП (за счет повышения пропускной способности железнодорожных участков);

- сокращение износа пути и подвижного состава (за счет применения алгоритмов плавного ведения поезда и минимизации случаев применения экстренного торможения);
- сокращение занимаемых площадей оборудованием ИРДП, энерго- и ресурсо- потребления;
- отсутствие необходимости в организации контрольно-измерительных пунктов (КИП) (микропроцессорные системы радиоблокировки, МПЦ станций и система счета осей не требуют периодических проверок и регулировок в КИП);
- снижение эксплуатационных расходов (сокращение численности обслуживающего персонала более чем на 30% от количества персонала для обслуживания традиционной АБ).

Использование системы ИРДП на базе цифрового радиоканала позволяет практически полностью отказаться от прокладки кабелей ЖАТ (сигнально-блокировочных), кабелей связи (кабелей дальней связи), установки светофоров, также оборудования РЦ на перегонах. Это позволяет значительно экономить инвестиционные средства, направленные в транспортную инфраструктуру.

Поскольку системы ИРДП на базе цифрового радиоканала предусматривают наличие ЕДЦУ это позволяет осуществлять управление работой железнодорожных станций как локально, так и дистанционно из ЕДЦУ. Дистанционное управление станциями позволяет не только изменить технологию обслуживания железнодорожных станций, но и снизить эксплуатационные расходы на станциях которые входят в состав диспетчерского участка управления.

Оптимизированная система ИРДП позволит реализовать следующие дополнительные функции:

- непрерывный контроль движения поезда в режиме реального времени;
- оптимизация процесса выполнения графика движения поездов и облегчение труда ДНЦ;
- реализация функций автодиспетчера;
- автоматизация планирования графика движения поездов;

- автоматический выбор оптимального маршрута движения, при минимизации сбоев в графике движения поездов;
- оптимизация времени подачи извещения о приближении поезда в систему автоматической переездной сигнализации АПС (минимизирует время простоя автотранспорта на переезде);
- синхронизация с системами планирования и логистики железнодорожного транспорта, позволит повысить эффективность перевозочного процесса в целом.

#### 4.3 Программная реализация функционирования оптимизированной системы интервального регулирования

Поскольку инфраструктура системы ИРДП использует в своем составе программируемые микропроцессоры и микроконтроллеры, то для реализации алгоритма функционирования оптимизированной системы ИРДП (рисунок 2.6) необходимо разработать программную реализацию данного алгоритма.

Требование высокой надежности является основным при создании программной реализации оптимизированной системы ИРДП. Программная реализация оптимизированной системы ИРДП на базе программно-управляемых микропроцессорных комплексов (ПУМК) имеет свои особенности при постановке и решении задач обеспечения высокой надежности функционирования оптимизированной системы ИРДП. ПУМК оптимизированной системы ИРДП должен реализовывать следующие функции:

- реализация технологического алгоритма функционирования оптимизированной системы ИРДП с учетом проверки условий обеспечения безопасности движения поездов;
- реализация функций, которые определяют поведение оптимизированной системы ИРДП в условиях возникновения отказов с сбоев микропроцессорных средств системы, либо появления программных ошибок.

Создание программной реализации функционирования оптимизированной системы ИРДП, логика, функционирования которой представлена в виде

программы, направлено на выполнение двух критериев, в соответствии с которыми будет создано безопасное программное обеспечение функционирования оптимизированной системы ИРДП:

- корректная постановка целевых функций оптимизированной системы ИРДП;
- корректная программная интерпретация целевых функций оптимизированной системы ИРДП.

Поскольку проблема обеспечения надежности программной реализации функционирования оптимизированной системы ИРДП охватывает все этапы жизненного цикла программного обеспечения (ПО), в качестве основного пути повышения надежности функционирования программной реализации оптимизированной системы ИРДП предложено использовать язык программирования высокого уровня, который позволяет учитывать требования систем реального времени. В качестве языка программирования оптимизированной системы ИРДП выбран высокоуровневый язык C++.

Основным методом обнаружения ошибок программной реализации функционирования оптимизированной системы ИРДП, предложено тестирование программы. В основе тестирования заложен факт, что программа оптимизированной системы ИРДП при строго фиксированных исходных данных и надежной микропроцессорной аппаратуре системы ИРДП, будет исполняться по однозначно определенному алгоритму (рисунок 2.6).

Язык программирования C++ является компилируемым, статически типизируемым высокоуровневым языком общего пользования. C++ поддерживает процедурное программирование, объектно-ориентированное программирование (ООП), а также обобщенное программирование, поддерживает многопоточную обработку данных [132]. На данный момент C++ является нативным языком программирования, который позволяет осуществлять переключение от низкоуровневого программирования непосредственно микропроцессоров и микроконтроллеров к высокоуровневому программированию, вплоть до ООП и обобщенному программированию системы ИРДП в целом.

Язык C++ стандарта C++14 совместно с современными компиляторами позволяет создавать компактный код, который понятен и надежен, чем коды написанные на языке программирования C или Ассемблер. При этом C++ позволяет учитывать особенности программирования микропроцессоров и микроконтроллеров, такие как требования к небольшому объему памяти программ от 32 до 515 кБ, требования к небольшому объему памяти оперативно-запоминающих устройств (ОЗУ), а также требования к низкой тактовой частоте работы микропроцессоров и микроконтроллеров [133].

Поскольку C++ сочетает в себе свойства высокоуровневого и низкоуровневого языков, он широко используется для разработки программного обеспечения операционных систем, разнообразных прикладных программ, драйверов устройств, приложений для встраиваемых систем, а также высокопроизводительных серверов [134].

Листинг программной реализации функционирования оптимизированной системы ИРДП на языке программирования C++ представлен в приложении Б.

Программная реализация функционирования оптимизированной системы ИРДП представлена в виде базовых блоков, так как они являются основной единицей программного кода, над которой проводится оптимизация компилятором, а также являются вершинами или узлами в графе потока управления.

Базовый блок представляет собой последовательность инструкций или кода, которые имеют одну точку входа (адрес оперативной памяти с которого начинается выполнение программы), одну точку выхода и не содержит инструкций передачи управления ранее точки выхода. В программной реализации функционирования оптимизированной системы ИРДП базовый блок это последовательность инструкций, каждая из которых выполняется тогда, когда выполняется первая инструкция из последовательности [135]. В результате использования базовых блоков полученная программа (рисунок 4.10) имеет простую структуру, которую легко читать, проводить отладку, а также при необходимости вносить изменения в программу.

#### 4.4 Экономическая эффективность от внедрения оптимизированной системы интервального регулирования

Оптимизированная система ИРДП на базе цифрового радиоканала позволит наращивать пропускную способность железнодорожных участков, а также получать экономию энергоресурсов на тяге поездов от 5 до 15%.

Расчет экономической эффективности от внедрения оптимизированной системы ИРДП будем проводить на основе снижения затрат времени и энергии в случае отсутствия радиосвязи.

В существующих системах ИРДП, в случае отсутствия радиосвязи между ЦРБ и движущимся поездом, машинист поезда должен приступить к резкому снижению скорости, либо даже к экстренному торможению. В этом случае снижение скорости движения, задержки и остановки увеличивают время хода поезда по перегону, а также расход энергии поездов.

В нормальных условиях работы системы ИРДП движение поездов осуществляется в соответствии с графиком движения, то есть с графиковым временем хода и скоростью. В этом случае затраты энергии определяются средней скоростью движения и изменениями скорости, режимом движения, профилем и планом пути, поездной ситуацией, метеорологическими условиями [136].

