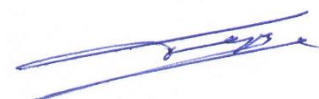


Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Самарский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВО СамГУПС)

На правах рукописи



Герус Владимир Леонидович

**ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ
ПЕРЕЕЗДАХ НА ОСНОВЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ УПРАВЛЕНИЯ
АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПЕРЕЕЗДНОЙ СИГНАЛИЗАЦИЕЙ**

Специальность 05.22.08 – Управление процессами перевозок
(технические науки)

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель –
доктор технических наук,
профессор Е.М. Тарасов

Самара – 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ПРИЧИННО - СЛЕДСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПЕРЕЕЗДАХ	11
1.1 Оценка развития железнодорожных переездов	13
1.2 Причинно-следственный анализ состояния безопасности на железнодорожных переездах	16
1.3 Факторный анализ происшествий на переездах	23
Выводы по первой главе.....	30
2 МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ И СНИЖЕНИЮ АВАРИЙНОСТИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕЕЗДАХ	31
2.1 Правовое и профилактическое регулирование мероприятий по безопасности на ЖДП.....	35
2.2. Организационные мероприятия.....	36
2.3. Технические мероприятия по повышению безопасности на железнодорожных переездах	41
2.4. Инновационное направление развития АПС на переездах	52
Выводы по второй главе.....	54
3. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ИНФОРМАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ КООРДИНАТЫ ПОЕЗДА.....	56
3.1 Разработка структурной схемы датчика координаты поезда	57
3.2 Формирование системы информативных признаков координаты поезда ..	63
3.3. Разработка математических моделей информативных признаков	72
3.4. Исследование возможностей определения координаты поезда информацией отдельных признаков	79
3.5. Анализ результатов исследований	84
Выводы по третьей главе.....	85
4. РАЗРАБОТКА ВЫЧИСЛИТЕЛЯ КООРДИНАТЫ И СКОРОСТИ ПОЕЗДА С КОРРЕКТИРУЮЩИМ АЛГОРИТМОМ	86
4.1. Определение вида и сложности уравнения вычислителя координаты поезда.....	87
4.2. Реализация уравнения координаты поезда.....	94

4.3. Разработка принципа корректировки уравнения координаты поезда при расстройке алгоритма распознавания	96
4.4. Реализация принципа корректировки уравнения координаты поезда	100
4.5. Анализ результатов исследований	108
Выводы по четвертой главе	110
5 ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНОГО УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПЕРЕЕЗДНОЙ СИГНАЛИЗАЦИЕЙ С КОРРЕКТИРУЮЩИМ АЛГОРИТМОМ	112
5.1. Разработка структурной схемы автоматической переездной сигнализации с корректирующим алгоритмом	114
5.2. Разработка структурной схемы микропроцессорного устройства управления АПС.....	118
5.3. Разработка двухканального микропроцессорного устройства управления АПС нагруженным резервом	121
5.4. Многоканальная микропроцессорная система управления АПС нагруженным резервом.....	127
5.5. Разработка принципа извещения о приближении и направлении движения поездов по переезду	130
Выводы по пятой главе.....	133
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	134
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	136
ПРИЛОЖЕНИЕ А Коды стран.....	150
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Программа исследования коэффициентов корреляции информативных признаков в шунтовом режиме.....	152
ПРИЛОЖЕНИЕ В Таблица коэффициентов корреляции.....	157
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Программа исследования изменения первичных информативных признаков - комплексных амплитуд напряжения и тока на входе рельсовой линии.....	161
ПРИЛОЖЕНИЕ Д Таблицы и графики результатов расчетов минимальных и максимальных значений информативных признаков.....	163
ПРИЛОЖЕНИЕ Е Патент на изобретение.....	196
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж Акты об использовании результатов диссертационной работы.....	198

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Железнодорожные переезды играют важную роль в транспортно – логистической сети России и зарубежных стран. Они обеспечивают системное и безопасное регулирование транспортных потоков на пересечениях с железными дорогами на одном уровне. Увеличение массы поездов до 7-12 тыс. т., внедрение скоростных поездов, повсеместное использование тяжеловесных автомобильных тягачей с весом полуприцепов до 40-60 т. внесли существенные изменения во временные интервалы работы автоматической переездной сигнализации. В связи с возросшим потоком автотранспорта и интенсивностью движения поездов ситуация с обеспечением безопасности на переездах в последние годы стала особенно острой. Одной из основных причин нарушения безопасности является то, что существенно возросло время закрытого состояния переезда из-за того, что увеличилась длина участка приближения, и, при движении (особенно длинносоставных) поездов с малой скоростью, время ожидания разрешения движения автотранспорта превышает 40-50 минут, что приводит к нарушению требований безопасности проезда через переезд. Водители автомобилей, которые заранее прогнозируют длительную стоянку у закрытого переезда, или уже значительное время ожидают открытия переезда, опасно маневрируя, пытаются объехать опущенный шлагбаум или проехать на запрещающий огонь переездного светофора. При этом необходимо отметить, что немаловажную роль играет психологический фактор: водители неадекватно оценивают степень риска, при невидимости поезда, приближающегося к переезду, и не могут рассчитать время его прибытия к переезду. Поэтому к основным причинам нарушения безопасности на переезде относятся: 86% – проезд запрещающих светофоров; 12% - объезд водителями шлагбаумов.

Существующие системы не информируют водителей о времени до прихода поезда на переезд, отсутствует информация о направлении движения поезда к переезду, о поездной ситуации на переезде – об одновременном движении поездов по другим путям при движении поезда по ближнему пути, т.к. он закрывает видимость других путей. Кроме того, у них жесткий алгоритм управления - при

вступлении на рельсовую цепь поезда, дискретно происходит закрытие переезда для движения автомобилей, не зависимо от скорости поезда. Поэтому создание системы управления ограждающими устройствами с усовершенствованным алгоритмом функционирования, учитывающим координату и скорость поезда на участке приближения, и оперативно предоставляющим водителям информацию о поездной ситуации на переезде, является актуальной научно–технической задачей и имеет важное народно-хозяйственное значение.

Диссертационные исследования согласуются Стратегией научно – технического развития холдинга «Российские железные дороги» на период до 2020 года и перспективу до 2025 года, где одним из научно-технических приоритетов определено повышение уровня безопасности производственных процессов и эксплуатационной готовности, а одной из задач, направленных на достижение поставленной цели, является «Разработка комплекса технических средств для различных классов железнодорожных переездов, обеспечивающих повышенный уровень защиты, непрерывный мониторинг».

Выполненное исследование соответствует паспорту специальности 05.22.08, которое, согласно формуле, раскрывает содержание специальности – совершенствование существующих и разработка новых технических и технологических решений в организации, управлении перевозочным процессом, в том числе - движением поездов.

Степень разработанности темы исследования. Вопросы теории и практики создания автоматизированных систем управления движением на железнодорожных переездах и обеспечения безопасности функционирования систем интервального регулирования поездов разработаны в трудах известных ученых Брылеева А.М., Кравцова Ю.А., Лисенкова В.М., Бестемьянова П.Ф., Белякова И.В., Сапожникова В.В., Сапожникова Вл. В., Годяева А.И., Алексеева В.М., Котляренко Н.Ф., Степенского Б.М., Бушуева С.В. и др. Анализ литературных источников показывает, что решение обозначенной в работе проблемы осуществляется за счет модернизации различных компонент комплекса автоматической переездной сигнализации. К ним можно отнести значительную

глубину исследования принципа управления сигнализацией с жестким алгоритмом функционирования с фиксированной длиной участка приближения. Попытка изменения длины участка приближения и, соответственно, времени ожидания в зависимости от скорости поезда методами зондирования рельсовых линий короткими импульсами наталкивается на техническую сложность системы с невысокой надежностью. Поскольку задача повышения безопасности на железнодорожных переездах особо актуальная и, с учетом того, что в настоящее время имеющиеся теоретические и практические разработки недостаточно полно решают задачи по минимизации времени закрытого состояния переездов, особенно своевременны работы, посвященные решению локальных задач по непрерывному определению координаты и скорости поезда и, соответственно, управления переездной сигнализацией по алгоритму минимального времени закрытого состояния переезда, информированности водителей автотранспорта о ситуации на переезде.

Цель работы и основные задачи исследования. Основной целью исследований является разработка и научное обоснование предложений, направленных на разработку алгоритма функционирования переездной сигнализации на основе информации о местоположении и скорости поезда с самонастройкой уравнения координаты движения поезда, и расширение информационных возможностей.

Для достижения поставленной цели сформированы следующие задачи:

- анализ развития и современного состояния безопасности движения на переездах для выявления системных причин, вызывающих нарушение безопасности движения на переездах;
- исследование оснащенности инфраструктуры переездов техническими средствами для определения наиболее эффективных средств и технологий для обеспечения безопасности на переездах;
- разработка методики формирования множества первичных признаков, характеризующих местоположения поезда на основе селекции априорного множества признаков;

– разработка вида и сложности уравнения координаты поезда и методики самонастройки уравнения с аргументами – первичными признаками с целью повышения точности вычисления местоположения поезда;

– исследование разработанного алгоритма самонастройки при изменении первичных параметров датчика координаты - рельсовой цепи - с целью выявления корректирующих возможностей разработанной методики;

– разработка структурной схемы микропроцессорной реализации управляющей системы ограждающими устройствами звеном самонастройки уравнения координаты поезда и блока управления информационным табло для оперативного информирования водителей о поездной ситуации на переезде, а также о времени приближения поездов к переезду.

Объектом исследования являются устройства автоматики и телемеханики на линиях и станциях; устройства обеспечения безопасности перевозок, в частности, устройства ограждения на переездах.

Область исследования: системы обеспечения безопасности движения поездов, методологии построения; системы автоматики и телемеханики, управляющие перевозочным процессом, методы построения, принципы технической реализации и испытания.

Методология и методы исследований. В соответствии с паспортом специальности 05.22.08. п. 6 (методологии и системы обеспечения безопасности движения) и п. 7 (системы автоматики и телемеханики, предназначенные для управления перевозочным процессом, методы их построения и испытания) при работе над диссертацией автором использованы основные положения аппарата теории электрических цепей, самонастраивающихся систем, матричных методов исследований. Расчеты выполнялись на ПЭВМ с использованием математических пакетов Mathcad 15. Математические модели, схемы замещения рельсовых линий выполнены с использованием теории четырехполюсников и линий с распределенными параметрами.

Научная новизна работы заключается в следующем:

– новый принцип непрерывного вычисления местоположения поезда на основе уравнения координаты с аргументами – входными электрическими параметрами рельсового четырехполюсника, что позволяет информировать водителей о времени до прихода поезда на переезд, минимизировать время ожидания водителей у закрытого переезда, и повысить безопасность на железнодорожных переездах;

– методика селекции первичных информативных признаков, являющихся аргументами уравнения координаты, позволяющая формировать минимальный набор из множества признаков, обладающих максимальной информативностью;

– обобщенные математические модели первичного датчика информации, учитывающие подверженные влиянию параметры и позволяющие исследовать входные электрические параметры рельсового четырехполюсника при изменении вариативных параметров;

– методика самонастройки уравнения координаты поезда, позволяющая, рекуррентно изменяя вид и сложность уравнения, добиться максимальной точности вычисления его местоположения.

Теоретическая и практическая значимость работы. По результатам проведенных теоретических исследований расширены возможности автоматической переездной сигнализации в сторону минимизации времени закрытого состояния переезда, что позволяет формировать новый класс железнодорожных переездов, с существенно увеличенной пропускной способностью, обеспечивающих повышенный уровень безопасности движения поездов и автотранспорта.

Разработанный и предложенный в работе принцип вычисления координаты поезда с самонастраивающимся уравнением (патент RU 2651379) с алгоритмом адаптивной коррекции коэффициентов уравнения позволяет минимизировать время ожидания водителей у закрытых переездов, исключить их нервозность и, соответственно, повысить безопасность проезда переездов.

Предложенный в работе принцип расширения информированности водителей о времени подхода поезда, о ситуации на переезде позволяет водителям

своевременно получать информацию о поездной ситуации, что также повышает безопасность на переезде.

Реализация результатов работы осуществлена, путем внедрения опытного образца информационно-управляющей системы управления переездом на ст. Самарка. Математические модели рельсовых цепей участка приближения, позволяющие исследовать комплексные амплитуды напряжений и токов на входе рельсовой цепи, использованы в системе автоматизированного проектирования устройств автоматики и телемеханики в проектно-изыскательском институте «Желдорпроект Поволжья». Теоретические результаты, полученные в работе, используются в Самарском государственном университете путей сообщения в учебном процессе на кафедре «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» .

Основные положения работы, выдвигаемые на защиту:

1. Результаты анализа нарушения безопасности на переездах позволили выявить сезонность, зависимость от дней недели и от времени суток нарушений водителями проезда переездов, эта информация может быть использована органами исполнительной власти для принятия мер организационного характера повышения безопасности на переездах.

2. Математические модели информативных признаков позволяют проанализировать степень влияния колебаний первичных параметров датчика на комплексные амплитуды напряжений и токов на входе рельсового четырехполюсника, являющиеся первичными информативными признаками и характеризующие координаты поезда.

3. Методика оценки информативности первичных признаков с использованием уравнения вычислителя координаты поезда позволяет провести селекцию признаков по информативности.

4. Предложенная и созданная информативно – управляющая система ограждающими устройствами переезда с самонастраивающимся уравнением координат поезда имеет высокие эксплуатационные характеристики, может быть рекомендована к широкому внедрению на сети железных дорог Холдинга ОАО «РЖД».

Степень достоверности и апробация работы. Достоверность результатов работы подтверждены соответствием теоретических и практических исследований в лабораторных и экспериментальных условиях. Основные положения и результаты диссертационных исследований доложены и прошли обсуждение в работе Международных научно-практических конференций, в том числе: «Наука и образование транспорту» (Самара, 2015), «Инновации в системах обеспечения движения поездов» (Самара, 2016), «Информационные технологии и нанотехнологии - ИТНТ-2016» (Самара, 2016), «Перспективные информационные технологии (ПИТ-2017)» (Самара, 2017), «Трансформация научной мысли в XXI веке» (Москва, 2017), «Транспорт, наука, образование в XXI веке: опыт, перспективы, инновации» (Оренбург, 2017), «Наука и образование транспорту» (Самара, 2017), «Молодежная наука в XXI веке: традиции, инновации, векторы развития» (Оренбург, 2018), «Наука и образование транспорту» (Самара, 2018).

В окончательном варианте результаты диссертационных исследований доложены и обсуждены на расширенном заседании кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» СамГУПС 18 сентября 2018 года, а также на совместном расширенном заседании кафедр «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» и «Управление эксплуатационной работой» УрГУПС 23 ноября 2018 году, и получили одобрение.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 15 научных работ, в том числе – 1, входящая в международные реферативные базы данных и системы цитирования Web of Science, 5 – в ведущих рецензируемых журналах, определенных ВАК Минобрнауки России для публикации результатов кандидатских и докторских диссертаций, получен 1 патент на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертационное исследование состоит из введения, 5 глав, заключения, списка использованных источников и приложения. Материалы диссертации изложены на 149 страницах основного текста, содержат 70 иллюстраций, 1 таблицу, 7 приложений. Библиографический список включает в себя 137 наименований.

1 ПРИЧИННО - СЛЕДСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПЕРЕЕЗДАХ

Железнодорожные переезды играют важную роль в транспортно-логистической сети России и зарубежных стран. Они обеспечивают системное регулирование транспортных потоков на пересечениях с железными дорогами и безопасное пересечение автотранспортом железных дорог на одном уровне. Вследствие возросшего потока автотранспорта и интенсивности движения поездов, переезды на магистральном железнодорожном транспорте стали местом потери производительности железнодорожного и автотранспорта, вероятности аварий, крушений поездов. Этот фактор влияет негативно на эксплуатационные показатели автомобильного и железнодорожного транспорта. Со стороны железнодорожного транспорта появляются риски аварий, простои поездов по причине устранения последствий аварий, вынужденное ограничение скорости поездов из-за неудовлетворительного состояния пути в зоне переездов, а для автотранспорта – длительные простои, значительный ущерб вследствие аварий, задержка спецавтотранспорта МЧС, школьных автобусов, скорой помощи, т.е. транспортных средств, обеспечивающих неотложные услуги [1–2]. В связи с изменением вагонного и тягового парка условия эксплуатации переездов изменились, а именно, повысилась скорость поездов, а также их масса, и существенно увеличился тормозной путь, следовательно, увеличилась длина участка приближения и, соответственно, время ожидания прохода поездов, движущихся со скоростью меньшей, чем установленная. В то же время автотранспорт тоже модернизировался, появились колесные тягачи, перевозящие полуприцепы и прицепы массой 40–50 тонн, которые интенсивно разрушают покрытие переездов и это вынуждает снижать скорость автотранспорта, следующего через переезд до 3–5 км/час, следовательно, образуются огромные очереди автотранспортных средств (АТС) у переездов, что также увеличивает риски совершения аварий водителями АТС.