В общем виде потеря времени от снижения скорости или остановки поезда  $T_{cc}$  представляет собой разность времен хода на данном перегоне со сниженной скоростью или остановкой  $T_c$  и с графиковой скоростью  $T_2$ , мин:

$$T_{cc} = T_c - T_2. \quad (4.5)$$

Потеря времени от снижения скорости без учета потерь на замедление и разгон поезда, мин:

$$T_{cc} = (L_c - L_n) \left( \frac{1}{V_c} - \frac{1}{V_2} \right) = L_{c,n} \left( \frac{1}{V_c} - \frac{1}{V_2} \right), \quad (4.6)$$

где  $L_c$ ,  $L_n$  – длины участка снижения скорости и поезда;  $L_{c,n}$  – суммарная длина участка снижения скорости и поезда;  $V_c$ , – средняя скорость на перегоне из-



за снижения скорости движения поезда или остановки;  $V_2$  – графиковая скорость движения поезда на перегоне.

Потери времени на замедление поезда  $t_3$  и разгон  $t_p$  при снижении и увеличении скорости движения определяются по выражениям, мин:

$$t_3 = \frac{V_2 - V_c}{2u_3} \left(1 - \frac{V_c}{V_2}\right); t_p = \frac{V_2 - V_c}{2u_p} \left(1 - \frac{V_c}{V_2}\right). \quad (4.7)$$

Ускорения движения при замедлении  $u_3$  и разгоне  $u_p$  поезда определяются по выражениям, м/с<sup>2</sup>:

$$u_3 = \frac{V_2^2 - V_c^2}{2L_3}; u_p = \frac{V_2^2 - V_c^2}{2L_p}, \quad (4.8)$$

где  $L_3$  и  $L_p$  – пути замедления и разгона поезда.

С учетом замедления и разгона поезда потеря времени от снижения скорости определяется по выражению, мин:

$$T_{cc} = L_{c.n} \left(\frac{1}{V_c} - \frac{1}{V_2}\right) + \frac{(V_2 - V_c)^2}{2V_2} \left(\frac{1}{u_3} + \frac{1}{u_p}\right). \quad (4.9)$$

После снижения скорости возможны три варианта дальнейшего движения поезда:

1) без компенсации потери времени (без нагона времени). Дальнейшее движение поезда осуществляется с графиковой скоростью, в результате фактическая средняя скорость поезда на перегоне и итоге ниже графиковой. Этот вариант движения характерен для грузовых поездов и пассажирских поездов на участках железных дорог без запаса времени хода;

2) с полной компенсацией потери времени (с полным нагоном времени). Дальнейшее движение поезда осуществляется со скоростью выше графиковой и в результате фактическая средняя скорость на перегоне становится равной графиковой скорости. Этот вариант движения характерен для пассажирских поездов на участках с достаточным запасом времени хода;

3) с частичной компенсацией потери времени (с частичным нагоном времени). Дальнейшее движение поезда осуществляется со скоростью которая

несколько превышает графиковую. В результате фактическая средняя скорость на перегоне получается несколько ниже графиковой. Этот вариант движения характерен для грузовых и пассажирских поездов на участках с небольшим запасом времени хода [137].

Потери времени на замедление и разгон при остановке поезда без учета продолжительности стоянки определяются по выражению, мин:

$$T_{cc} = \frac{V_2}{2} \left( \frac{1}{u_3} + \frac{1}{u_p} \right). \quad (4.10)$$

Потери времени от задержки и неграфиковой остановки поезда, так же как от снижения скорости, складываются из потерь времени на замедление и разгон, движение со сниженной скоростью или времени стоянки. Данные потери времени зависят от длины участка движения со сниженной скоростью и поездной ситуации. Варианты дальнейшего движения поезда могут быть такими же, как после снижения скорости [138].

Весь железнодорожный перегон между станциями длиной  $L$  можно представить состоящим: из участка  $L_2$ , который пройден поездом с графиковой скоростью  $V_2$ ; участка  $L_{c.n} = L_c + L_n$  пройденного со сниженной скоростью  $V_c$ ; участка  $L_y$  пройденного с графиковой скоростью  $V_2$  без нагона времени либо с увеличенной скоростью  $V_y$  при нагоне времени, тогда:

$$L = L_2 + L_c + L_n + L_y. \quad (4.11)$$

Относительные длины соответствующих участков определяются по выражению:

$$\alpha_2 = \frac{L_2}{L}; \alpha_{c.n} = \frac{L_c + L_n}{L}; \alpha_y = \frac{L_y}{L}; \alpha_2 + \alpha_{c.n} + \alpha_y = 1. \quad (4.12)$$

Для варианта движения поезда без компенсации потерь времени после снижения скорости фактическое время хода  $T_\phi$  и средняя фактическая скорость  $V_\phi$  на всем перегоне длиной  $L$  определяется по выражению:

$$T_\phi = \frac{L[(1-\alpha_{c.n})V_c + \alpha_{c.n}V_2]}{V_c V_2}; V_\phi = \frac{V_c V_2}{(1-\alpha_{c.n})V_c + \alpha_{c.n}V_2}. \quad (4.13)$$

Коэффициент увеличения времени хода на всем перегоне за счет ограничения скорости движения поезда  $\beta_t$ , равный отношению фактического времени  $T_\phi$  к графиковому времени определяется по формуле:

$$\beta_t = \frac{T_\phi}{T_z} = \frac{(1-\alpha_{c.n})V_c + \alpha_{c.n}V_z}{V_c}. \quad (4.14)$$

Тогда

$$T_\phi = T_z \beta_t = \frac{L}{V_z} \beta_t; V_\phi = \frac{V_z}{\beta_t} = \frac{L}{T_z \beta_t}. \quad (4.15)$$

Для варианта движения поезда с компенсацией потерь времени после ограничения скорости фактическое время хода  $T_{y.\phi}$  и средняя скорость  $V_{y.\phi}$  на оставшейся части участка длиной  $L_y$  определяется по формулам:

$$T_{y.\phi} = \frac{L[(1-\alpha_z)V_c + \alpha_{c.n}V_z]}{V_c V_z}; V_{y.\phi} = \frac{\alpha_y V_c V_z}{(1-\alpha_z)V_c + \alpha_{c.n}V_z}. \quad (4.16)$$

Коэффициент уменьшения времени хода поезда на участке  $L_y$  равен отношению фактического времени  $T_{y.\phi}$  к графиковому времени  $T_{y2}$ :

$$\beta_{ty} = \frac{T_{y.\phi}}{T_{y2}} = \frac{(1-\alpha_z)V_c + \alpha_{c.n}V_z}{\alpha_y V_c}. \quad (4.17)$$

Дополнительные потери энергии от снижения скорости или остановки поезда [139] представляют собой дополнительный расход энергии  $A_{cc}$  на данном перегоне, который определяется как разность расходов энергии при движении со сниженной скоростью или остановкой  $A_c$  и с графиковой скоростью  $A_z$ , кВт\*ч:

$$A_{cc} = A_c - A_z. \quad (4.18)$$

Для оценки составляющих дополнительного расхода энергии  $A_{cc}$  и выявления закономерностей влияния на него различных факторов необходимо рассмотреть классификацию снижения скорости и остановок поездов по энергозатратам [140], которая представлена на рисунке 4.10.



Рисунок 4.10 – Классификация снижения скорости и остановок поездов по энергозатратам

На основании анализа рисунка 4.10 можно сделать вывод, что согласно энергетическому балансу движения поезда (ЭБД) дополнительный расход энергии  $A_{cc}$  из-за снижения скорости или остановки поезда зависит от вида тормозов и условий движения. Это означает, что после снижения скорости или остановки, дальнейшее движение поезда может происходить без нагона времени и повышения средней скорости движения (с увеличением времени хода), либо с нагоном времени за счет повышения средней скорости (без увеличения времени хода). В итоге дополнительный расход энергии  $A_{cc}$  определяется увеличением энергозатрат в энергетической цепи (ЭЦ) и собственных нуждах (СН) электроподвижного состава (ЭПС), на преодоление основного сопротивления движению и потерь энергии в тормозах поезда. Наибольший дополнительный расход  $A_{cc}$  происходит в случае применения механического (пневматического) либо электрического (реостатного) тормозов. В этих случаях рассеивается

избыточная механическая энергия, на получение которой ранее была затрачена электрическая энергия из системы тягового электроснабжения.