С точки зрения экономики, переезды с жестким алгоритмом функционирования приводят к непроизводительным простоям автотранспортных средств, отрицательно

вливают на экономику региона, т.к. вносят изменения в технологический процесс предприятий, расположенных около железных дорог, у которых переезды включены в логистическую цепочку технологического процесса и значительные простои приводят к частым изменениям маршрута автотранспорта [3–5]. Вероятность совершения на переездах аварий остается наиболее насущной проблемой, связанной с эксплуатацией переездов, а аварии сопровождаются особо тяжкими последствиями. Тяжесть последствий аварий связана несоизмеримостью масс поезда и автотранспортного средства и, как правило, приводит к исключению АТС из инвентарного парка. Основная причина аварий – это недисциплинированность, игнорирование правил дорожного движения (ПДД), а также невнимательность при приближении и движении по переездам водителей АТС. Следовательно, инновационные разработки должны быть направлены на обеспечение минимизации простоя автотранспорта у закрытых переездов и ориентированы на создание безопасных условий движения, расширение возможностей по информированности водителей АТС о дорожной ситуации на переезде.

В этих условиях становятся значимыми вопросы регламентации гарантированной безопасной скорости движения через переезды, повышения пропускной способности переездов, разработки систем управления автоматической переездной сигнализацией (АПС) с учетом координаты и динамики движения поездов [6–8].

Основными факторами, определяющими причины аварийности на железнодорожных переездах (ЖДП), являются:

- игнорирование правил проезда через ЖДП водителями транспортных средств, а также грубое нарушение ПДД;
- ошибочная оценка дорожно-транспортной обстановки водителями на переездах, особенно при приближении к ЖДП одиночных локомотивов и пассажирских поездов;
- несоблюдение норм содержания подходов к ЖДП и в их границах;
- несовершенство алгоритмов управления АПС.

Холдинг ОАО «РЖД» уделяет значительное внимание работам по улучшению технического состояния переездов и использованию современных инновационных разработок, вопросу обеспечения безопасности движения на ЖДП, оснащения переездов техническими средствами, направленными на снижение аварийности. Но положение с обеспечением безопасности дорожного движения (БДД) на ЖДП не уменьшается и вызывает особую тревогу [9]. Важность и актуальность выполнения работ по обеспечению безопасности на ЖДП отмечается во всем мире, где используется железнодорожный транспорт и переезды. Поэтому необходимы исследования уровня безопасности на ЖДП и оценка способов обеспечения безопасности в контексте мировых тенденций.

1.1 Оценка развития железнодорожных переездов

В странах Европейского железнодорожного агентства (ЕЖДА) число железнодорожных переездов в 2014 г. значилось от 124 в Люксембурге, до 16 000 во Франции (рис. 1.1) [10]. В других странах, не входящих в ЕЖДА, количество железнодорожных переездов имеет серьезный разброс и насчитывает от 3 100 в Турции до 210 000 в США. В Российской Федерации в 2014 году насчитывалось 10 945 переездов, около 80 % из них в настоящее время расположены в Европейской части страны, и характеризуются высокой плотностью потоков железнодорожного и автомобильного транспорта. На рис 1.1 приведено количество переездов в наиболее развитых странах по данным Европейского железнодорожного агентства.

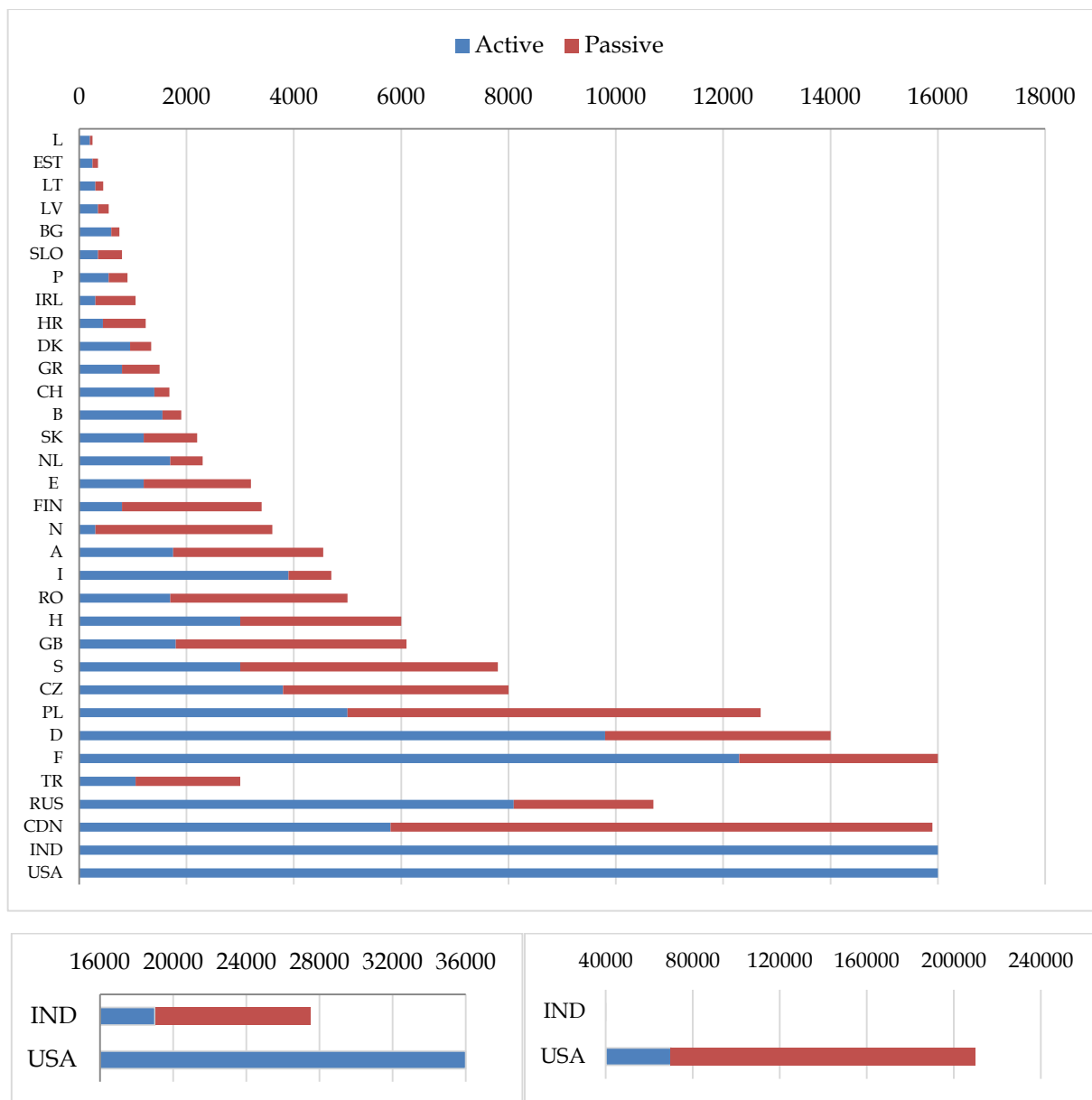


Рисунок 1.1 - Число железнодорожных переездов в 2014 году, коды стран приведены в Приложении А.

Политика в области повышения безопасности и увеличения пропускной способности автотранспорта на железнодорожных переездах в странах, где значительная сеть железных и автодорог, в основном, направлена на сокращение числа переездов путем строительства современных путепроводных транспортных развязок. В последние годы число железнодорожных переездов в большинстве стран ЕЖДА сократилось (рис. 1.2).

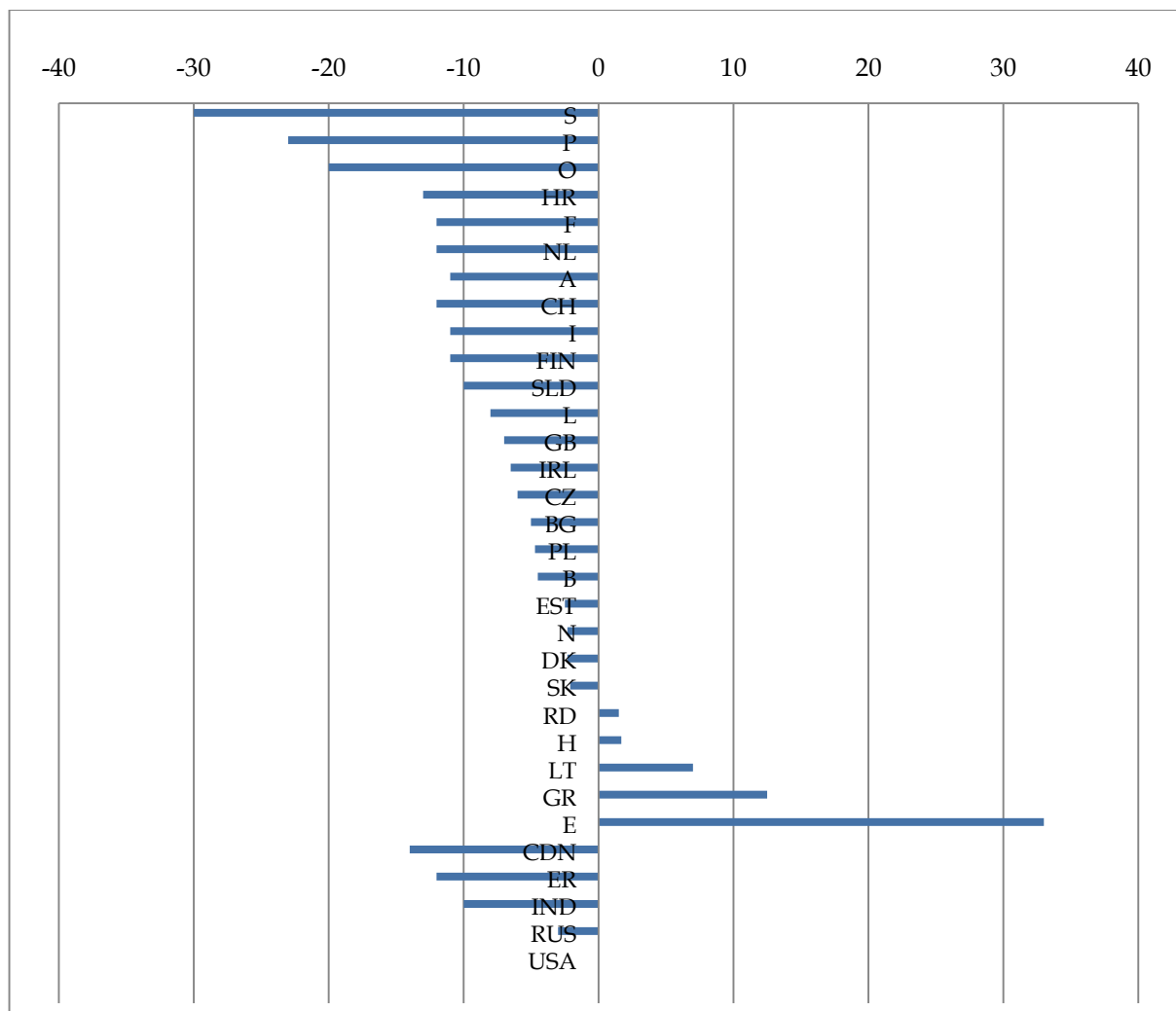


Рисунок 1.2 - Процентное изменение числа железнодорожных поездов за 2010–2014 годы

За пятилетку это сокращение составило от 30 % (Швеция) до 2 % (Дания, Словакия). В пяти странах ЕЖДА было зарегистрировано увеличение числа железнодорожных поездов, составившее от 1 % (Венгрия и Латвия) до 14 % (Греция), в некоторых странах превозвысило 20 % (Болгария и Испания). В США в процентном отношении число железнодорожных поездов уменьшилось настолько незначительно на фоне количества поездов, что практически, можно считать, осталось без изменений.

На железных дорогах Холдинга ОАО «РЖД» по программе модернизации за последние 5 лет закрыты 523 поезда, что составляет около 5 % [11] (рис. 1.3).

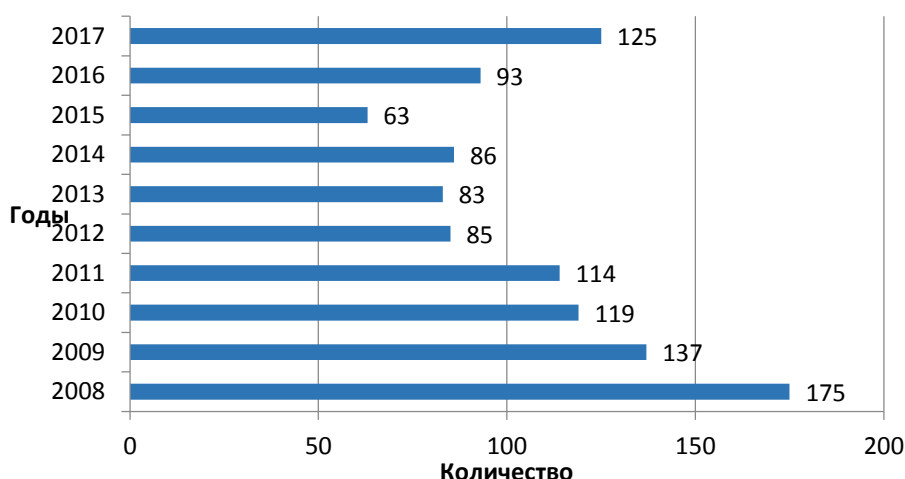


Рисунок 1.3 - Темпы закрытия переездов 2008–2017 гг.

Из анализа динамики закрытия переездов следует, что в последние годы темп закрытия переездов ОАО «РЖД» значительно подрос. [12]. Однако наличие значительных сельхозугодий требует непрерывного обращения сельскохозяйственной техники между местами постоянного нахождения и проведения работ, которые зачастую могут находиться на другой стороне железной дороги. Так, на одном из участков Ю-Уральской ж. д. для сельхозпроизводителей вынуждены содержать на участке длиной около 10 км 3 малодеятельных переезда с оповестительной сигнализацией. Т.е. к дальнейшему закрытию Холдинг подходит с учетом экономических последствий не только железнодорожного транспорта, но и реального сектора экономики.

1.2 Причинно-следственный анализ состояния безопасности на железнодорожных переездах

Вместе с тем, статистика подтверждает, что сокращение числа переездов не приводит к пропорциональному уменьшению ДТП на оставшихся переездах. Среднегодовое число серьезных аварий, сопровождающихся гибелью людей и/или имеющих иные серьезные последствия, на железнодорожных переездах в значительной степени варьируется. В директиве Комиссии ЕС по железнодорожной безопасности 2016/798/EU [2] содержится определение термина «серьезная авария» – любая авария с участием, по крайней мере, одного

движущегося железнодорожного транспортного средства, в результате которой один человек погиб или тяжело ранен, либо нанесен значительный ущерб парку подвижного состава, путям, другому оборудованию инфраструктуры или окружающей среде, либо произошел крупный сбой в движении поездов.