Затраты энергии при движении на перегоне с графиковой скоростью  $A_z$  и со сниженной скоростью  $A_c$ , согласно ЭБД поезда [141] определяются по выражениям, кВт\*ч:

$$A_z = A_n + A_{c.o} + A_{cr}, A_c = A_k + A_n + A_{c.o} + A_{cr}, \quad (4.19)$$

где  $A_k$ ,  $A_n$  – изменения кинетической и потенциальной энергии поезда;  $A_{c.o}$ ,  $A_{cr}$  – работы сил основного и дополнительного от кривых сопротивления движению.

Изменения кинетической и потенциальной энергии поезда определяются по выражениям:

$$A_k = mk_u(V_2^2 - V_1^2)/2; A_n = mgiL, \quad (4.20)$$

где  $m$  – масса поезда;  $k_u$  – коэффициент инерции вращающихся частей;  $V_1$ ,  $V_2$  – начальная и конечная скорости движения поезда;  $g$  – ускорение свободного падения;  $i$  – крутизна уклона.

Работы сил основного и дополнительного от кривых сопротивления движению поезда определяются по выражениям:

$$A_{c.o} = mg\omega_o L; A_{cr} = mg\omega_r L, \quad (4.21)$$

где  $\omega_o$ ,  $\omega_r$  – удельное основное и дополнительное от кривых сопротивления движению поезда.

С учетом выражений (4.9), (4.19) – (4.21) можно преобразовать формулу (4.18) для определения дополнительного расхода энергии из-за снижения скорости движения поезда с применением механических тормозов:

$$A_{cc} = mg \left[ \frac{V_z^2 - V_c^2}{2u_3} (\omega_o + i + \omega_r) + L_{c.n}(\omega_{сн} - \omega_o) \right] + mg \left[ \frac{V_z^2 - V_c^2}{2u_p} (\omega_{ocp} - \omega_o + k_u \frac{u_p}{g}) \right] =$$

$$mg \left[ \frac{V_z^2 - V_c^2}{2} \left( \frac{\omega_o + i + \omega_r}{u_3} + \frac{\omega_{ocp} - \omega_o + k_u \frac{u_p}{g}}{u_p} \right) + L_{c.n}(\omega_{сн} - \omega_o) \right], \quad (4.22)$$

где  $\omega_o$ ,  $\omega_{ocp}$ ,  $\omega_{сн}$  - удельное основное сопротивление движению поезда при графической, средней и сниженной скорости соответственно.

Значения  $\omega_o$  и  $\omega_{сн}$  определяются при графической скорости  $V_2$  и средней скорости на перегоне из-за снижения скорости движения поезда или остановки  $V_c$ , а  $\omega_{ocp}$  определяется при средней скорости по времени на перегоне  $V_{tp} = (V_c + V_2)/2$  по выражению [142]:

$$\omega_{ocp} = c_0 + c_1 \kappa_n V_{tp} + c_2 \kappa_u^2 V_{tp}^2, \quad (4.23)$$

где  $c_0$ ,  $c_1$ ,  $c_2$  – коэффициенты, постоянные для данного поезда;  $\kappa_n$ ,  $\kappa_u$  – коэффициенты неравномерности и искажения скорости, при равноускоренном или равнозамедленном движении  $\kappa_n = 4/3$ ,  $\kappa_u = \sqrt{2}$ .

На основании выражений (4.9) и (4.22) были получены экспериментальные данные, которые позволяют провести оценку влияния снижения скорости и остановок поезда из-за отсутствия радиосвязи в системе ИРДП на потери времени  $T_{cc}$ , а также дополнительные потери электроэнергии  $A_{cc}$ . Экспериментальные данные были получены на основе результатов опытных поездок динамометрического вагона с грузовыми поездами на разных перегонах. Результаты представлены в таблицах 4.1 и 4.2.

Масса состава вагонов в опытных поездках находилась в диапазоне 6221 – 6474 т (изменялась незначительно). Снижение скорости на перегонах находилось в пределах 15 – 25 км/ч (было сравнительно небольшим), но происходило на перегонах с подъемами крутизной 10 %.

Таблица 4.1 – Экспериментальные данные потери времени  $T_{cc}$  на перегоне

Секция электровоза	Перегон, профиль пути, км	$T_e$ , ч.мин	$T_c$ , ч.мин	$T_{cc}$ , мин
ВЛ80Р, 3 секции	Красноярск – Иланская, холмистый, 250 км	4.49	5.24	35
	Иланская – Нижнеудинск, холмистый, 304 км	7.28	8.14	46
	Нижнейдинск – Зима, холмистый, 254 км	4.45	5.04	19
	Зима – Иркутск, холмистый, 244 км	5.41	6.11	30
ВЛ10Р, 2 секции	Московка – Ишим, равнинный, 294 км	4.48	5.16	28

Таблица 4.2 – Экспериментальные данные дополнительных потерь электроэнергии  $A_{cc}$  на перегоне

Секция электровоза	Перегон, профиль пути, км	$A_e$ , кВт*ч	$A_c$ , кВт*ч	$A_{cc}$ , кВт*ч
ВЛ80Р, 3 секции	Красноярск – Иланская, холмистый, 250 км	15310	17650	2340
	Иланская – Нижнеудинск, холмистый, 304 км	21260	21790	530
	Нижнейдинск – Зима, холмистый, 254 км	12240	13820	1580
	Зима – Иркутск, холмистый, 244 км	13620	13960	340
ВЛ10Р, 2 секции	Московка – Ишим, равнинный, 294 км	10000	10990	990

Анализ полученных экспериментальных данных показал, что при снижении скорости на перегонах на 15 – 25 км/ч время хода поезда по перегону получилось больше, дополнительный расход электроэнергии также выше, чем при движении поездов по перегону с графиковой скоростью.

Средние потери времени на перегонах составили 32 минуты, а средние дополнительные потери энергии поездов на перегонах составили 1150 кВт\*ч.

Согласно методическим рекомендациям по расчету ущерба ОАО «РЖД» [143] экономические потери от задержки одного поезда на перегоне на 32 минуты

составляют 1425 российских рублей. Годовые экономические потери от задержки одного поезда на перегоне [144] будут составлять 520125 российских рублей.

Согласно энергетической стратегии ОАО «Российские железные дороги» до 2030 года [145] стоимость 1 электроэнергии кВт\*ч электроэнергии на тягу поездов в 2020 году составила 2,86 российских рублей. Экономические потери из-за дополнительной потери энергии одного поезда на перегоне составляют 3289 российских рублей. Годовые экономические потери из-за дополнительной потери энергии одного поезда на перегоне [146] будут составлять 1200485 российских рублей.

В общей сложности годовая экономическая эффективность от внедрения оптимизированной системы ИРДП за счет снижения экономических потерь от задержки одного поезда на перегоне и снижения экономических потерь из-за дополнительной потери энергии одного поезда на перегоне будут составлять 1720610 российских рублей.

#### 4.5 Выводы по разделу 4

1. Представлена инфраструктура системы ИРДП, а также взаимодействие центра радиоблокировки и бортового процессорного устройства поезда с другими подсистемами.