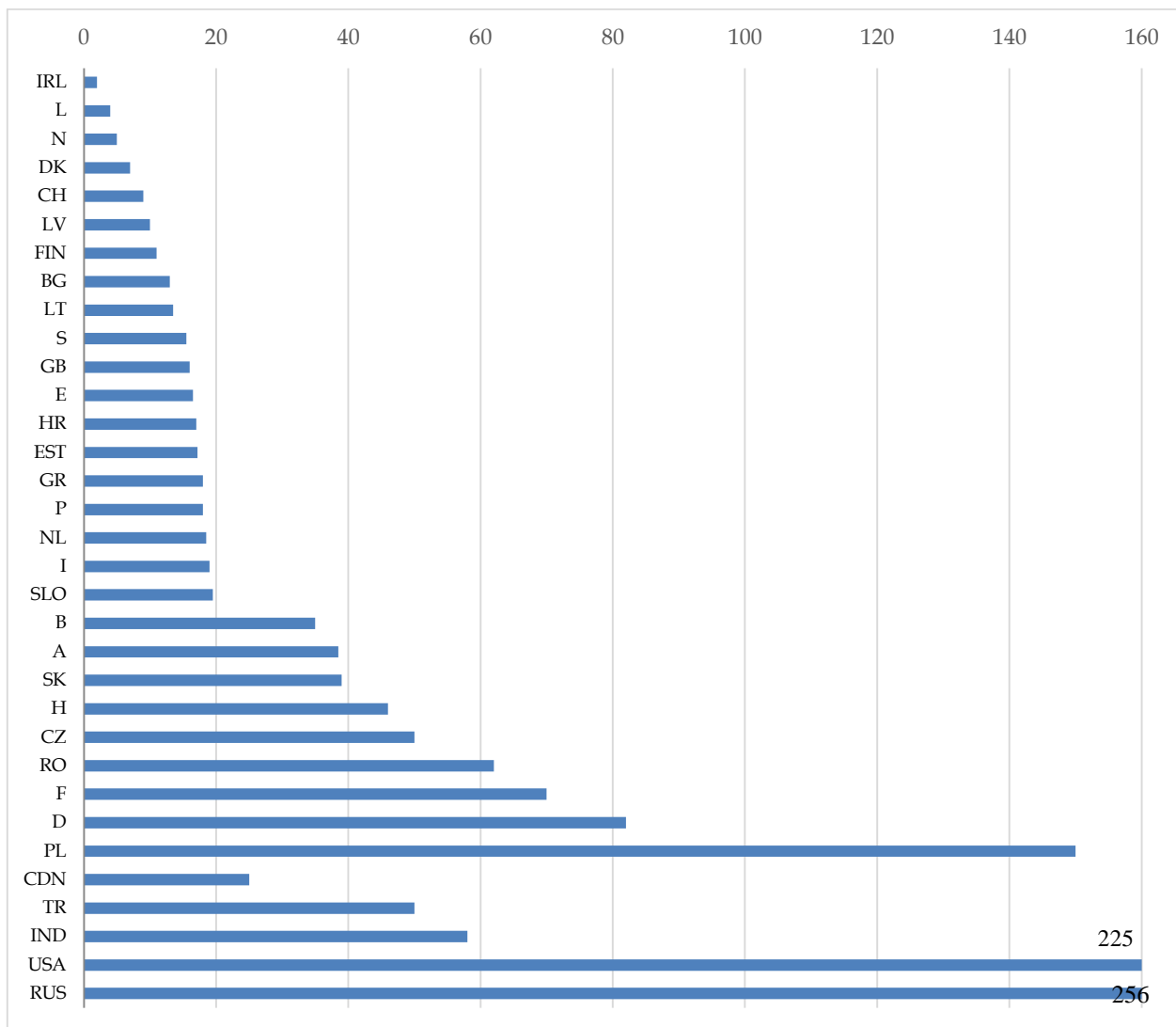


Рисунок 1.4 - Абсолютное число серьезных аварий и аварий со смертельным исходом за период 2006–2014 годы

В период 2006–2014 гг. в странах ЕЖДА среднегодовое значение составляло от 1 аварии (Ирландия) до 152 (Польша) (рис. 1.4). В других странах число аварий на ЖДП, сопровождавшихся гибелью людей и/или имеющих иные серьезные последствия, варьировалось в среднем от 24 аварий (Канада) до более 250 аварий (Российская Федерация) в год.

Относительная оценка уровня безопасности на ЖДП (на 1000 поездов) показывает иные результаты (рис. 1.5).

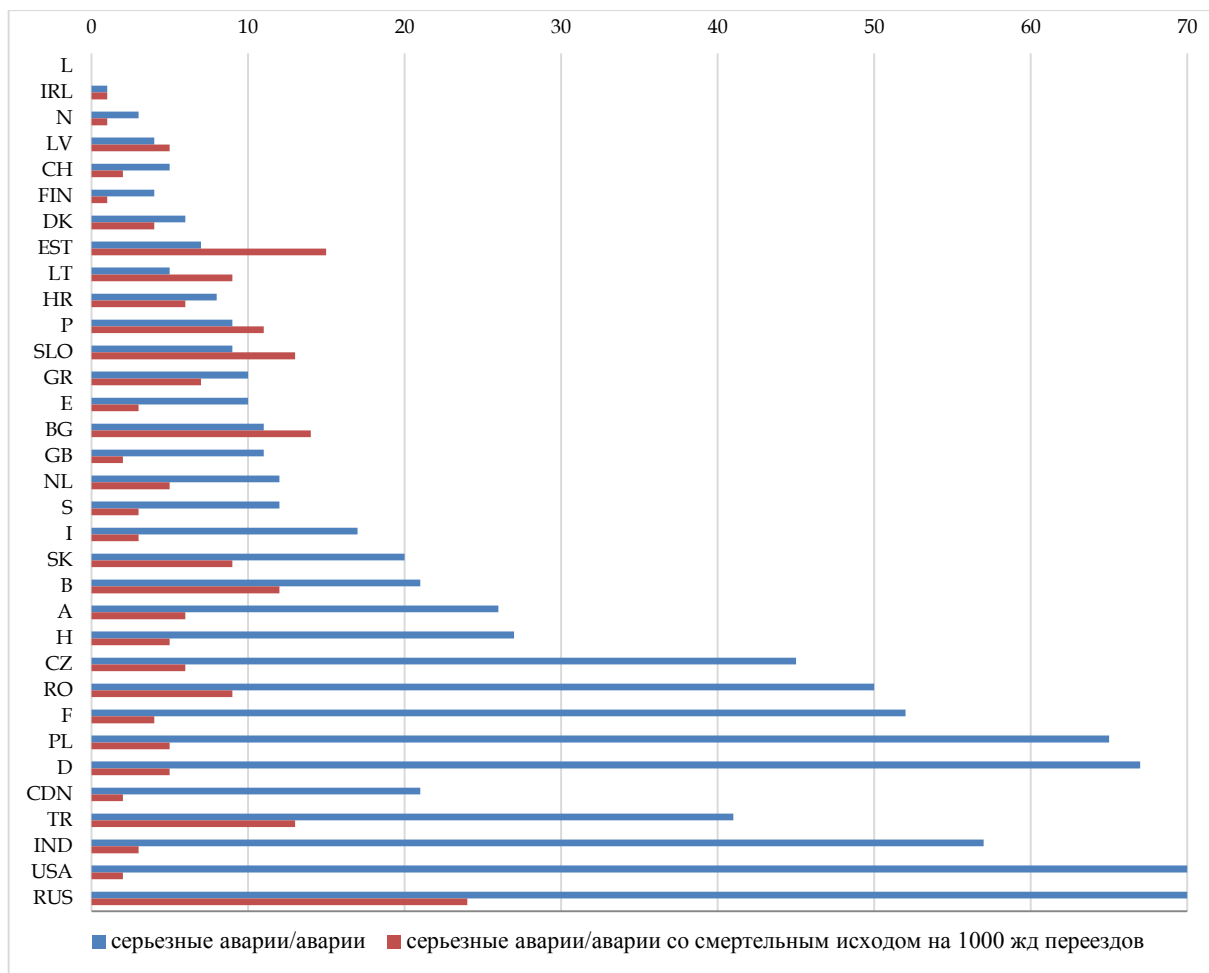


Рисунок 1.5 - Число серьезных аварий в расчете на 1000 железнодорожных поездов

В странах Евросоюза, а также других странах, где наблюдается значительное число аварий на переездах (Франция, Германия, Польша и США) и имеется большое количество железнодорожных поездов (ЖДП), с точки зрения соотношения между числом аварий и числом ЖДП располагают лучшими результатами, чем страны с меньшим числом аварий и железнодорожных поездов (Болгария и Эстония). На дорогах Российской Федерации ситуация иная, т.к. количество поездов значительно меньше, а число аварий со смертельным исходом больше.

Причины аварийности в зоне ЖДП Холдинга ОАО "РЖД" показали, что количество аварий, в основном, зависит от многих факторов, а именно, от времени и сезона, обустройства переездов современными техническими средствами АПС, автошлагбаумами и устройствами заграждения переездов (УЗП). Для снижения рисков транспортных происшествий на ЖДП ОАО «РЖД» непрерывно работает

над задачей оптимизации числа переездов, обоснованием закрытия переездов на малодейственных железнодорожных участках, а также ликвидации переездов, находящихся в зоне построенных автодорожных путепроводных развязок [13].

На рис. 1.6 представлены графики уменьшения железнодорожных переездов на сети ОАО «РЖД» за период 2008–2017 гг.

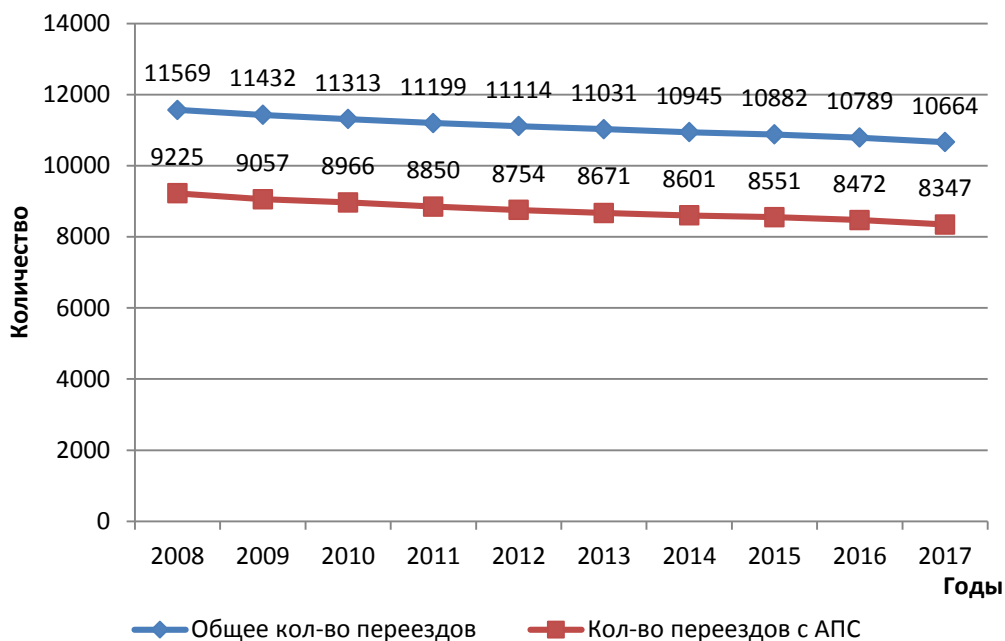


Рисунок 1.6 - Динамика снижения количества железнодорожных переездов

Как следует из графиков, за исследованный период общее число переездов сократилось приблизительно на 8 %, а количество переездов без дежурных сократилось на 9,5%. Это связано с закрытием малодейственных неохранных переездов на высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва-С-Петербург и с требованиями ликвидации переездов на ВСМ [14]. Работа по закрытию переездов Холдингом ОАО «РЖД» с органами власти на местах и ГИБДД продолжается.

К сожалению, несмотря на сокращение количества переездов, ДТП на оставшихся переездах практически не снижается. Это является консервативным путем увеличения безопасности движения и сокращения ДТП на переездах.

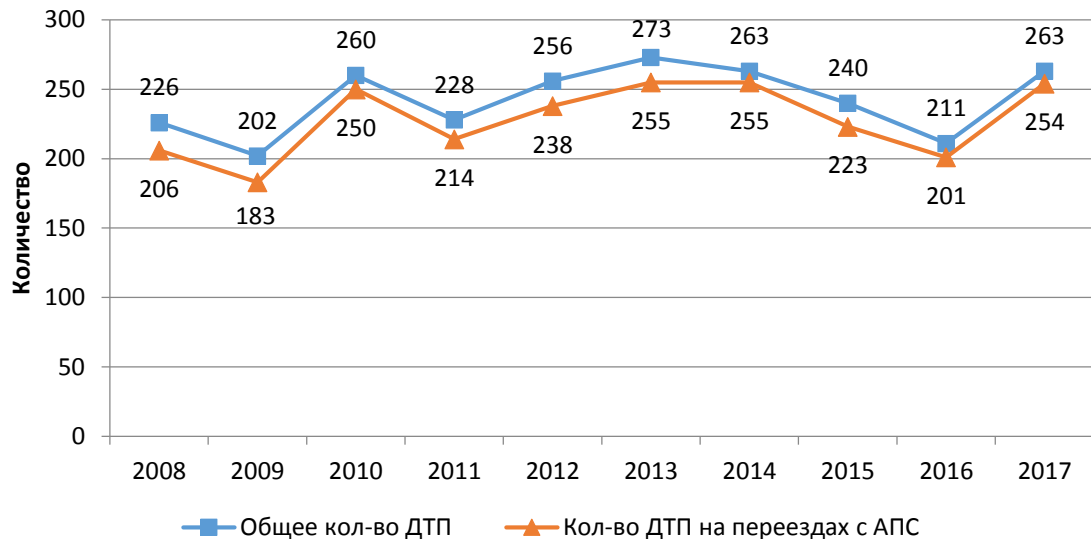


Рисунок 1.7 - Динамика количества ДТП и на переездах

На Приволжской железной дороге эксплуатируются 532 переезда, что составляет около 5 % от общего их количества (10664 шт.), а количество ДТП на переездах Приволжской дирекции инфраструктуры в 2017 – 11 (рис. 1.8), что составляет 4 % от сетевого значения.

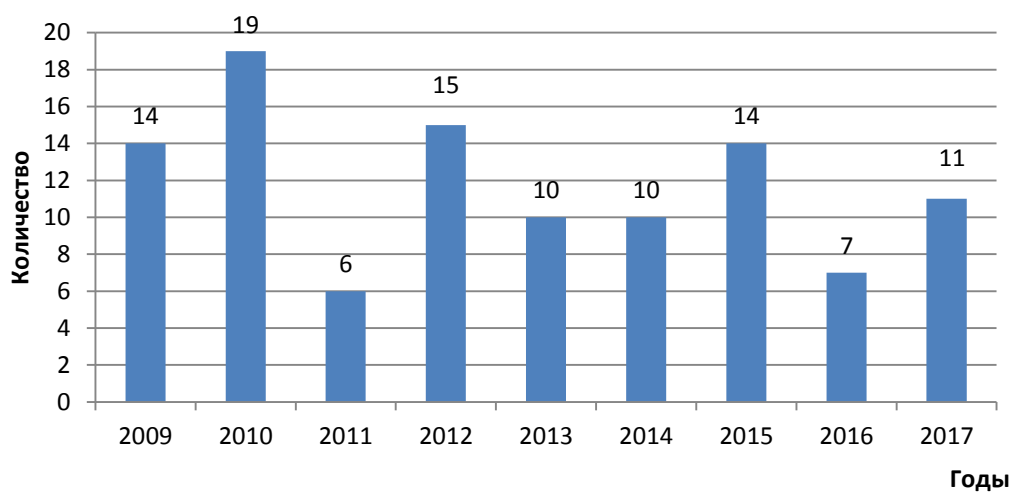


Рисунок 1.8 - Динамика ДТП на переездах Приволжской железной дороги

Сравнение количества ДТП Приволжской ж.д. и ДТП на сети железных дорог показывает на существенную корреляционную зависимость, особенно за последние три года.

По отдельным видам ДТП на переездах сети железных дорог, особенно с пассажирскими поездами, ситуация неизменна, а значительное количество

столкновений вне переездов указывает на несовершенство запретительных мер въезда на переезд.



Рисунок 1.9 - Динамика количества отдельных видов ДТП

Из графиков следует, что за исследованный период количество происшествий с пассажирскими поездами практически осталось неизменным. Из-за увеличения скорости локомотивов увеличилось ДТП с одиночными локомотивами.