2. Разработана программная реализация функционирования оптимизированной системы ИРДП на языке программирования C++.

3. Определена экономическая эффективность от внедрения оптимизированной системы ИРДП, на основании снижения затрат времени и энергии в случае отсутствия радиосвязи.

4. В результате расчетов, на основе экспериментальных данных опытных поездов динамометрического вагона по различным перегонам, средние потери времени на перегонах составили 32 минуты, что составляет 11,3%. Средние дополнительные потери энергии поездов на перегонах составили 1150 кВт\*ч, что составляет 10,8 %.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, в которой получено решение важной научно технической задачи совершенствование методов и средств интервального регулирования движения поездов с учетом времени отсутствия радиосвязи в цифровом радиоканале, что позволит повысить эксплуатационную эффективность систем ИРДП.

По результатам диссертационной работы сформулированы следующие выводы:

1. Анализ существующих систем ИРДП показал, что при отсутствии радиосигнала между ЦРБ и движущимся поездом скорость движения поезда регулируется на координаты светофоров, установленных на пути. Для поезда идущего сзади пропадание радиосигнала о координате «хвоста» поезда идущего впереди, является сигналом о прекращении работы радиоканала и необходимости перехода на другие способы ИРДП, а это в свою очередь приводит к снижению скорости движения поезда или экстренному торможению.

2. Анализ причин отсутствия радиосвязи в системах ИРДП показал, что помехи и искажающие факторы, которые могут привести к отсутствию радиосвязи могут быть преднамеренными и непреднамеренными. Основными причинами отсутствия радиосвязи в системе ИРДП являются: отсутствие зоны прямой видимости из-за рельефа местности, а также наличия искусственных сооружений между радиопередатчиком и радиоприемником; подавление радиосигнала, при помощи генерации шумоподобного сигнала на частотах передачи системы ИРДП.

3. Разработана модель функционирования системы ИРДП на базе цифрового радиоканала и модель функционирования системы ИРДП с учетом действия помех и искажающих факторов.

4. Разработана модель функционирования оптимизированной системы ИРДП, на основании которой разработана структурно-функциональная модель оптимизированной системы ИРДП с учетом максимально допустимого времени

отсутствия радиосвязи. Разработан алгоритм функционирования оптимизированной системы ИРДП.

5. Разработана модель определения максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи по критерию обеспечения безопасности движения поездов и критерию снижения пропускной способности движения грузовых и пассажирских поездов.

6. Проведено моделирование максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи по критерию обеспечения безопасности и критерию снижения пропускной способности, с учетом минимально допустимого интервала следования поездов, которое показало, что учет значения максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи в системе ИРДП, позволит полностью исключить вероятность опасного сближения поездов, а также соблюдать допустимый скоростной режим движения поездов.

7. Проведена оценка адекватности модели максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи по критерию обеспечения безопасности движения грузовых и пассажирских поездов на основании критерия Фишера, которая показала, что предложенная модель максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи при уровне доверительной вероятности 0,95 адекватна реальному поведению системы ИРДП.

8. Разработана программная реализация функционирования оптимизированной системы ИРДП, а также подтверждена экономическая эффективность от внедрения оптимизированной системы ИРДП, на основании снижения затрат времени и энергии в случае отсутствия радиосвязи.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алабушев, И.И. Методическое обеспечение построения систем регулирования движения поездов с использованием радиоканала: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08 [Текст] / Алабушев Иван Игоревич; [Место защиты: Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ) МПС РФ] – М: МИИТ. – 2010. – 20 с.
2. Воронова, Н.И., Н.Е. Разинкин, Н.Е., Сарафанов, Г.Б. Локомотивные устройства безопасности. Учебник. – М.: Academia, 2014. – 208 с.
3. Малафеев, С.И., Малафеева, А.А. Основы автоматики и системы автоматического управления. – М.: Академия, 2010. – 384 с.
4. Листопад, Н.И., Козел, В.М., Горбачев, К.Л., Ковалев, К.А. Системы и сети цифровой радиосвязи. – М.: Издательство Гревцова, 2009. – 200 с.
5. Линьков, В.И. Состояние проблемы оценки эффективности ИРДП и пути ее решения. В кн.: Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта. Межвузовский сборник научных трудов. – М.: РГОТУПС, 2004. – С. 99–103.
6. Кокурин, И.М., Кондратенко, Л.Ф. Эксплуатационные основы устройств железнодорожной автоматики и телемеханики. Учеб. для вузов. – М.: Транспорт, 1989. – 184 с.
7. Рязанцев, Б.С., Родимов, Б.А. Эксплуатационные основы устройств СЦБ. – М.: Трансжелдориздат, 1959. – 407 с.
8. Борисов, Д.П. Эффективность устройств СЦБ. – Тр. ЦНИИ МПС вып. 66. – М.: Трансжелдориздат, 1953. – 184 с.
9. Бенешевич, В.И. Эксплуатационные основы проектирования устройств СЦБ. – М.: Трансжелдориздат, 1937. – 143 с.
10. Ильенков, В.И., Бауман, В.Э., Янкин, П.М. Эксплуатационные основы устройств железнодорожной автоматики и телемеханики. – М.: Транспорт, 1970. – 168 с.

11. Белов, В.Н., Ходжаев, М.Х. Общеэксплуатационные вопросы проектирования устройств автоматики и телемеханики на железных дорогах. — Ташкент: ТашИИТ, 1972. — 89 с.
12. Белов, В.Н., Ходжаев, М.Х. Эксплуатационные основы устройств автоматики и телемеханики на перегонах. — Ташкент: ТашИИТ, 1972. — 88 с.
13. Белов, В.Н., Ходжаев, М.Х. Эксплуатационные основы устройств автоматики и телемеханики на станциях. — Ташкент: ТашИИТ, 1972. — 152 с.
14. Корниенко, К.И. Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте: учебное пособие для вузов / К.И. Корниенко. — Москва: Издательство Юрайт, 2021. — 224 с.
15. Иноземцев, В.Г., Дмитриев, В.С. Рациональные расстановки проходных светофоров на грузонапряженных линиях // Ж.-д. трансп., 1979. № 3. — С. 27–29.
16. Новиков, М.А., Петров, А.Ф., Степанов, Н.М. Проектирование автоматической блокировки на железных дорогах. — М.: Транспорт, 1979. — 328 с.
17. Ошурков, И.С., Баркаган, Р.Р. Проектирование электрической централизации. — М.: Транспорт, 1980. — 295 с.
18. Никифоров, Б.Д., Головин, В.И., Кутыев, Ю.Г. Автоматизация управления торможением поездов. — М.: Транспорт, 1985. — 263 с.
19. Казимов, Г.А., Лисенков, В.М., Федоров, Н.Е. Моделирование движения поездов на перегоне / Куйб. ин-т инж. ж.д. транспорта, 1986. — 25 с.
20. Васильев, И.И. Графики и расчеты по организации железнодорожных перевозок, М.: Трансжелдориздат, 1941. — 574 с.
21. Максимович, Б.М. Пропускная способность железнодорожных линий. — М.: Трансжелдориздат, 1948. — 200 с.
22. Сокович, В.А. Исследование резервов провозной способности. — М.: Трансжелдориздат, 1950. — 72 с.
23. Тихомиров, П.С. Составление графика движения поездов. — М.: Государственное транспортное железнодорожное издательство, 1952. — 89 с.
24. Максимович, Б.М., Фельдман, Э.Д., Баранов, А.М. Выбор способов увеличения пропускной способности железнодорожных линий / Б.М.

Максимович, Э.Д. Фельдман, А.М. Баранов и др. – Тр. ЦНИИ МПС вып. 147 – М.: Трансжелдориздат, 1958. – 244 с.

25. Каретников, А.Д., Воробьев, Н.А. Совершенствование графика движения поездов и улучшение использования пропускной способности железнодорожных линий. – М.: Трансжелдориздат, 1960. – 222 с.

26. Кочнев, Ф.П., Максимович, Б.М., Тихонов, К.К., Черномордик, Г.И. Организация движения на железнодорожном транспорте. – М.: Транспорт, 1969. С. 225 – 232.

27. Максимович, Б.М. Выбор способов увеличения пропускной и провозной способности железнодорожных линий по технико-экономическим показателям / Под ред. В. Е. Ярмоленко – Гомель: БелИИЖТ, 1972. – 55 с.

28. Козлов, В.Е. Надежность технических средств и пропускная способность линий // Ж.-д. трансп., 1973. № 11. – С. 27–31.

29. Тихонов, К.К. Выбор оптимальных параметров эксплуатации железных дорог. – М.: Транспорт, 1974. – 192 с.

30. Сотников, И.Б. Взаимодействие станций и участков железных дорог. – М.: Транспорт, 1976. – 271 с.

31. Каретников, А.Д., Воробьев, Н.А. График движения поездов. – М.: Транспорт, 1979. – 301 с.

32. Кочнев, Ф.П., Акулиничев, В.М., Макарович, А.М. Организация движения на железнодорожном транспорте. – М.: Транспорт, 1979. – 568 с.

33. Козлов, А.М. Проектирование железнодорожных станций и узлов / Под ред. А.М. Козлова, К.Г. Гусевой – М.: Транспорт, 1980. – 592 с.

34. Макарович, А.М., Дьяков, Ю.В. Использование и развитие пропускной способности железных дорог. – М.: Транспорт, 1981. – 287 с.

35. Сидельников, В.М. Выбор оптимального режима управления локомотивом с использованием ЭЦВМ // Вестник ВНИИЖТ, 1965. № 2. – С. 52–58.

36. Дувалян, С.В. Построение оптимальной кривой движения поезда // Вестник ВНИИЖТ, 1968. № 1. – С. 57–60.

37. Лянда, А.А., Плакс, А.В. Оценка точности решения уравнения движения // Вестник ВНИИЖТа, 1978. № 3. – С. 13–16.
38. Исаев, И.П. и др. Моделирование процесса движения поездов по сигналам автоблокировки // Тр. МИИТа. – М.: 1981. Вып. 692. – С. 128–140.
39. Гребенюк, П.Т., Долганов, А.Н., Скворцова, А.И. Тяговые расчеты: Справочник / Под ред. П.Т. Гребенюка. – М.: Транспорт, 1987. – 272 с.
40. Гребенюк, П.Т. Автотормоза скоростных и тяжеловесных поездов. / Под ред. П.Т. Гребенюк, В.Ф. Ясенцева // Тр. ВНИИЖТ. Вып. 604. – М.: Транспорт, 1979. – 152 с.
41. Иноземцев, В.Г., Казаринов, В.М., Ясенцов, В.Ф. Автоматические тормоза. – М.: Транспорт, 1981. – 464 с.
42. Кантор, И.И. Продольный профиль пути и тяга поездов. – М.: Транспорт, 1984. – 207 с.
43. Баранов, Л.А., Ерофеев, Е.В., Астрахан, В.И. Системы автоматического и телемеханического управления электроподвижным составом / Л.А. Баранов, Е.В. Ерофеев, В.И. Астрахан и др. – М.: Транспорт, 1984. – 311 с.
44. Мирошниченко, Р.И. Решение задач энергоснабжения на электронных машинах. – М.: Транспорт, 1971. – 168 с.
45. Мирошниченко, Р.И., Улановский, М.Б. Методика расчета на ЭВМ пропускной способности двухпутных линий переменного тока по устройствам энергоснабжения // Тр. ВНИИЖТ. – М.: 1971. – Вып. 476. С. 74–94.
46. Лисенков, В.М. Теория автоматических систем интервального регулирования. – М.: Транспорт, 1987. – 150 с.
47. Федоров, Н.Е. Координатные системы интервального регулирования на однопутном участке // Тр. МИИТа. – М.: 1979. Вып. 626. – С. 11–14.
48. Кострома, Т.В. Исследование принципов построения и эффективности систем интервального регулирования, предназначенных для применения в период ремонтно-восстановительных работ на железнодорожном транспорте: Автореф. дис. канд. техн. наук. – М.: МИИТ, 1980. – 24 с.

49. Лисенков, В.М., Федоров Н.Е., Кострома Т.В. Сравнительная оценка систем ИРДП // Тр. МИИТ. – М.: 1980. Вып. 664. – С. 68–75.

50. Устройства СЦБ. Технология обслуживания. Сборник технологических карт. Часть 3. – М.: , 2013. – 376 с.

51. А. с. 1004183 СССР, МПК В 61 L 23/22. Устройство для интервального регулирования движения поездов / И. П. Кривцов, В. И. Шаманов, Г. И. Глащенко. – № 3333079/27–11; заявл. 27.08.81; опубл. 15.03.83, Бюл. № 10. – 6 с.: ил.

52. Кулага, А.А., Тельнов, А.Н., Шамаков, А.Н. Методика расчета газодинамических процессов в тормозной магистрали /А.А. Калуга, И.В. Тельнов, А.Н. Шамаков // Транспортное дело России. – 2018. – №3. – С. 120–124.

53. Рихтер, С.Г. Кодирование и передача речи в цифровых системах подвижной радиосвязи. – М.: Горячая Линия – Телеком, 2011. – 304 с.

54. Правила тяговых расчетов для поездной работы: утв. ОАО «РЖД» 12.05.2016 № 867 р. – М., 2016. –287 с.

55. Правила технического обслуживания тормозного оборудования и управления тормозами железнодорожного подвижного состава. – М.: , 2018. – 230 с.

56. А. с. 1687492 СССР, МПК В 61 L 23/22. Устройство для интервального регулирования движения поездов / В. И. Шаманов, И. П. Кривцов, М. К. Бимуканов. – № 4444296/11; заявл. 20.06.88 ; опубл. 30.10.91, Бюл. № 40. – 11 с.: 3 ил.

57. Шелухин, В.И. Датчики измерения и контроля устройств железнодорожного транспорта / В. И. Шелухин. – М.: Транспорт, 1990. – 119 с.

58. Травин, Г.А. Основы схемотехники устройств радиосвязи, радиовещания и телевидения. – М.: Высшая школа, 2007. – 608 с.

59. Инструкция по обеспечению безопасности движения поездов при технической эксплуатации устройств и систем СЦБ. – М.: , 2018. – 148 с.

60. Баранов, Л.А., Ерофеев, Е.В., Милешин, Л.М., Чинь, Л.М. Оптимизация управления движением поездов: учеб. пособие / Л.А. Баранов, Е.В. Ерофеев, И.С. Милешин, Л.М. Чинь: под ред. Л. А. Баранова. – М.: МИИТ, 2011. – 163 с.

61. Тулупов, Л.П., Жуковский, Е.М., Гусятинер, А.П. Автоматизированные системы управления перевозочным процессом на железных дорогах. "Транспорт", 1991. – 208 с.

62. Сорокин, В.Е. Анализ современного развития телекоммуникационных сетей железнодорожного транспорта / В.Е. Сорокин. Международная научно-практическая конференция «Научно-технические аспекты комплексного развития железнодорожного транспорта» в рамках III – го Международного научного форума Донецкой Народной Республики. Донецк, 2017. – С. 152–153.

63. Сорокин, В.Е. Анализ пропускной способности систем подвижной радиосвязи в режиме передачи данных системы диспетчерского управления / В.Е. Сорокин // Сборник научных трудов Донецкого института железнодорожного транспорта. Донецк, ДОНИЖТ, – 2018. – №50. – С. 21–25.