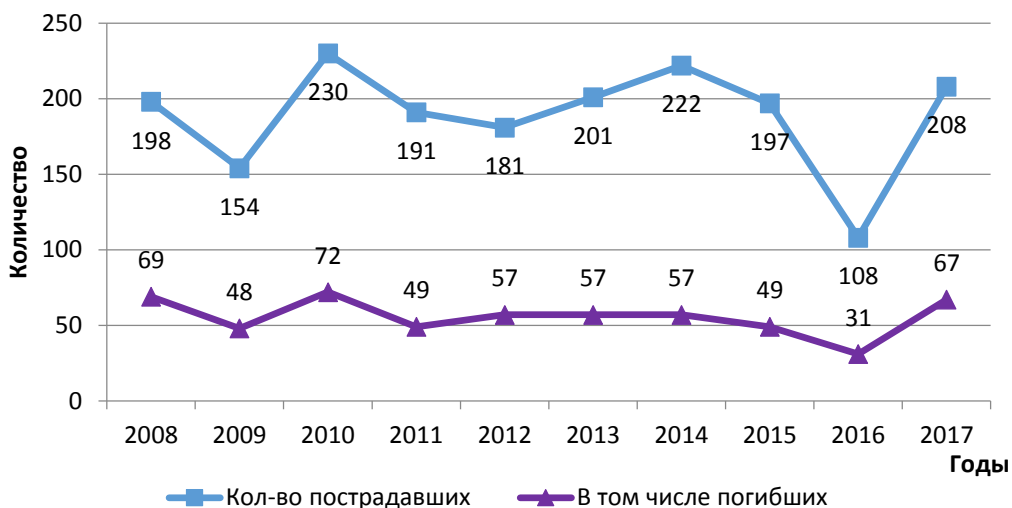


Рисунок 1.10 - Графики количества пострадавших и погибших в ДТП на железнодорожных переездах

Тревожным фактом является возросшее в 2017 году количество погибших и пострадавших в ДТП граждан. В последние годы тяжесть ДТП предельно высока, т.к. высокие скорости поездов не оставляют шанса на жизнь водителям при ДТП на переездах. Так, по оперативным данным, за 6 месяцев 2018 года на

железнодорожных переездах по вине водителей допущено уже 139 столкновений железнодорожного подвижного состава с транспортными средствами, что на 1,5% больше, чем в 2017г. При этом количество погибших в результате ДТП **увеличилось на 11%** (с 19 до 21 человека). И это несмотря на оснащение значительного количества переездов устройствами АПС. Это показывает на то, что современная АПС функционирует по жесткому алгоритму, т.е. без учета координаты и скорости поезда. С учетом существенного увеличения скорости движения поездов и веса грузовых поездов, изменилась динамика движения поездов в зоне переездов, что существенно усугубляет ситуацию с обеспечением безопасности [15–16]. Если ранее водителям удавалось нарушить ПДД без последствий из-за низких скоростей поездов (удавалось «проскочить»), то в настоящее время водители не могут достоверно оценить действительную скорость приближающегося поезда из-за других динамических характеристик современных локомотивов.

Несмотря на предпринимаемые меры железными дорогами [17–18], положительных результатов для улучшения дорожно-транспортной дисциплины со стороны водительского состава добиться не удастся. Так, среди нарушений водителями транспортных средств (ТС) правил проезда переездов необходимо отметить следующие: проезд запрещающего сигнала переездной сигнализации является основным видом нарушений ПДД и составляет 240 случаев (167 – 2016 г.), объезд закрытого шлагбаума составляет 4 случая (5 – 2016 г.), иные причины составили 19 случаев (39 – 2016 г.). Исследования возрастного состава водителей-нарушителей ПДД показывают, что 23 % нарушений приходится на возраст водителей 30–40 лет, 20 % – 41–50 лет и 19 % – 21–30 лет, т.е. на возрастной диапазон от 20 до 50 лет приходится 62 % нарушений ПДД на переездах. Низкая информированность о поездной ситуации в районе переезда тоже является причиной совершения аварий. Опрос водителей автотранспорта, пользующихся железнодорожными переездами, показал, что 70 % водителей одобряют внедрение систем информирования водителей, предоставляющих информацию о поездной ситуации на участках приближения к переездам [19].

1.3 Факторный анализ происшествий на переездах

На рис. 1.11 представлена динамика изменения основных видов нарушения водителями ПДД на переездах за 2016–2017 гг.

Очевидно, количество ДТП коррелируется с интенсивностью движения автотранспорта по дорогам в течение часа, недели, месяца и года. Динамика ДТП также варьируется в течение суток, дней недели, месяца, и функциональная зависимость динамики определяется, согласно ведомственной строительной норме ВСН 42-85, разработанной Минтрансстроем СССР [20].

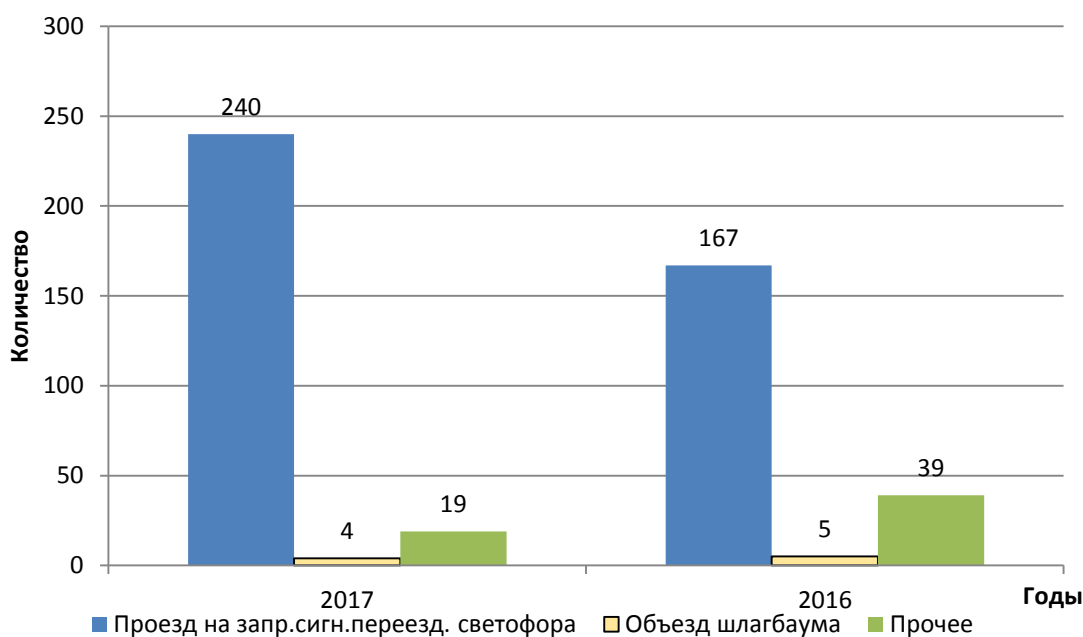


Рисунок 1.11 - Динамика изменения основных видов нарушений ПДД на переездах водителями АТС

В диссертации представлены коэффициенты неравномерности движения автотранспорта в виде диаграмм (рис. 1.12, 1.14 и 1.17) как ориентировочно средние, и они могут уточняться на основе статистики учета движения автотранспорта по годам.

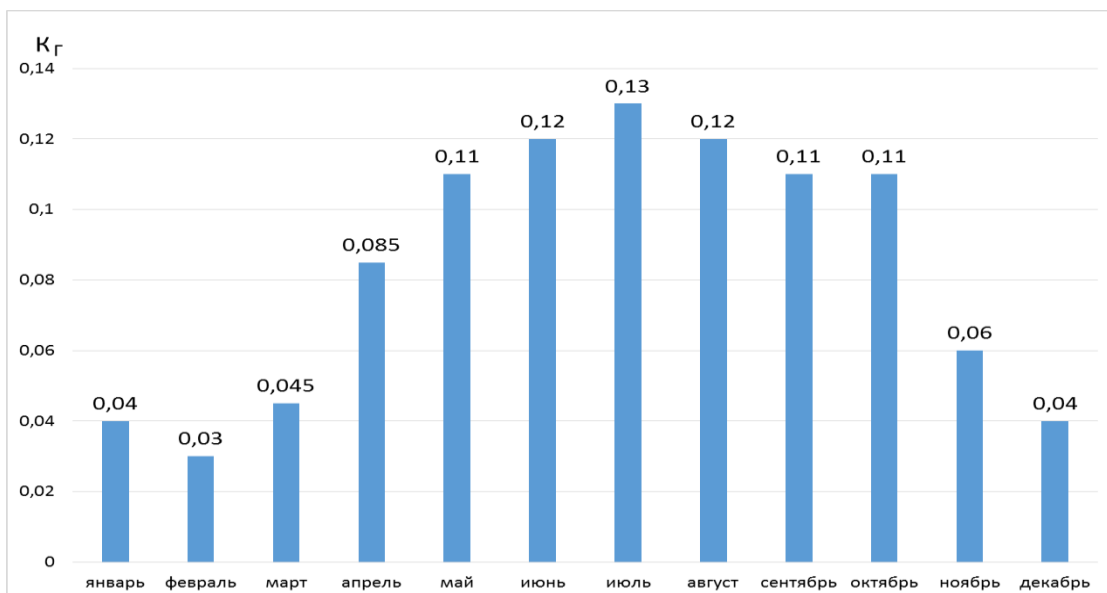


Рисунок 1.12 - Коэффициенты неравномерности движения АТС через переезды по месяцам года согласно ВСН 42-85

Из диаграмм (рис. 1.12) следует, что движение АТС через переезды по месяцам крайне неравномерное. Так, в июле количество автотранспорта, следующего через переезды, в 4 раза больше показателей февраля, и, естественно, в осенние и зимние месяцы количество автотранспорта на дорогах уменьшается. Это связано с сезонными колебаниями количества автотранспорта (дачники, автомобили, следующие на юг, региональные перемещения населения).

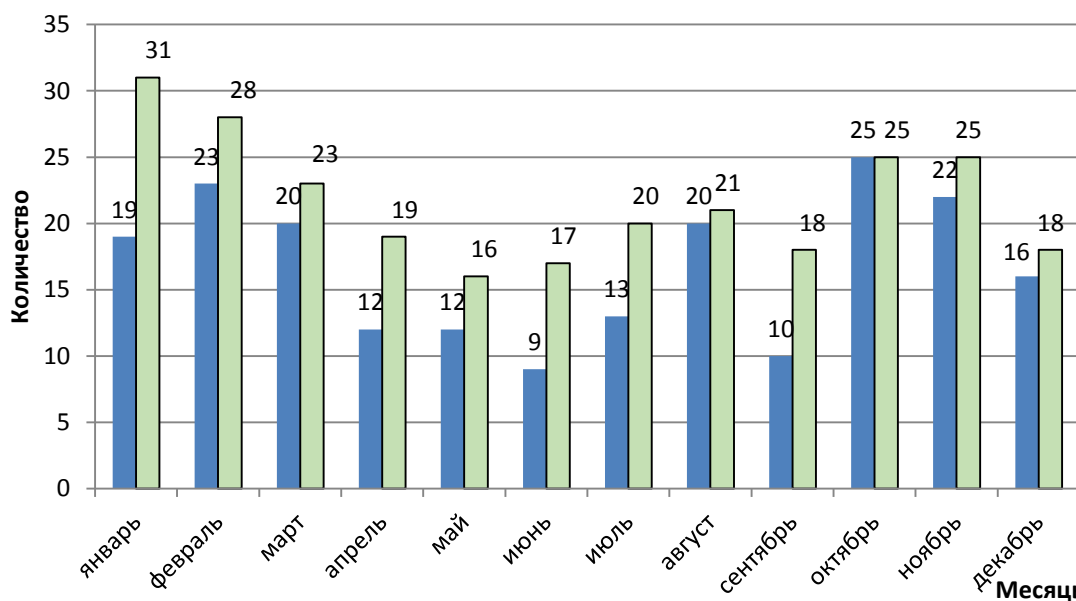


Рисунок 1.13 - Количество ДТП на переездах по месяцам 2017/16 гг.

Помесячный анализ ДТП (рис. 1.13) показывает, что наибольшее количество происшествий в 2017/2016 гг. имело место в январе (31/19), феврале (28/23) и октябре (25/25), наименьшее – в мае (16/12) и июне (17/9).

Сравнение диаграмм, рис 1.12 и 1.13 показывает, что корреляционной связи между количеством ДТП по месяцам и неравномерностью потока автотранспорта нет, что связано с перегруженностью поездов автопотоками, поэтому сезонные колебания незначительно влияют на количество ДТП.

Для сравнения изменения потока автотранспорта и разработки корректирующих мероприятий в работе был проведен анализ неравномерности движения автотранспорта по дням недели.

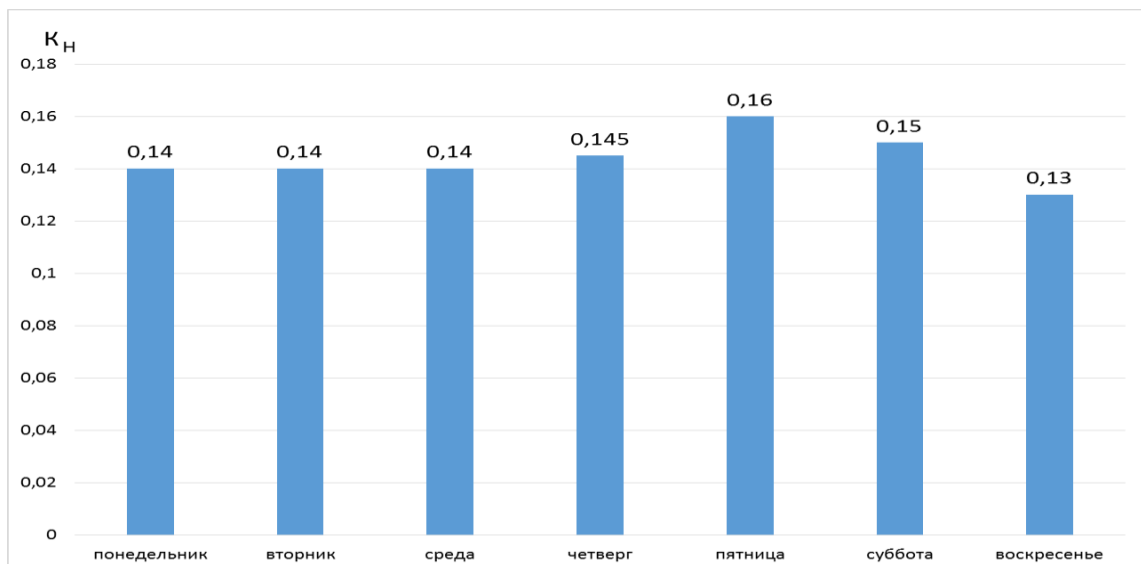


Рисунок 1.14 - Коэффициенты неравномерности движения автотранспорта через проезды по дням недели согласно ВСН 42-85

Из диаграмм (рис. 1.14) следует, что наибольший пик приходится на пятницу и субботу, это органически связано с окончанием рабочей недели и началом межрегионального перемещения людей.

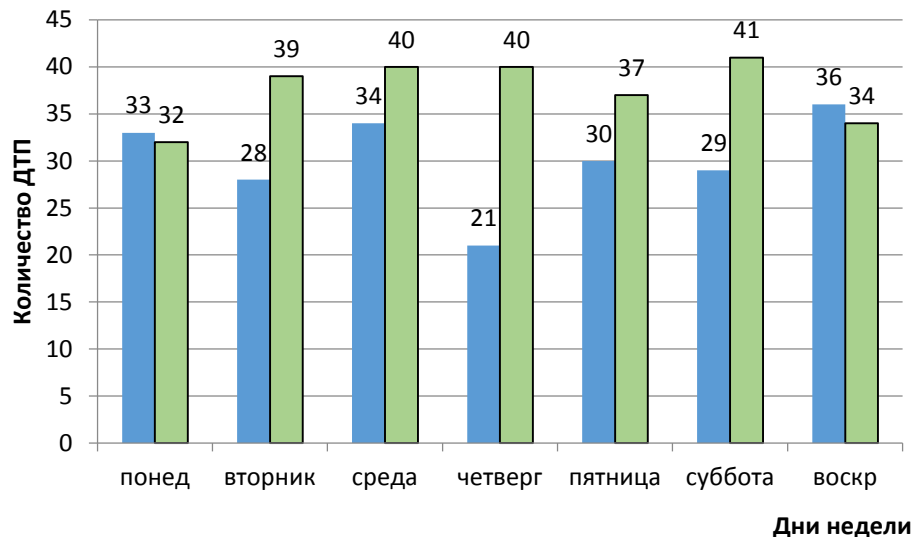


Рисунок 1.15 - Количество ДТП на переездах по дням недели 2016/17 гг.

Как видно из диаграмм (рис. 1.15), максимальное количество ДТП в 2017/2016 г. по дням недели происходило по субботам (41/29), средам (40/34) и четвергам (40/21), а минимальное количество по понедельникам (32/33) и воскресеньям (34/36). Расхождение пиков ДТП по дням недели ВСН 42-85 и фактическим количеством ДТП в 2016/17 гг. связано с необходимостью корректировки ВСН, используя статистические данные последних лет, т.к. наступает насыщение автодорог автотранспортными средствами.

Рекомендация: органам ГИБДД, общественным инспекторам необходимо максимально сосредоточить мероприятия по предупреждению ДТП на переездах на субботу, среду и четверг, а в остальные дни патрулировать автодороги.

Сравнительный анализ количества ДТП по дням недели в 2001 году и в 2016/17 гг. показывает изменение характера неравномерности. Так, в 2001 году наибольший пик приходился на понедельник (первый день недели после выходного дня), пятницу (нервозность, усталость, накопившиеся за неделю, спешка водителей домой после трудового дня, выезды за город на огород, дачу), и воскресенье (возвращение уставших водителей с дачных участков домой).

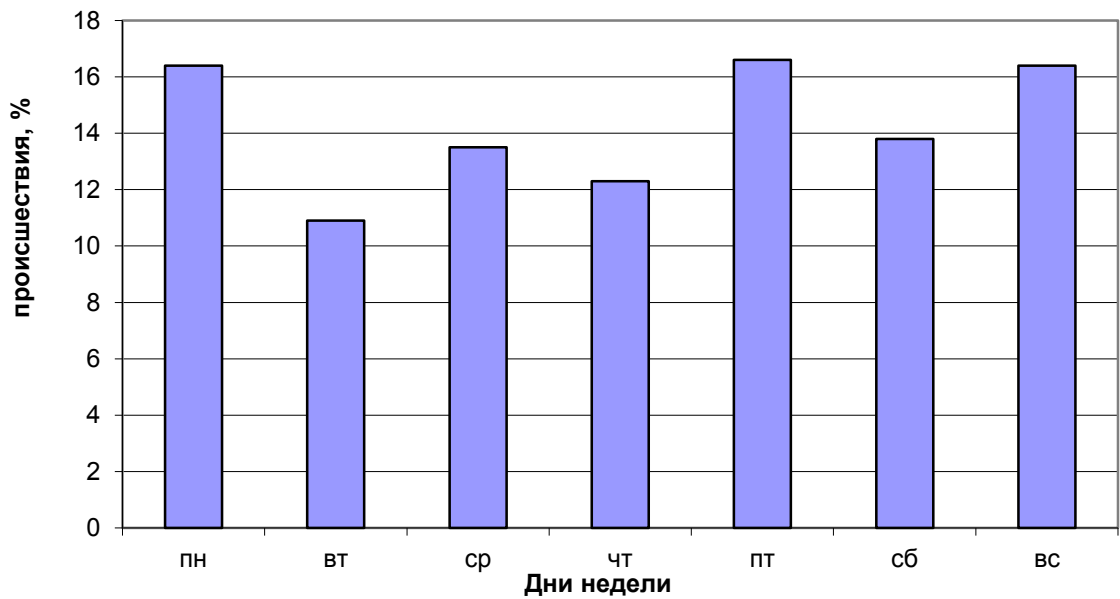


Рисунок 1.16 - Диаграмма распределения ДТП по дням недели в 2001 г.

В отличие от статистических данных 2001 года (рис. 1.16), в 2017 году количество ДТП по дням недели примерно выровнялось, т. к. существенно увеличилось количество автотранспорта и происходит насыщение автодорог автомобилями, что приводит к нервозности водителей автотранспорта и, как следствие, к ДТП.

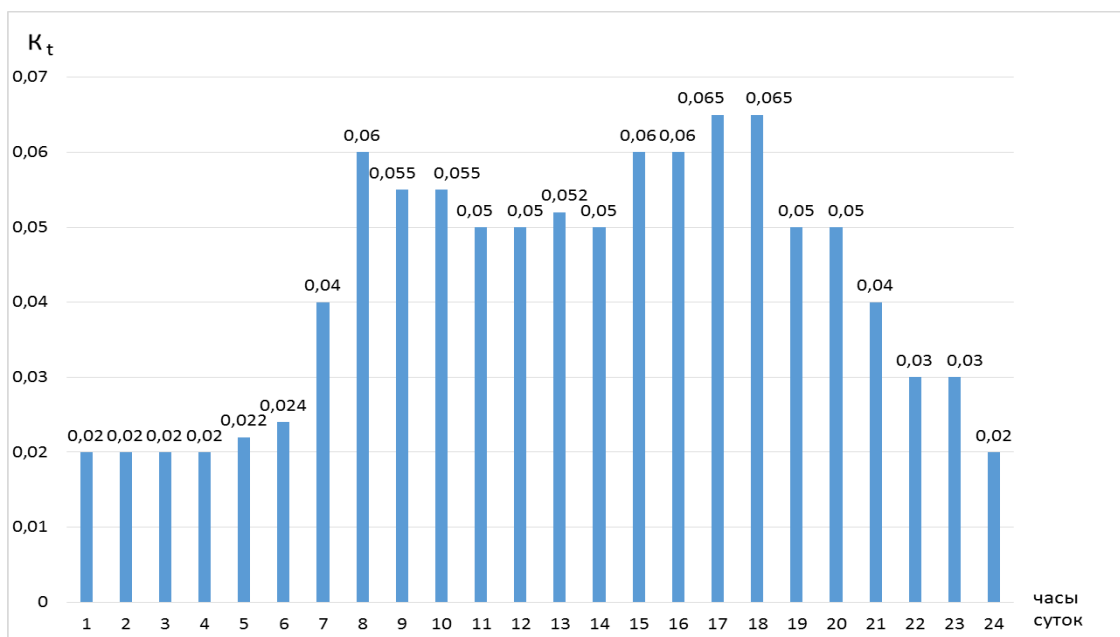


Рисунок 1.17 - Коэффициенты неравномерности интенсивности движения автотранспорта через переезды по часам суток согласно ВСН 42-85

Анализ временных промежутков в течение суток (рис. 1.17) показывает, что с 7 часов утра до 21 часов интенсивность движения автотранспорта резко возрастает, и это логично, т.к. этот временной промежуток активной жизни автомобилистов.

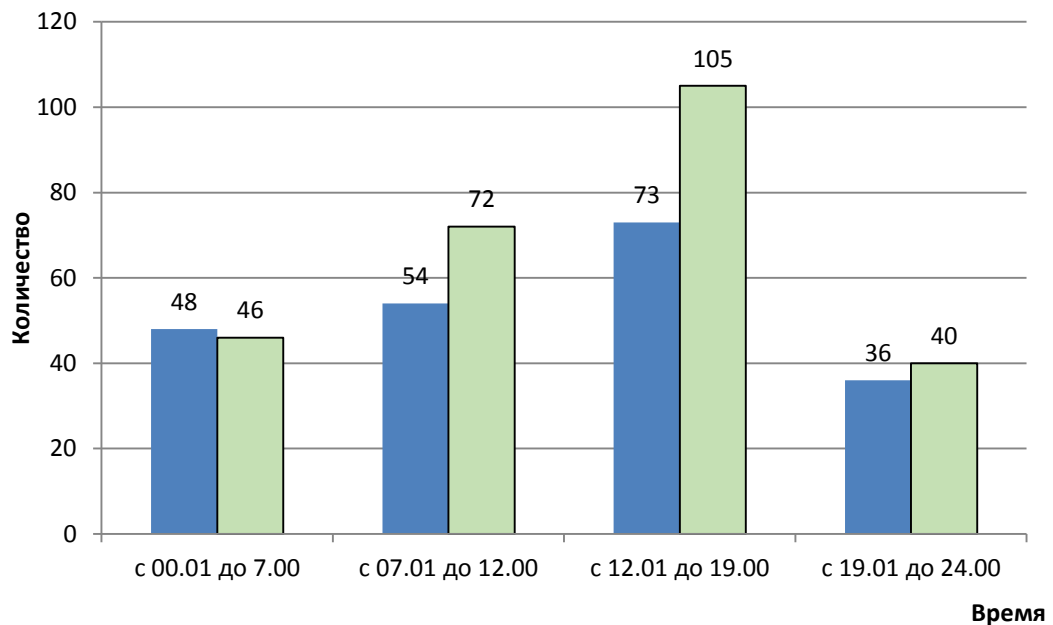


Рисунок 1.18 - Количество ДТП на переездах по часам суток 2016/17 гг.

Из диаграммы (рис. 1.18) видно, что наибольшее количество ДТП в 2017 году, как и в предыдущем году, произошло во временном промежутке с 12.00 час. до 19.00 час. (105 – 2017 г./73 – 2016 г.), а наименьшее в период с 19.00 час. до 24.00 час. (40/36), и этот вывод совпадает с данными диаграммы рис. 1.17.

Рекомендация: органам ГИБДД и общественным инспекторам в промежуток времени с 12 до 19 часов необходимо особо обратить внимание на переезды железных дорог, т.к. в этом промежутке времени происходит максимальное количество ДТП на переездах

Анализ динамики ДТП в 2017 году на сети дорог по категориям переездов (рис. 1.19), месяцам года и дням недели, а также по временному промежутку (в соотношении с 2014 г.) показал, что наибольшее количество ДТП происходит на переездах IV категории.

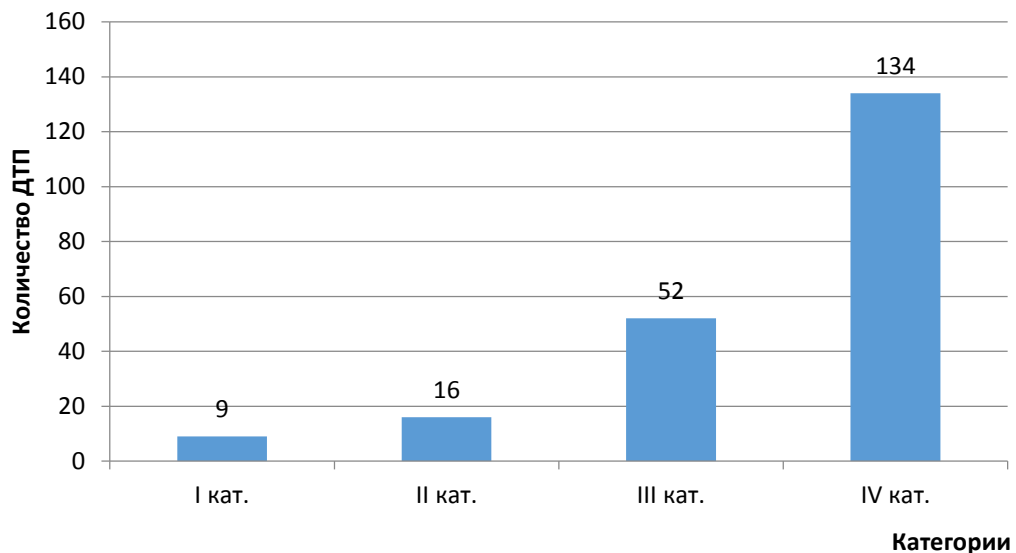


Рисунок 1.19 - Абсолютное количество ДТП по категориям переездов

Если рассмотреть отношение общего количества переездов по категориям, аварий на переездах, то характер диаграмм на рис. 1.19 иной, а именно, по переездам: 1 категории – коэффициент 70.63; 2 категории – 63; 3 категории – 27.1 и 4 категории 47.4. Это значит, что наиболее опасными являются переезды 1 и 2 категории, а максимальное число аварий на переездах 4 категории (134) соответствует и максимальному их количеству – 6997 штук.

Таким образом, в связи с увеличением скоростей и веса поездов, трендом повышения количества автотранспортных средств (ежегодное увеличение автотранспорта в среднем составляет более 2,7 млн единиц техники), уменьшением количества переездов, нагрузка на оставшиеся переезды увеличивается, и, следовательно, риск возникновения дорожно-транспортных происшествий увеличивается. Мероприятия, направленные на закрытие переездов, не приносят ожидаемых результатов. Так, 6 % закрытых переездов за последние 7 лет привели всего к 5 % уменьшению происшествий на переездах [21]. Это указывает на экстенсивный путь достижения требуемых значений безопасности на переездах за счет их сокращения, и на необходимость разработки новых инновационных решений для регулирования автоматическими ограждающими системами на переездах.

Выводы по первой главе

1. Проведенный анализ состояния и развития сети железнодорожных переездов в странах Европейского железнодорожного агентства (ЕЖДА) показал, что число железнодорожных переездов варьируется от 124 в Люксембурге, до 16 000 во Франции. Максимальное количество переездов в Соединенных Штатах Америки – 210 000. В последние годы число железнодорожных переездов в большинстве стран ЕЖДА сокращается неравномерно, от 30 % (Швеция) до 2 % (Дания, Словакия), а в США количество переездов осталось неизменным. Поэтому повышение безопасности на железнодорожных переездах достигается внедрением современных инновационных технологий регулирования переездной сигнализацией.

2. Несмотря на большое количество переездов, в период 2006–2014 гг. в странах ЕЖДА среднегодовое значение аварий составляло от 1 (Ирландия) до 152 (Польша). В других странах число аварий на ЖДП, сопровождавшихся гибелью людей и/или имеющих иные серьезные последствия, варьировалось в среднем от 24 (Канада) до более 250 аварий (Российская Федерация) в год, а в США произошло 225 аварий. Если рассмотреть удельный вес аварий, приходящихся на 1000 переездов, то показатели РЖД значительно хуже, т.е. нагрузка на переезды РЖД значительно выше, чем в странах ЕЖДА.

3. Причинно-следственный анализ происшествий на переездах ОАО «РЖД», проведенный в работе, показывает, что количество ДТП коррелируется с интенсивностью движения автотранспорта по дорогам в течение часа, недели, месяца и года, также динамика варьируется в течение суток, дней недели, месяца. Статистические исследования, проведенные на полигоне Приволжской ж.д, показали, что наибольшее количество происшествий в 2017/2016 гг. имело место в январе, марте и апреле, наименьшее – в октябре и мае, а по дням недели - происходило по средам, четвергам и пятницам, а минимальное количество - по понедельникам и субботам. По времени суток наибольшее количество происшествий приходится на временной промежуток с 12.00 час. до 19.00 час. Разработанные временные графики переданы для использования в ОблГИБДД.

2 МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ И СНИЖЕНИЮ АВАРИЙНОСТИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕЕЗДАХ

Переезды – это места активного взаимодействия автомобильного и ж.д. транспорта, обеспечение безопасности при этом находится в зоне ответственности МВД РФ, МТ РФ, ОАО «РЖД» [22, 23]. Рост парка автомобилей, массовое использование тяжеловесных автомобильных тягачей, высокоскоростных и тяжеловесных поездов формируют повышенные требования к безопасности на ЖДП, увеличению их пропускной способности (в некоторых регионах инициативно модернизируют переезды, посредством увеличения количества полос движения с 2 до 4), и к внедрению технологий по обеспечению безопасности. Мероприятия, направленные на увеличение безопасности и повышение экологического состояния и снижения аварийности на ЖДП, можно разделить в основном на пять направлений [21, 24, 25] (рис. 2.1.):

- мероприятия предупредительно – профилактического характера (проводятся ГУБДД МВД РФ с водителями АТС), направленные на повышение дисциплинированности водителей автотранспорта перед переездами;

- мероприятия организационные (проводятся в основном МТ РФ) в области уменьшения количества переездов, строительству развязок транспортных потоков на разных уровнях;

- мероприятия технические и технологические (проводятся ОАО «РЖД») направленные на развитие оснащенности переездов согласно Стратегии развития ж.-д. транспорта и Плана мероприятий НТР ОАО «РЖД»;

- информационные разработки (выполняются в основном МТ РФ совместно с ОАО «РЖД»), направленные на повышение информированности водителей автотранспорта о поездной ситуации на переездах;

- мероприятия инновационные (как правило, разрабатываемые в вузах и НИИ), связанные с реализацией новых технологий управления АПС и внедрением интеллектуальных систем управления АПС.