64. Тимошенко, А.В. Сравнительный анализ цифровых систем радиосвязи для использования в качестве резервного канала управления движением поездов. Ч. 1 / А. В. Тимошенко // Проблемы безопасности на транспорте. – Гомель, 2017. – С. 202–204.

65. Шухина, Е.Е., Низовский, А.В. Системы обеспечения безопасности движения поездов на базе радиоканала / Е.Е. Шухина, А.В. Низовский // Автоматика, связь, информатика. – 2016. – № 10 – С. 25–26.

66. Сорокин, В.Е. Анализ преимуществ и недостатков технологий 3G и 4G для использования в системах диспетчерского управления / В.Е. Сорокин. XV Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы развития транспортно-промышленного комплекса: инфраструктурный, управленческий и образовательный аспекты». Донецк, 2018. – С. 31–34.

67. Сорокин, В.Е. Сравнительный анализ стандартов TETRA, GSM-R и DMR для использования в системах интервального регулирования движением поездов В.Е. Сорокин. XVII Международная научно-практическая конференция



«Актуальные проблемы развития транспортно-промышленного комплекса: инфраструктурный, управленческий и образовательный аспекты». Донецк, 2020. – С. 21–24.

68. Маргарян, А. Радиосеть управления и сбора данных для железнодорожных приложений. Ч. 1. / А. Маргарян // Беспроводные технологии. №1. – Москва, 2020. – С. 48–56.

69. ГОСТ Р 22.0.02-2016 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения». / Разработан ФГБУ ВНИИ ГОЧС МЧС России. – Утвержден и введен в действие Приказом федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 сентября 2016 г. № 1111 – ст., 12 с.

70. ГОСТ 27.002-89 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения» / Разработан и внесен Институтом машиноведения АН СССР, Межотраслевым научно-техническим комплексом "Надежность машин" и Государственным Комитетом СССР по управлению качеством продукции и стандартам. – Утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 15.11.89 № 3375., 24 с.

71. ГОСТ 34.003-90 «Автоматизированные системы. Термины и определения» / Разработан и внесен Министерством электротехнической промышленности и приборостроения СССР. – Утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 27.12.90 № 3399., 16 с.

72. Рембовский, А.М., Ашихмин, А.В., Козьмин, В.А. Радиомониторинг. Задачи, методы, средства. – М.: Горячая Линия - Телеком, 2010. – 624 с.

73. Романов, А.С., Турлыков, П.Ю. Исследование влияния имитирующих помех на аппаратуру потребителей навигационной информации. Труды МАИ. Выпуск № 86, 2016., С. 1–8.

74. Комарович, В.Ф., Липатников, В.А. Многоуровневая защита радиолиний декаметрового связи. СПб, 2003. – 248 с.

75. Шевчук, В.Г., Соловьев, Р.А., Фищенко, А.А., Гуллаков, Г.А. Исследование уровня радиопомех на участке железной дороги на частоте поездной радиосвязи. Ч. 1 / В.Г. Шевчук, Р.А. Соловьев, А.А. Фищенко, Г.А. Глушаков // Проблемы безопасности на транспорте. – Гомель, 2017. – С. 208–210.

76. Сорокин, В.Е. Оценка влияния многолучевого прохождения и дополнительного отражения на GPS сигналы / В.Е. Сорокин. Международная научно-практическая конференция «Научно-технические аспекты комплексного развития транспортной отрасли» в рамках Международного Научного форума Донецкой Народной Республики. Донецк, 2015. – С. 151–155.

77. Основы управления использованием радиочастотного спектра. Том 3. Частотное планирование сетей телерадиовещания и подвижной связи. Автоматизация управления использованием радиочастотного спектра. – М.: Красанд, 2012. – 368 с.

78. Головин, О.В., Чистяков, Н.И., Шварц, В., Хордон, А.И. Радиосвязь. М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 288 с.

79. Попов, П.А., Королев, И.Н. Системы управления движением по радиоканалу // Автоматика, связь, информатика (АСИ). – 2011. – №7. – С. 26–27.

80. Розенберг, Е.Н., Воронин, В.А. Интеллектуальные системы интервального регулирования // Автоматика, связь, информатика (АСИ). – 2011. – №2. – С. 23–24.

81. Инструкция Р 817. Эксплуатационно-технические требования к системам интервального регулирования движением поездов на перегонах (Автоматическая и полуавтоматическая блокировка, радиоблокировка, локомотивная сигнализация) / Организация сотрудничества железных дорог (ОСЖД) // Комитет ОСЖД. – Варшава, 2016. – 20 с.

82. Аксенов, В.В. Функционирование радиоканала передачи данных при действии имитационных помех // Информационные технологии XXI века: материалы международной научной конференции, Хабаровск, 20-24 мая 2013 г. Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2013. – С. 182–187.

83. Васильев, К.К. Теория автоматического управления (следящие системы): Учебное пособие. –2-е изд. – Ульяновск, 2001. – 98 с.
84. Иванов, В.А., Медведев, В.С. Математические основы теории оптимального и логического управления. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. – 600 с.
85. Попов, П.А., Ададунов, А.С. Подсистема евробализов. Техническое описание //Автоматика, связь, информатика (АСИ). – 2010. – №9. – С. 14–15.
86. Попов, П.А. Стохастическое моделирование движения поездов в задачах интервального регулирования // Наука и транспорт. – 2013. – №2. – С.18–19.
87. Сорокин, В.Е., Чепцов, М.Н. Синтез модели работы оптимальной системы интервального регулирования движением поездов на базе цифрового радиоканала / В.Е. Сорокин, М.Н.Чепцов // Сборник научных трудов Донецкого института железнодорожного транспорта. Донецк, ДОНИЖТ, – 2020. – №58. – С. 10–20.
88. Сорокин, В.Е. Алгоритм работы и программная реализация оптимизированной системы интервального регулирования движения поездов / В.Е. Сорокин // Сборник научных трудов Донецкого института железнодорожного транспорта. Донецк, ДОНИЖТ, – 2021. – №61. – С. 25–30.
89. Баранов, Л.А. Потенциальная оценка интервала попутного следования поездов и управление движением // Вестник МИИТа. – 2007, вып. 17. – с. 317.
90. Гринфельд, И.Н., Киселева, С.В., Кисельгоф, Т.К., Красовицкий, Д.М., Попов, П.А., Розенберг, Е.Н., Шухина, Е.Е. Способ интервального регулирования движения поездов и система для его реализации // Патент на изобретение №2509672. Бюл. №8, 20.03.2014.
91. Елгин, А.А. Расчет минимально допустимого интервала между поездами попутного следования / А.А. Елгин // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование №4. – Иркутск, 2013. – С. 202–205.
92. Павлов, А.М. Курс общей физики. Механика. – М.: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", Институт компьютерных исследований, 2008. – 412 с.

93. Сорокин, В.Е., Чепцов, М.Н. Расчет максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи в системах интервального регулирования движением поездов на базе цифрового радиоканала / В.Е. Сорокин, М.Н.Чепцов // Научно – технический журнал «Известия Транссиба». Омск, ОмГУПС, – 2020. – №4(44). – С. 127-134.

94. Инструкция по эксплуатации тормозов подвижного состава железных дорог. – М.: Трансинфо, 2008. – 160 с. (ЦТ-ЦВ-ЦЛ-ВНИИЖТ/277).

95. Правила технического обслуживания тормозного оборудования и управления тормозами железнодорожного подвижного состава. Приложение № 18 Утверждено Советом по железнодорожному транспорту государств-участников Содружества (протокол от «6-7» мая 2014 г. № 60), – 2014.

96. Хусаинов, Ф.И. Показатели скорости как аналитические инструменты для оценки работы железных дорог. Хусаинов Ф.И. Транспорт Российской Федерации. – 2017. №4 (71). С. 19–22.

97. Кубланов, М.С. Об адекватности математических моделей и задаче идентификации // Научный Вестник МГТУ ГА, серия Аэромеханика и прочность. – 2009. – № 138. – С. 101–106.

98. Бронштейн, И.Н., Семендяев, К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВУЗов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М.: Наука, 1986. – 544с.

99. Васильева, Л.В., Клеваник, Е.А. Эконометрика: начальный курс. Построение линейных и нелинейных моделей. Системы одновременных уравнений: Учебное пособие для студентов высших учебных заведений – Краматорск: ДГМА, 2005. – 100 с.

100. Бирюков, М.Н. Выражения математического ожидания, дисперсии и условных вероятностей знаковых и ранговых обнаружителей Неймана- Пирсона в шуме и потоке помех [Текст] / М.Н.Бирюков // Радиотехника, 2006, №6. С.101–106.

101. Ллойд, Э., Ледерман, У. (ред.). Справочник по прикладной статистике. Том 1. М.: Финансы и статистика, 1989. – 510 с.

102. Ададунов, С.Е., Розенберг, Е.Н., Розенберг, И.Н. Оптимизация управления инфраструктурой и безопасностью движения [Текст] / С.Е. Ададунов, Е.Н. Розенберг, И.Н. Розенберг // Железнодорожный транспорт. – 2009. – № 9. С.26–28.
103. IEC 61000-4-1:2006 Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-1: Testing and measurement techniques – Overview of IEC 61000-4 series
104. IEC 61000-4-20:2003 Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-20: Testing and measurement techniques – Emission and immunity testing in transverse electromagnetic waveguides
105. Брылеев, А.М., Шишляков, А.В., Кравцов, Ю.А. Устройство и работа рельсовых цепей / А.М. Брылеев, А.В. Шишляков, Ю.А. Кравцов – М.: Транспорт, 1966. – 264 с.
106. Кононов, В.А. Основы проектирования электрической централизации промежуточных станций. – М.: Маршрут, 2003. – 306 с.
107. "European Train Control System (ETCS) bei der DB Netz AG" (PDF) (in German). April 2014. p.15.
108. Горелик, А.В., Шалягин, Д.В., Боровков, Ю.Г., Митрохин, В.Е. Системы железнодорожной автоматики, телемеханики и связи: учебник: в 2 ч. / А.В. Горелик, Д.В. Шалягин, Ю.Г. Боровков, В.Е. Митрохин и др.; под ред. А.В. Горелика. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2012. Ч. 1. – 272 с.
109. Быков, А.Ю., Ковальский, В.Ф., Зорин, В.И. Бескабельная система интервального регулирования движения поездов на перегоне // Радиопромышленность. 2017. № 1. С. 104–109.
110. Венцевич, Л.Е. Локомотивные устройства обеспечения безопасности движения поездов и расшифровка информационных данных их работы. – М.: Маршрут, 2006. – 328 с.
111. Тильк, И.Г. Новые устройства автоматики и телемеханики железнодорожного транспорта / Екатеринбург: УрГУПС, 2010 г. –168 с.

112. Скалозуб, В.В., Соловьев, В.П., Жуковицкий, И.В., Гончаров, К.В. Интеллектуальные транспортные системы железнодорожного транспорта (основы инновационных технологий) [Текст]: пособие / В.В. Скалозуб, В.П. Соловьев, И.В. Жуковицкий, К.В. Гончаров. – Д.: Изд-во Днепропетр. нац. ун-та ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна, 2013. – 207 с.

113. Попов, П.А., Озеров, А.В. Интервальное регулирование на основе цифрового радиоканала / П.А. Попов, А.В. Озеров // Автоматика, связь, информатика. – 2016. – № 10. – С. 19–22.

114. Ашпиз, Е.С. Железнодорожный путь / Е.С. Ашпиз [и др.]. – Москва : ФГБУ ДПО «Учебно методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2021. – 576 с.

115. Афонин, Г.С., Барщенков, В.Н., Кондратьев, Н.В. Автоматические тормоза подвижного состава : учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / Г.С. Афонин, В.Н. Барщенков, Н.В. Кондратьев. – 4-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 320 с.

116. Елякин, С.В. Локомотивные системы безопасности движения: учеб. пособие Е59 (курс лекций). – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2016. – 192 с.

117. Венцевич, Л.Е. Локомотивные устройства обеспечения безопасности поездов и расшифровка информационных данных их работы: учебник. 2006. – 328 с.

118. Венцевич, Л.Е. Локомотивные скоростемеры и расшифровка скоростемерных и диаграммных лент: учебное пособие. 2010. – 272 с.

119. Воронова, Н.И., Разинкин, Н.Е., Соловьев В.Н. Локомотивные устройства безопасности на высокоскоростном подвижном составе: учебное пособие. 2016. – 92 с.

120. Сорокин, В.Е. Инфраструктура и взаимодействие подсистем интервального регулирования движения поездов В.Е. Сорокин. VII Международная научно-практическая конференция «Научно-технические

аспекты комплексного развития железнодорожного транспорта». Донецк, 2021. – С. 72–74.

121. Весоловски, Кшиштоф. Системы подвижной радиосвязи / Пер. с польского Н.И. Рудицкого. Под ред. А.И. Дедовского. М.: Горячая линия – Телеком. 2006. – 536 с.

122. Типовые требования по созданию на железных дорогах единых центров диспетчерского управления перевозочным процессом (ЕДЦУ)/МПС РФ. НИИЖА. М.: 1997. – 25 с.

123. Коваленко, Н.А., Прокофьева, Е.С., Бессонова, Н.В., Самойлова, И.М. Организация работы диспетчера поездного в условиях автоматизированного рабочего места АРМ ДНЦ: Методические указания. – М.: МГУПС (МИИТ), 2015. – 53 с.

124. Сапожников, Вл.В. Микропроцессорные системы централизации: Учебник для техникумов и колледжей железнодорожного транспорта/ Вл.В. Сапожников и др.; Под ред. Вл.В. Сапожникова. – М.: ГОУ «Учебно – методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. – 398 с.

125. Олифер, В.Г., Олифер, Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 3-е изд. – СПб.: Питер, 2008. – 958 с.: ил.

126. Медведев, А. Печатные платы. Конструкции и материалы. – Москва: Техносфера, 2005. – 304 с.

127. Бервинов, В.И., Доронин, Е.Ю. Локомотивные устройства безопасности: Учебник для техникумов и колледжей ж.-д. транспорта / В.И. Бервинов, Е.Ю. Доронин. – М.: Маршрут, 2005. – 156 с.

128. Кузнецов, К.В., Дайлидко, А.А., Плюгина, Т.В. Локомотивные приборы безопасности: учебное иллюстрированное пособие / К.В. Кузнецов, А.А. Дайлидко, Т.В. Плюгина. – М.: ФГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2011. – 107 с.

129. Горбачёв, А.Ю. Применение одометров для коррекции интегрированных навигационных систем / Горбачёв А. Ю. // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Приборостроение. – 2009. – № 4. – С. 37–53.

130. Сембаев, Н.С., Ставрова, Н.Д. Интеллектуальные транснорные системы: учебное пособие / сост.: Н.С. Сембаев, Н.Д. Ставрова. – Павлодар: Кереку, 2016. – 99 с.

131. Сорока, Н.И., Гривинченко, Г.А. Телемеханика. Модуляция и кодирование информации: учеб. пособие. В 2 ч. Ч.1 / Н.И. Сорока, Г.А. Гривинченко. – Минск: БГУИР, 2020. – 184 с. : ил.