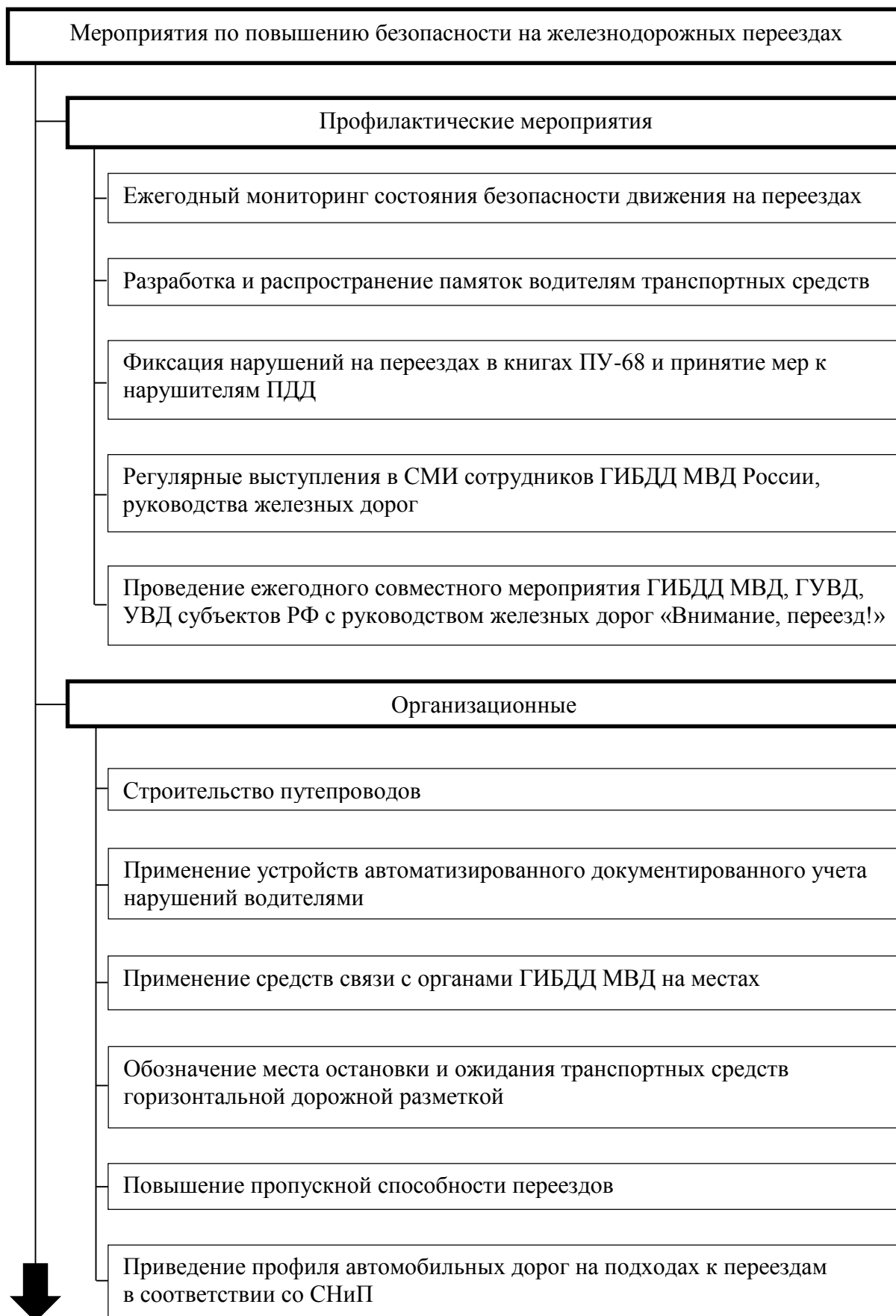


Рисунок 2.1 (начало) - Основные мероприятия по повышению безопасности на переездах

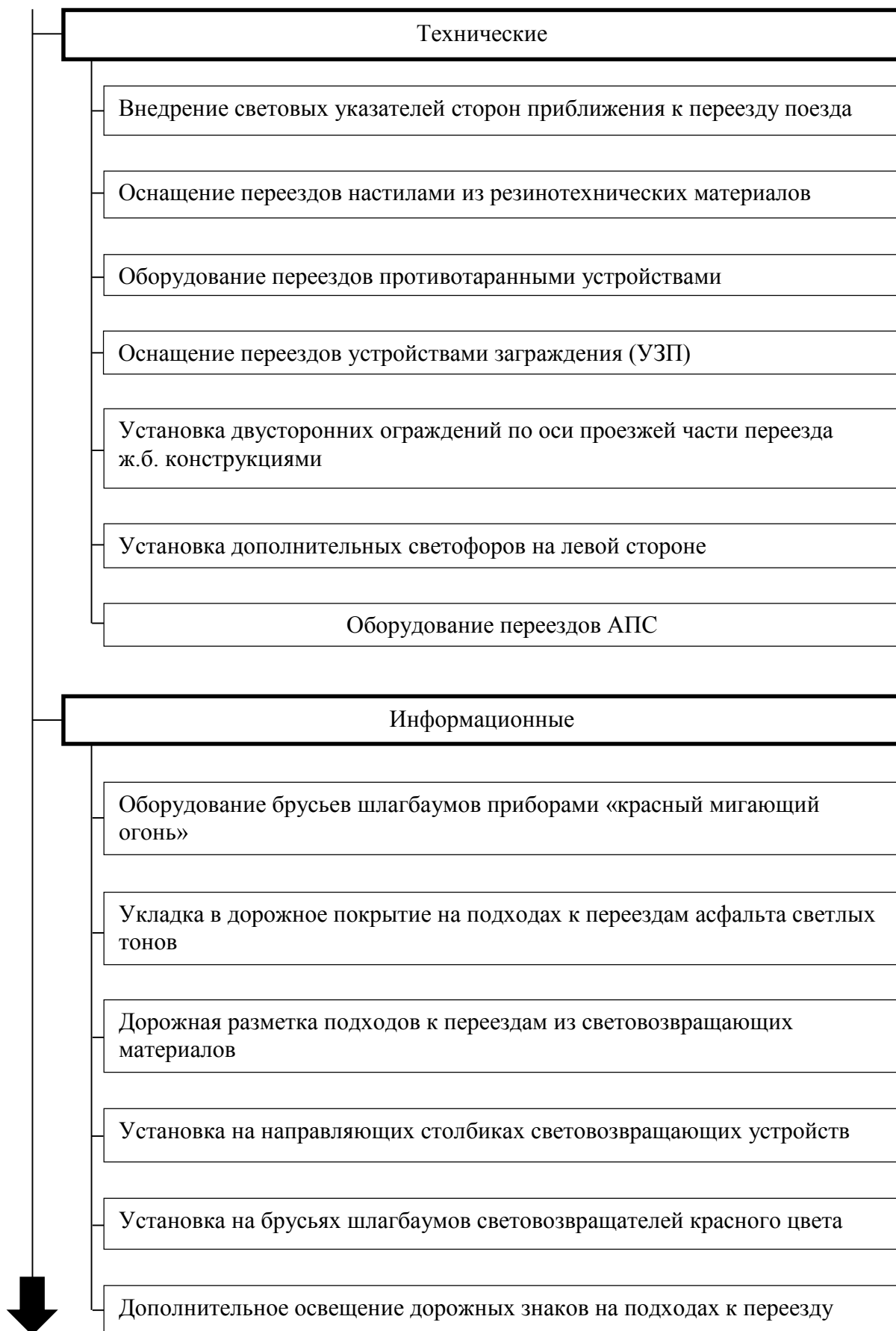


Рисунок 2.1 (продолжение) - Основные мероприятия по повышению безопасности на переездах



Рисунок 2.1 (окончание) - Основные мероприятия по повышению безопасности на переездах

Вопрос обеспечения безопасности на переездах актуален в течение многих десятилетий, и мероприятия по его решению, очевидно, приносят положительные результаты. Вместе с тем, для достижения более существенного эффекта необходимо изменить отношения взаимодействующих сторон (водителей, МТ РФ, Холдинга ОАО «РЖД», МВД) в правовой, организационно-технической областях к обеспечению безопасности на ЖДП [26], актуализировать разработки ученых вузов, НИИ по оснащению переездов инновационными, техническими и современными технологическими системами, повышающими безопасность. При разработке инновационных технологий управления АПС, несомненно, учитывать непроизводительные простои АТС у закрытых переездов, нарушающие психофизическое состояние водителей, вынуждая нарушать ПДД на переездах. Игнорирование этих факторов, несмотря на проводимые мероприятия, приводит к высокой частоте совершения ДТП на переездах [26]. Мероприятия по сокращению

числа переездов на 13 % за 10 лет, и ежегодный прирост АТС (а их количество за 10 лет увеличилось на 51 %) приводят к увеличению нагрузки на переезды, и, следовательно, не способствуют поддержанию безопасности и аварийности на переездах на требуемом уровне.

2.1 Правовое и профилактическое регулирование мероприятий по безопасности на ЖДП

А. В марте 2015 г. по предложению департамента безопасности Холдинга ОАО «РЖД» сформирована межведомственная рабочая группа для рассмотрения вопросов по обеспечению БДД на переездах. Группа входит в комиссию по обеспечению БДД при Правительстве РФ. Состав группы сформирован из представителей Министерств и различных ведомств, а также заместителей генерального директора ОАО «РЖД», курирующих вопросы инфраструктуры и безопасности (Целько А.В. и Шайдуллин Ш.Н.) [27].

Б. На круглом столе отраслевой газеты «Гудок» 13.04.2016 г. [28], главный инженер Департамента БД ОАО «РЖД» Кошкин Александр отметил, что 30.03.2016 г. в Правительстве РФ на заседании группы экспертов рассмотрен Законопроект по усилению наказаний за халатное отношение к ПДД водителей ТС, поскольку происшествия в большинстве происходят по вине водителей ТС. В итоге принято решение: все общественные инициативы поддерживать и принять НПА, предписывающий уровень ответственности водителей ТС за нарушение ПДД на ж.д. переездах. Законопроект принят ГД РФ.

В. Внесенные изменения в ст. 12.10 КоАП в части 1, по усилению ответственности за игнорирование ПДД на переезде [29], приняты.

Г. Субъекты РФ на законодательном уровне вовлечены в мероприятия по сокращению аварийности на ЖДП, и регулярно формируют и актуализируют планы мероприятий, руководящие документы по оснащению переездов, ремонту дорог, примыкающих к переездам, находящихся в зоне ответственности субъектов. В качестве примера – «План мероприятий, направленных на снижение смертности населения от дорожно-транспортных происшествий на территории Саратовской

области на 2016 год», введенный в действие распоряжением пр-ва Саратовской области от 26. 11.2015 г. № 277, направленный на реализацию мероприятий по повышению БДД на переездах региона Саратовской области.

Д. Ежегодно до 1 июля проходит всероссийское массовое мероприятие «Внимание, переезд!», в ходе которого с участием всех министерств и ведомств, субъектов РФ, причастных к дорожной инспекции, осуществляются мероприятия по уменьшению аварийности на переездах, проводятся регламентные работы устройств АПС по профилактике аварийности на переездах. Значительную часть работ в этом мероприятии проводят структурные подразделения Холдинга ОАО «РЖД» во главе с Департаментом безопасности, различными службами. Сотрудники в школах проводят разъяснительную, информационную работу для граждан всех возрастов.

Перечисленные направления деятельности показывают, что органы Государственной власти, руководство Холдинга ОАО «РЖД» считают приоритетным проведение профилактических мероприятий по предупреждению нарушений безопасности на ЖДП и своевременно актуализируют НПА, направленные на существенное сокращение нарушений ПДД.

2.2. Организационные мероприятия

Немаловажным фактором, создающим дополнительные проблемы ухудшения ситуации в области обеспечения БДД на переездах, являются высокие темпы автомобилизации общества.

За 10 лет количество легковых автомобилей в РФ интенсивно увеличилось, до 51 % – с 27 млн на 01.01.2006 года до 40,9 млн к 01.01.2016 года (рис. 2.2). На парк только легковых автомобилей (27 млн в 2006 году) приходилось более 12000 переездов, т.е. на каждый переезд приходилось 2250 автомобилей, а уже в 2016 году на 40,9 млн автомобилей приходилось всего 10945 переездов, и на каждый переезд приходилось 3737 автомобилей. Поэтому нагрузка на переезды Холдинга ОАО «РЖД» существенно возросла (до 1,7 раза).

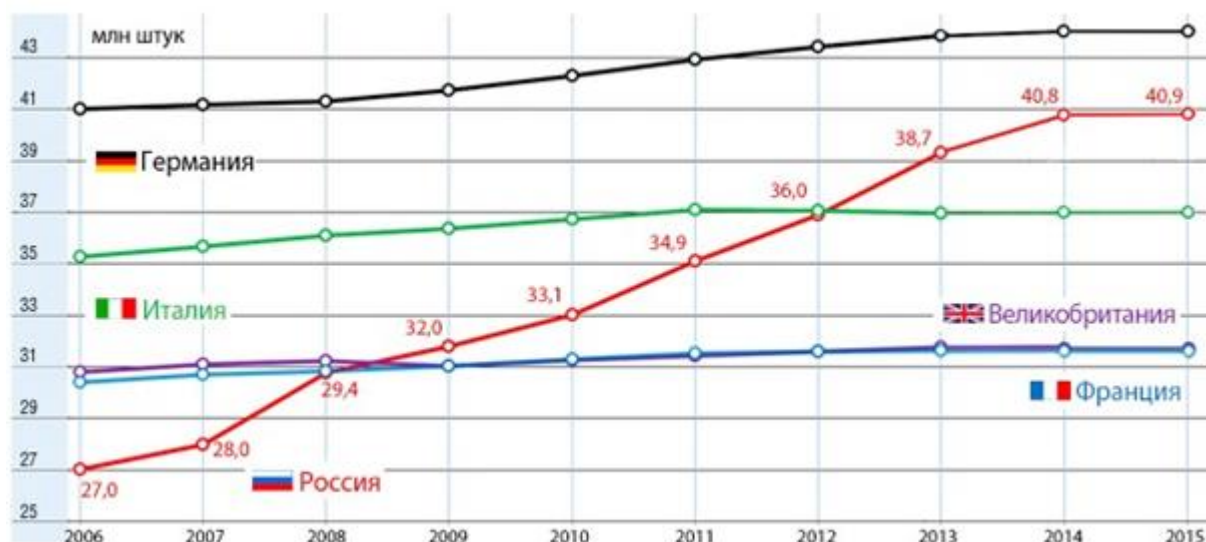


Рисунок 2.2 - Динамика автопарка России и стран Европы (инфографика: www.autostat.ru)

Больше всего легковых автомобилей, из инфографики, числится в Германии – примерно 44 млн единиц, и на такое количество приходится 14000 переездов (рис. 2.2), на каждый переезд приходится 3143 автомобиля.

В настоящее время это соотношение не в пользу России в сравнении со странами Европейского союза.

По сведениям «АВТОСТАТ» [30], - на 01.01.2016 года на 1000 жителей в России приходилось 283 автомобиля. А в странах Евросоюза этот показатель - около 500 единиц АТС на 1000 жителей. Среди ведущих стран Европы - 479 единиц во Франции, 501 автомобиль в Великобритании, а в Германии – 544. Эти страны относятся к странам со средней автомобилизацией.

В России довольно низкая плотность улично-дорожной сети, в связи с невысокими темпами строительства новых автодорог плотность находится на уровне 1980–1990 гг. Политика Государства и Холдинга ОАО «РЖД» направлена на замещение переездов транспортными развязками на различных уровнях, и правильность такого подхода подтверждена мировой практикой. В Российской Федерации до последнего времени острой необходимости в строительстве путепроводов не было, т.к. скорость поездов и интенсивность движения автотранспорта на переездах вполне регулировалась автоматическими переездными ограждающими устройствами. Однако резкое увеличение автопарка

в РФ, с темпом свыше 2.0 млн ед. в год, увеличение скоростей поездов до 120–140 км/час, определили задачу скорейшего строительства путепроводов. По объективным причинам темпы строительства отстают от потребностей, т.к. стоимость одной разноуровневой развязки составляет от 1,5 до 2 млрд рублей, что является достаточно дорогим решением проблемы безопасности в данном направлении.

Как показали экономические расчеты [26], в Центральном федеральном округе и близких к нему округах максимальная плотность сети железных дорог РФ и средние размеры движения - около 70–80 пар поездов/сут., а по сети автодорог движение - около 5000–6000 машин/сут., эти факторы оправдывают сооружение путепроводных развязок. С учетом временного и экономического фактора, строительство путепроводов ведется в первую очередь обоснованно на железных дорогах с большими объемами железнодорожного и автомобильного движения, особенно, на высокоскоростных магистралях (рис. 2.3).

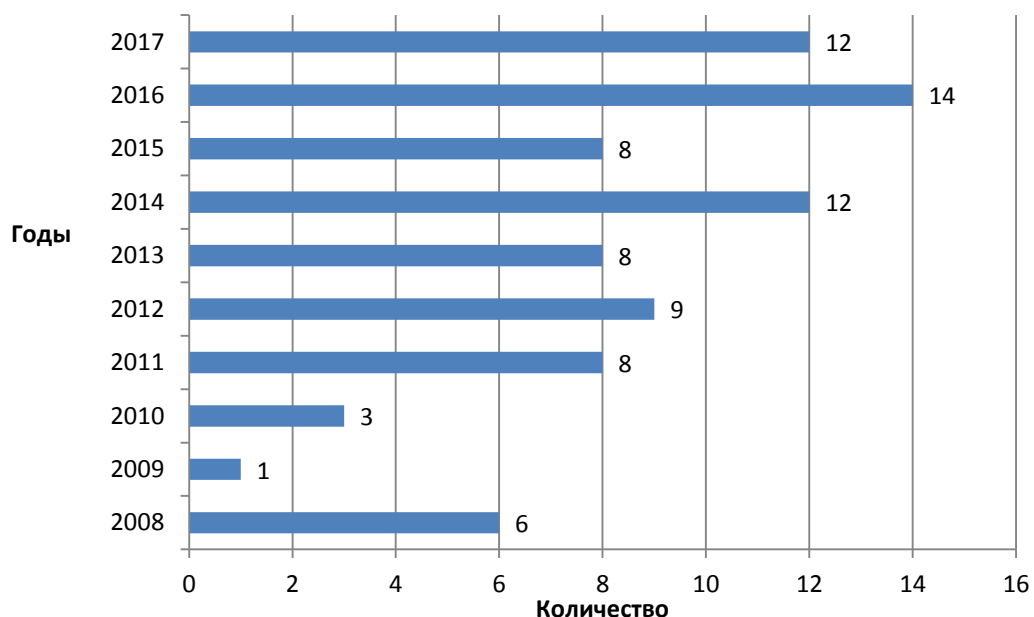


Рисунок 2.3 - Темы строительства путепроводов с 2008–2017 гг.