132. Синицын, С.В., Михайлов, А.С., Хлытчиев, О.И. Программирование на языке высокого уровня. – М.: Академия, 2010. – 400 с.

133. Каширин, И.Ю., Новичков, В.С. От Си к Си++. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая Линия – Телеком, 2005. – 336 с.

134. Страуструп, Б. Язык программирования С++. Специальное издание. М.: Издательство Бином, 2011. – 1136 с.

135. Митчелл, Дж. Основания языков программирования. – М.: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2010. – 720 с.

136. Бакланов, А.А. Затраты времени и энергии на ограничения скорости, задержки и остановки поездов / А.А. Бакланов // Известия Петербургского университета путей сообщения / Петербургский гос. ун-т путей сообщения. – СПб, – 2007. – Вып. 2 (11). – С. 115–127.

137. Бобырь, Д.В. Распределение времени хода по перегонам при выборе рациональных режимов ведения грузового поезда / Д.В.Бобырь // Украина: Железнодорожный транспорт. – 2007. - №1. – С. 95–96.

138. Быкадыров, С.А. Об экономической оценке эффекта от изменения скорости продвижения поездов на грузонапряженных железных дорогах / С.А. Быкадыров // Теория и опыт оценки эффективности использования научных результатов в народном хозяйстве: Тезисы докладов. - Новосибирск. – 1983. – С. 189–190.



139. Могила, В.П., Дикая, А.П. Исследование зависимости величины среднеходовой скорости движения поездов и расхода электроэнергии от максимально допускаемой скорости / В.П. Могила, А.П. Дикая // Труды Международной научно-технической конференции «Развитие инфраструктуры». – Хабаровск: ДВГУПС. – 2007. – 134с.

140. Малькевич, Н.А., Шкурин, М.И., Зеньчук, Н.Ф. Ресурсосберегающие технологии в поездной работе / Н.А. Малькевич, М.И. Шкурин, Н.Ф. Зеньчук, // Самарский ин-т инж. ж. - д. транспорта: Межвузовский сб. науч. трудов. – 2001. – №21. – С. 340–344.

141. Бакланов, А.А. Энергетический баланс движения для решения задач снижения расхода электроэнергии на тягу поездов / А. А. Бакланов // Транспорт: наука, техника, управление. – 2005. – № 6. – С. 32–35.

142. Бакланов, А.А. Интегральные характеристики кривой скорости движения поезда / А.А. Бакланов // Повышение тягово-энергетической эффективности магистральных электровозов: межвуз. темат. сб. науч. тр. / Омск: Омский ин-т инж. ж.-д. трансп., 1989. – С. 71–77.

143. Методические рекомендации по расчету ущерба от транспортных происшествий и иных связанных с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта событий в ОАО «РЖД». Распоряжение ОАО «РЖД» от 03.04.2008 № 681р.

144. Алферова, А.А. Экономическое обоснование эффективности ускорения доставки грузов [Текст] / А.А. Алферова // Транспортное дело России. – 2016. – №1(122). – С.132–135.

145. Энергетическая стратегия ОАО «Российские железные дороги» до 2030 года [Электронный ресурс]. - Режим доступа : <http://www.rzd.ru>. Дата обращения: 8.05.2021. – Заглавие с экрана.

146. Алферова, А.А. Риск снижения участковой скорости движения грузового поезда и экономическая целесообразность его учета [Текст] / А.А. Алферова// Железнодорожный транспорта. – 2017. – №3. – С.58–60.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Копии документов о внедрении результатов исследований



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
 ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ  
 ГОСУДАРСТВЕННАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫСШЕГО  
 ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
 «ДОНЕЦКИЙ ИНСТИТУТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА» (ДОНИЖТ)  
 ул. Артема, 184, г. Донецк, 283122  
 E-mail: institut-transporta@mail.ru, тел./факс (062)319-08-31

От 25.08.2021 г. № 529/06

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Диссертационный совет Д 01.024.04

при ГОУВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
 ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

## СПРАВКА

о внедрении результатов исследований диссертационной работы Сорокина Владислава Евгеньевича на тему: «Совершенствование методов и средств интервального регулирования движения поездов на базе цифрового радиоканала», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям) (технические науки) в учебный процесс ГОУ ВПО «ДОНЕЦКИЙ ИНСТИТУТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА»

Результаты диссертационных исследований Сорокина В.Е., а именно: модель функционирования системы интервального регулирования движения поездов на базе цифрового радиоканала; модель функционирования системы интервального регулирования движения поездов с учетом воздействия помех и искажающих факторов; структурно-функциональная модель и алгоритм функционирования оптимизированной системы интервального регулирования; математическая модель определения максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи для грузовых и пассажирских поездов. Внедрены в учебный процесс при чтении курсов лекций по дисциплинам «Автоматика телемеханика на перегонах», «Микропроцессорные информационные управляющие системы автоматики и телемеханики», «Современные беспроводные телекоммуникационные системы и сети» для студентов направления подготовки 23.05.05 «Системы обеспечения движения поездов», что отражено в учебных программах вышеуказанных дисциплин.

Ректор, д.т.н., профессор



М.Н. Чепцов

Начальник учебного отдела

Заведующий кафедрой «Автоматика, телемеханика,  
связь и вычислительная техника», к.т.н., доцент

И.В. Селютин

Радковский

оригиналу

01.024.04

Т.В. Завадская

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА  
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ  
«ДОНЕЦКАЯ ЖЕЛЕЗНАЯ ДОРОГА»  
ДИРЕКЦИЯ ПО ИНФРАСТРУКТУРЕ**

283001, г. Донецк, ул. Артема, 68

тел. 2-41-78, факс 2-46-75

25.08.2021№ 2040/1024

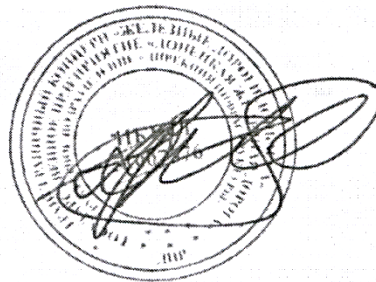
Диссертационный совет Д 01.024.04 при  
ГОУВПО «ДОНЕЦКИЙ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

## СПРАВКА

о внедрении результатов исследований диссертационной работы Сорокина Владислава Евгеньевича на тему: «Совершенствование методов и средств интервального регулирования движения поездов на базе цифрового радиоканала», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям) (технические науки) на ГП «Донецкая железная дорога»

Результаты диссертационных исследований Сорокина В.Е., а именно: программная реализация функционирования оптимизированной системы интервального регулирования движения поездов с учетом максимально допустимого времени отсутствия радиосвязи, внедрены на ГП «Донецкая железная дорога» в виде рекомендаций по повышению эксплуатационной эффективности систем интервального регулирования движения поездов.

Заместитель начальника  
СП «Дирекция по инфраструктуре»



Кравцов А.Н.



Программная реализация функционирования оптимизированной системы  
интервального регулирования движения поездов

```
typedef unsigned char alt_u8;
typedef unsigned long alt_u32;

alt_u8 coor_error;
alt_u32 coordinates,break_coordinates;
alt_u32 t_lost_comm,tmax;

int IRDP(void) {
    coor_error = receiving_coor(TRAIN1);
    if (coor_error) {
        coordinates = coor_calc(p/sig^2);
        tmax = calc_tmax();
        if (t_lost_comm < tmax) break_coordinates = break_train();
        else {
            trajectory_prognosis();
            break_coordinates = correct_break_coordinates();
        }
    }
    else break_coordinates = calc_break_coordinates();

    transmit_break_coordinates(break_coordinates);
}
```