Темпы строительства путепроводов в последние годы, как следует из рисунка, немного выросли, что связано с требованием разноуровневых пересечений автомобильных и железных дорог на высокоскоростных магистралях, к которым относят и железную дорогу Москва–Петербург, а при строительстве ВСМ Москва–

Казань–Екатеринбург (начало строительства запланировано на IV квартал 2018 года закончится в 2024 году) [31], количество путепроводов и тоннелей несколько возрастет.

Автоматическая фиксация нарушений видео комплексами АвтоУраган-ВСМ является эффективным способом повышения дисциплинированности водителей АТС и обеспечивает неотвратимость наказания за нарушение ПДД на переездах, с передачей данных о нарушениях в специализированные центры фиксации при ГИБДД для последующего привлечения водителей к административному наказанию [26]. Эффективность мероприятий подтверждается выводами по эксплуатации комплексов АвтоУраган-ВСМ на переездах, установленных на 13-ти ЖДП в Московской области, которые в 2016 году зафиксировали более 10,7 тысяч административных правонарушений.

К авариям на переездах, в основном, приводит неправильная оценка дорожной ситуации водителем. Невнимательность, халатность и неоправданная суета на переезде имеют последствия необратимые. Поэтому, чтобы избежать аварии из-за находящегося на путях препятствия, машинист поезда должен иметь возможность заранее оценить обстановку на переезде [32, 33]. С этой точки зрения интересен опыт Подмосковья, где часть локомотивов пригородных поездов оборудована компанией МОВОТІХ видеотерминалами, на которых отображается не только служебная информация для машиниста, но и изображение с переезда, к которому приближается состав (расстояние до 2 км). Система реализована на базе промышленного передатчика Wi-Fi и предоставляет машинисту поезда дополнительное время для принятия решения.

Аналогичный принцип обеспечения БДП предлагает компания Fluidmesh, обеспечивая высокоскоростную передачу данных на расстояние 5–10 км от видекамеры, установленной на переезде.

Повышение эффективности системы видеонаблюдения, установленной на железнодорожном переезде, обеспечивает внедрение системы видео аналитики [34]. С помощью такой системы интеллектуального видеонаблюдения (еще одно

название – система компьютерного зрения) детектируются тревожные события, запускается заранее определенный алгоритм действий, например,

- осуществляется передача видеоизображения или фотографии в диспетчерский (ситуационный) центр АО «РЖД» для принятия оперативного решения и экстренной связи с машинистом;

- автоматическая идентификация транспортных средств, детектирования таких нарушений и передача данных в Центр автоматической фиксации правонарушений в области дорожного движения ЦАФАП ОДД ГИБДД и в диспетчерский (ситуационный) центр АО «РЖД»;

- автоматическое прерывание кода в рельсовой цепи участка приближения, в случае аварийной ситуации на переезде, приводящее к немедленной остановке поезда.

Придавая большое значение обеспечению БДП, ЦДИ ОАО «РЖД» ежегодно проводит работу по улучшению технического состояния переездов в части проведения капитального ремонта (рис. 2.4) и по внедрению технических средств [35].

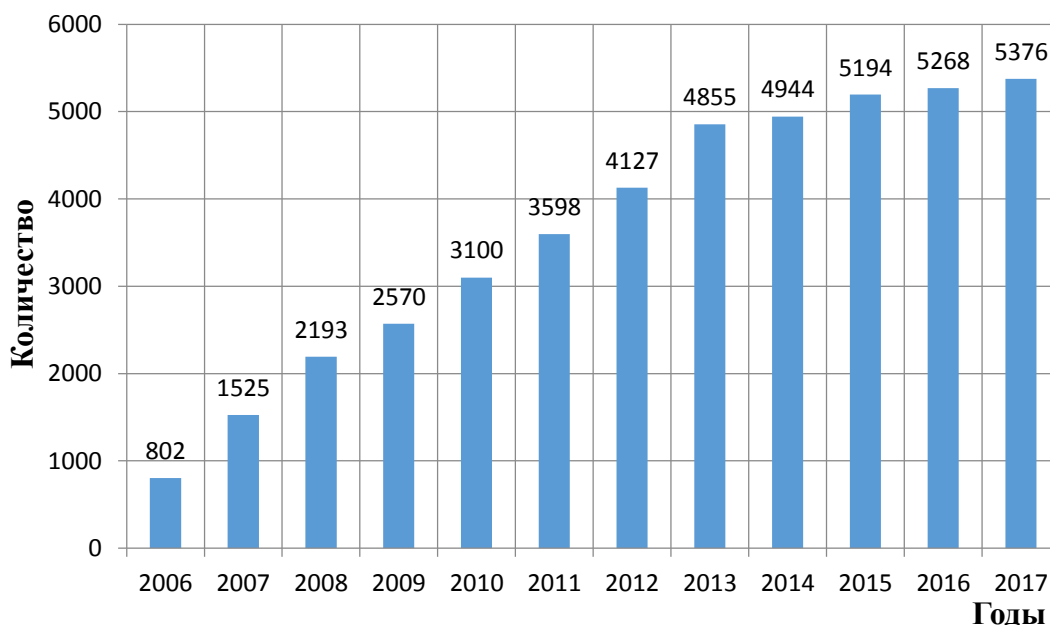


Рисунок 2.4 - Темпы проведения капитального ремонта переездов

Рассмотрение организационных мероприятий повышения БДП на ЖДП подтверждает эффективность направлений работ, выполняемых Холдингом ОАО «РЖД» совместно с Государственными органами.

Но вместе с тем, пока на данный момент не достигнут баланс между темпами закрытия переездов и строительством путепроводов. Темпы закрытия переездов значительно опережают темпы строительства путепроводов и, как следствие, с учетом увеличения количества автомобилей нагрузка на переезды, появляются новые проблемы на пути к снижению аварийности на переездах.

2.3. Технические мероприятия по повышению безопасности на железнодорожных переездах

Переезды являются объектами концентрации нарушений ПДД, приводящих к крушениям и авариям, и это требует максимальной концентрации технико-технологических усилий в области предупреждения нарушений и исключения аварий [36]. Поэтому очень важно техническое оснащение переездов, соблюдение условий бесперебойной работы предупредительной оповестительной сигнализации, информационных систем. Оснащение переездов видеофиксирующими нарушения устройствами дает существенный эффект повышения безопасности. Скорость автотранспорта, следующего через переезд, также положительно сказывается на повышении безопасности, т.к. с увеличением скорости АТС уменьшается длина участка приближения, и сокращается время ожидания водителями АТС открытия переездов. В связи с этим комплексное рассмотрение вопросов оснащения переездов, применение современных технологий и материалов на переездах для организации и управления движением АТС – актуальная задача, и данный раздел посвящен этой работе [37, 38].

В 2017 году железными дорогами оборудованы и модернизированы переездной сигнализацией автоматической 10 переездов; устройствами, препятствующими въезд АТС (УЗП) - 48 переездов; заменены на 228 переездах покрытия дорог на резиנותехнические настилы; полушлагбаумы ПАШ-1 внедрены на 2 переездах; на 23 переездах светофорные головки заменены на светодиодные блоки; приведено к

нормативному освещению 66 переездов; капитальный ремонт проведен на 108 переездах; закрыты 98 переездов и построены 12 путепроводов.

Согласно требованиям, при строительстве новые переезды оборудуются АПС. Нерегулируемые действующие переезды при модернизации и капитальном ремонте также оснащаются АПС, так как это является одним из этапов реконструкции переездной сигнализацией (рис. 2.5).

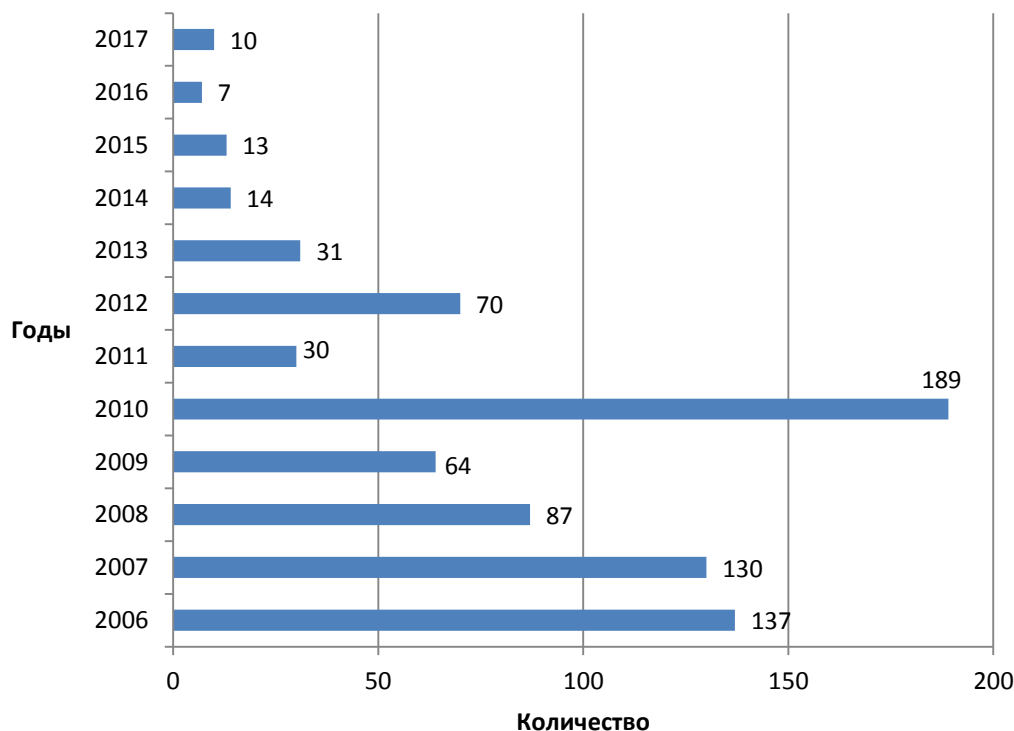


Рисунок 2.5 - Темпы оборудования и модернизации переездов АПС

Из динамики оборудования переездов АПС следует, что в последние годы интенсивность оборудования переездов АПС замедлилась. В первую очередь это связано с оптимизацией использования АПС на переездах Холдинга ОАО «РЖД» и с экономическими факторами.

Безопасность движения существенно зависит от запрещения въезда на переезд АТС, а для этого переезды оборудуются, особенно неохраняемые, переездными шлагбаумами ПАШ-1, разработанными учеными РГОТУПС (рис. 2.6).

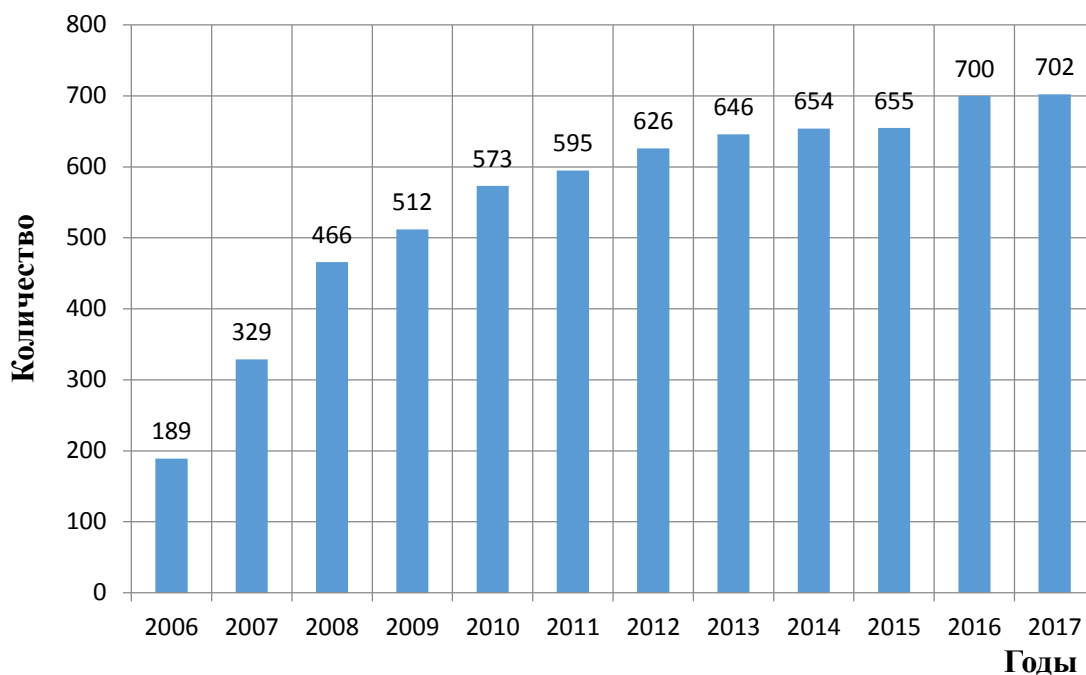


Рисунок 2.6 - Темпы оборудования переездов шлагбаумами ПАШ

Данные шлагбаумы, в паре со светофорами, позволяют фиксировать занятие поездом блок-участок приближения и заблаговременно информировать водителей и препятствовать въезду автотранспорта нарушителя на переезд [39]. Несанкционированный въезд АТС на закрытый переезд успешно предотвращается устройством механического заграждения переезда (УЗП), (рис. 2.7) [40].

Конструктивно УЗП стоит из четырех автономных блоков, управляемых с одного пульта и функционирующих синхронно. Блоки вмонтированы в автодороги с обеих сторон переезда до переездного шлагбаума, и в опущенном состоянии плиты УЗП находятся на одном уровне с верхней одеждой автодороги. При включении АПС один край плит поднимается навстречу АТС «противошерстно» и препятствует въезду на переезд. Если АТС осталось между УЗП, расположенных с разных сторон переезда, то автомобили могут въехать на плиты «пошерстно», и плита принимает горизонтальное положение, не препятствуя выезду автотранспорта с переезда.

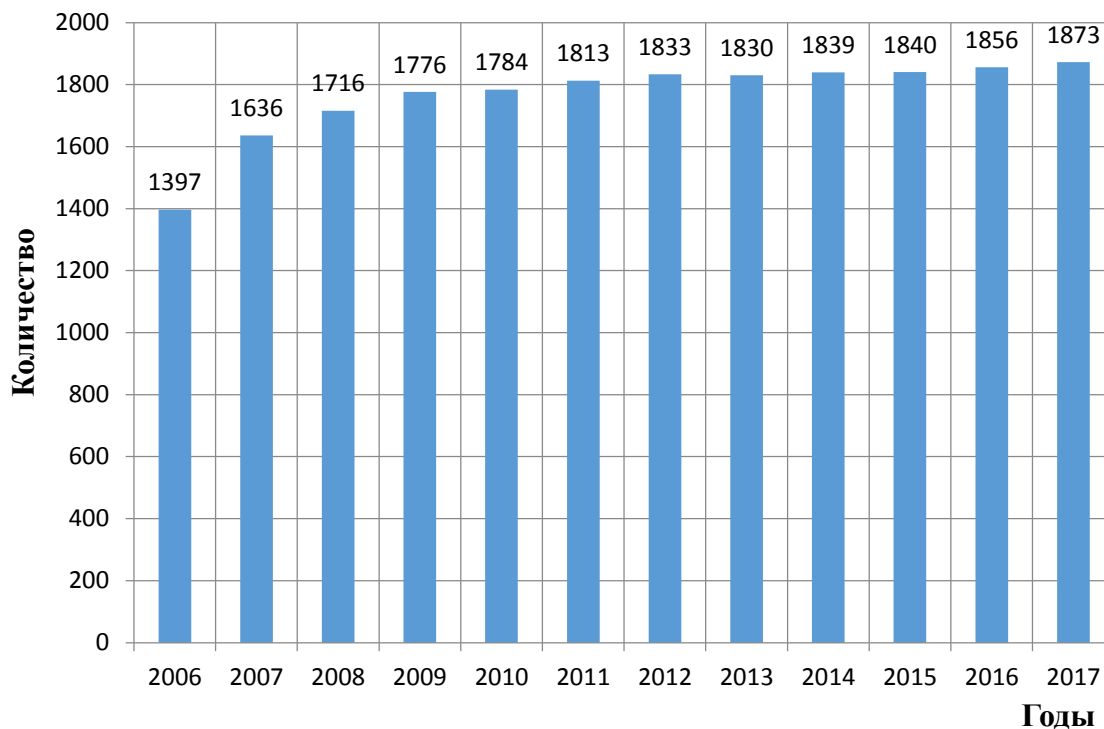


Рисунок 2.7 - Динамика оборудования переездов УЗП

Датчики наличия препятствия, входящие в комплект УЗП, при долговременном нахождении препятствия на переезде после появления поезда на участке приближения включают запрещающий огонь на заградительном светофоре и переключают коды АЛС на показ запрещающего огня на локомотивном светофоре.

Из анализа графика следует, что к 2016 году пока оборудовано УЗП всего 16,9 % переездов, что катастрофически недостаточно для повышения безопасности.

Если рассмотреть динамику изменения относительной доли железнодорожных переездов с УЗП в развитых странах (рис. 2.8) [10], то на железных дорогах России и США динамика за 2010–14 гг. ничтожная и составляет меньше 0,5 %.

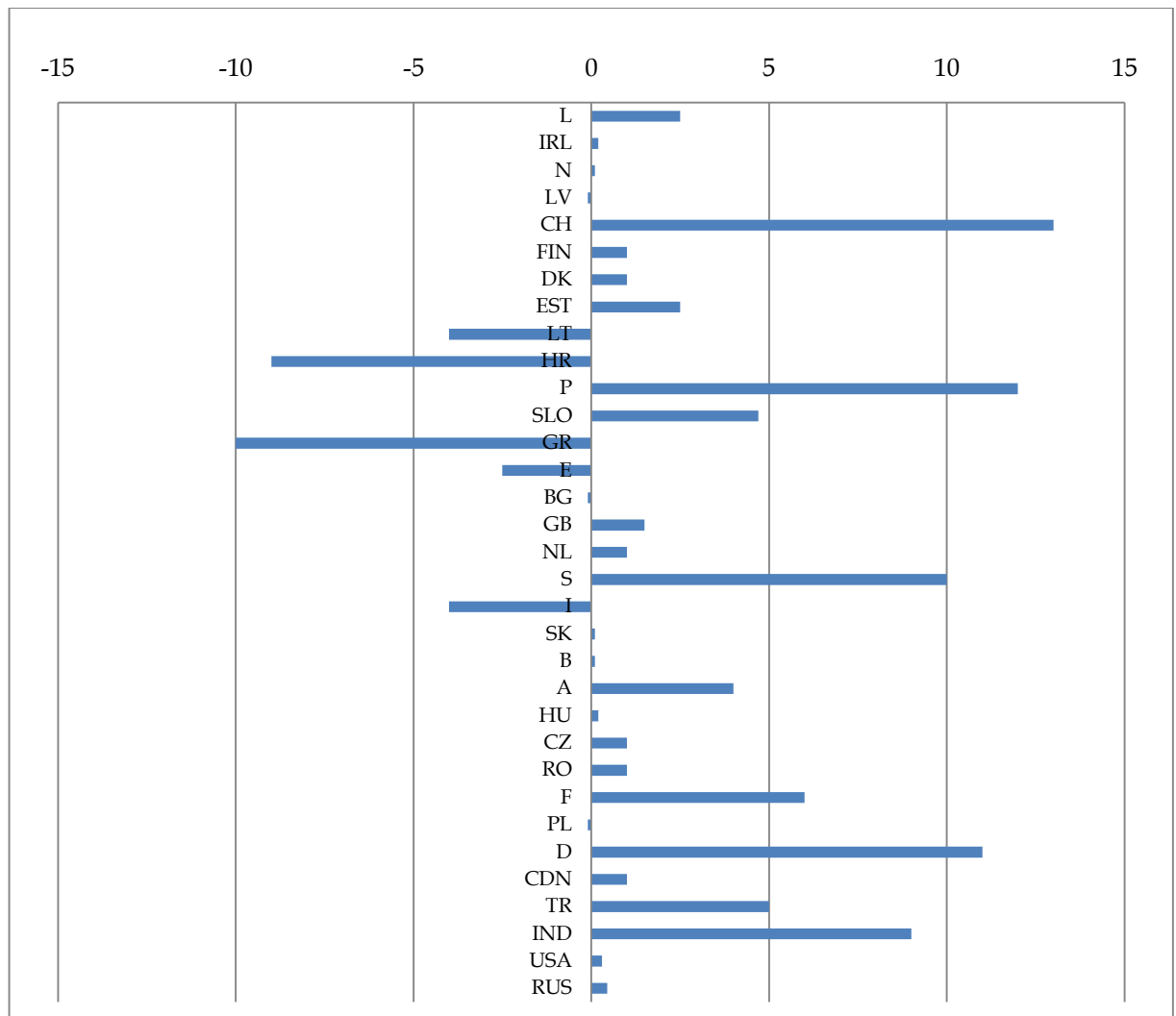


Рисунок 2.8 - Процентное соотношение поездов с УЗП в общем числе поездов в 2010–2014 гг.

Это связано с тем, что УЗП не полностью гарантирует исключение попадания АТС на поезд, и в настоящее время внедряется альтернатива УЗП – противотаранные устройства.

Динамика изменения доли поездов с УЗП в числе железнодорожных поездов в период 2010–2014 гг. увеличилась в большинстве стран ЕЖДА, за исключением США и Российских железных дорог, где осталась почти неизменной. Увеличение УЗП в большинстве стран достигалось внедрением УЗП на новых поездах, либо процент оснащённости вырос благодаря ликвидации поездов без УЗП. Рост доли поездов с УЗП составил менее 1 % (Бельгия, Венгрия, Ирландия, Нидерланды, Норвегия и Словакия) до 13 % (Швейцария). Доля поездов с УЗП уменьшилась в нескольких странах ЕЖДА, прежде всего в Греции и Хорватии (на

9–10 %). Слабая динамика внедрения УЗП в России объясняется тем, что в алгоритм работы УЗП заложен значительный запас времени для его приведения в действие и выключения, а это приводит к увеличению простоя автотранспорта у закрытого для движения автотранспорта переезда. Массовое внедрение УЗП на переездах сдерживается и экономическими факторами. Так, стоимость одного комплекта УЗП 9109.7/9701.1, выпускаемого Пильнинским оптико-механический заводом, составляет 2 771 573 руб. [41], что в потребностях тысяч комплектов составляет огромную сумму. Также эксплуатационные расходы на содержание и ремонт УЗП велики, и поэтому они устанавливаются только на охраняемых переездах.

Безопасность проезда автотранспорта зависит и от косвенных параметров, а именно, от надежной работы переездных автомобильных светофоров. В последние годы на всех светофорах улично-дорожной сети начали внедрять светофорные головки на светоизлучающих диодах, которые находят применение и на переездных светофорных блоках [42] (рис. 2.9).

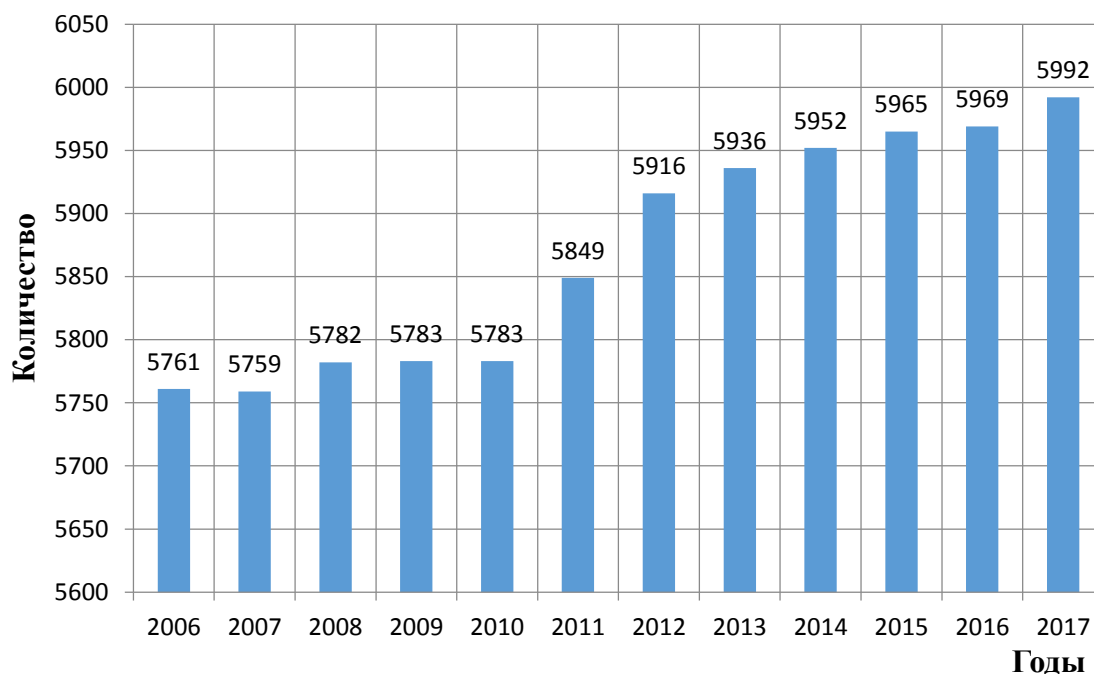


Рисунок 2.9 - Темпы внедрения светофорных головок на светоизлучающих диодах

Динамика внедрения инновационных светофоров свидетельствует, что в течение промежутка времени (5–7 лет) все переезды будут оборудованы светофорными головками на светодиодах, имеющих значительное преимущество перед обычными лампами накаливания по гарантийному сроку службы, яркости излучения света, энергосбережению, видимости, независимо от погодных условий, вандалоустойчивости.

Очевидно, от освещенности территории переездов и примыкающих автодорог в ночное время напрямую зависит безопасность на переездах, и поэтому ОАО «РЖД» высокими темпами оборудует переезды осветительными приборами [12, 43] (рис. 2.10).

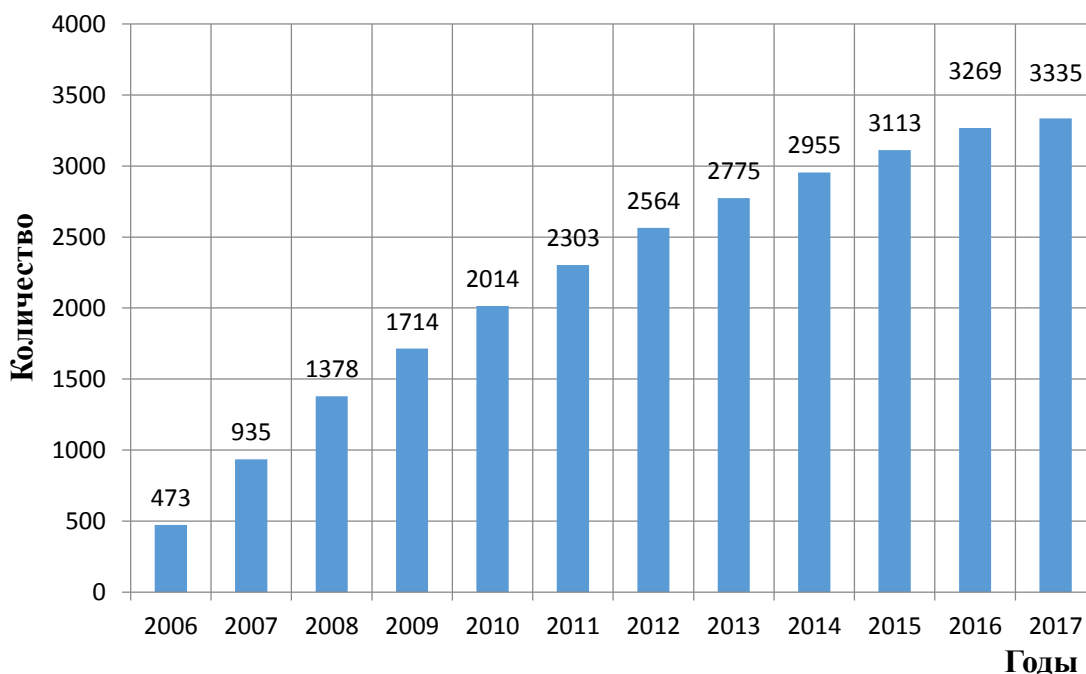


Рисунок 2.10 - Темпы улучшения электроснабжения и электроосвещения

Безопасность движения зависит от материала и качества покрытия на переезде. Потому что из-за большой нагрузки на поверхность покрытия переезда вследствие большой интенсивности движения автотранспорта и вибрации, динамических нагрузок от поездов покрытие переездов изнашивается, образуются неровности. Это приводит к тому, что при попадании колеса АТС в эти неровности глохнут двигатели, затормаживается поток автомобилей или вообще останавливается, часто происходит поломка ходовых частей, приводящих к

невозможности дальнейшего движения, и, как следствие, происходят аварии. Предвидя эту ситуацию, водители двигаются с невысокой скоростью и образуются многокилометровые заторы, водители нервничают, часть водителей, нарушая ПДД, начинает двигаться по встречной полосе и, соответственно, создается угроза движению АТС и поездов. Поэтому очевидно, что ровное, соответствующее требованиям покрытие переездов существенно сокращает простои и практически исключает нарушение ПДД на переездах по причине состояния покрытия переезда. Это характерное отличие ЖДП, оснащенных резинокордовыми настилами, выпускаемыми в соответствии с ТУ 32 ЦП 828-97, разработанными ВНИИЖТ и утвержденными Департаментом пути и сооружений и сертифицированными РСФЖТ, (рис. 2.11) [44].

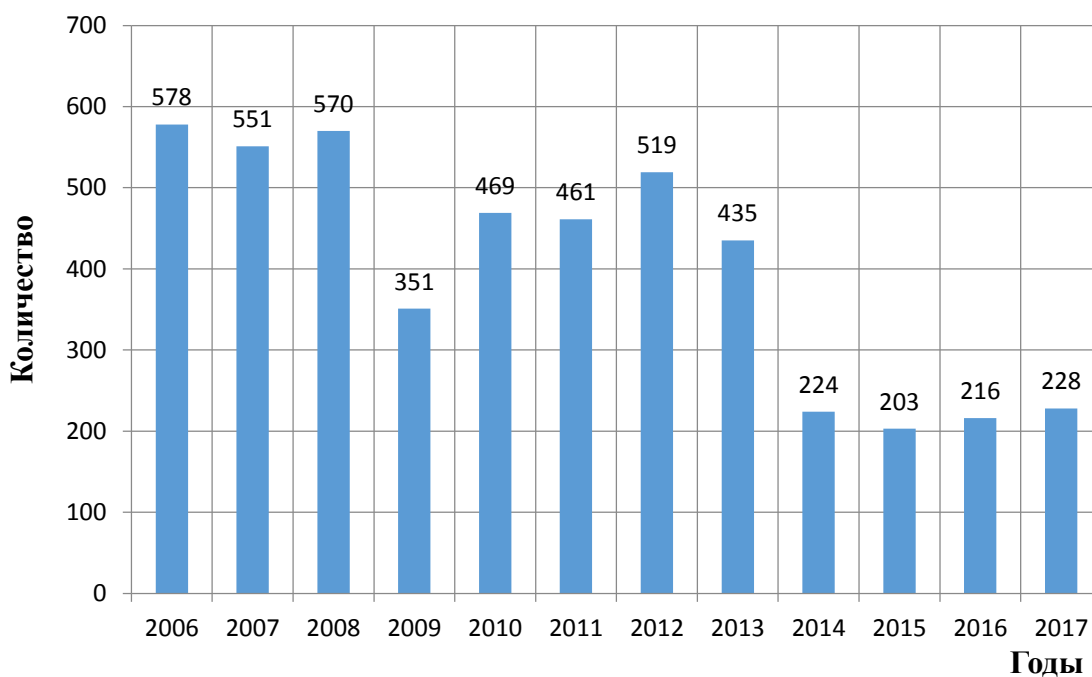


Рисунок 2.11 - Темпы оборудования переездов резинотехническими настилами

От состояния дорожной одежды на переездах зависит скорость проследования автотранспорта через переезд, определяющая длину участка приближения, и, следовательно, время ожидания автотранспорта у закрытого переезда. Для выявления зависимости длины участка приближения (УП) к переезду от скорости автотранспортных средств, следующих через переезд, в работе проведены исследования зависимости $L_{yn} = f(V_{am})$.

Длина УП определяет временной интервал (время извещения – $t_{и}$) для полного освобождения переезда АТС, вычисляемый от момента начала действия АПС до момента вступления самого скоростного поезда, курсирующего на данном участке, на переезд.

Время извещения, поступающего на переезд, включает следующие составляющие и определяется суммой:

при АПС и полушлагбаумах:

$$t_{и} = t_{ат} + t_{ср} + t_3;$$

при автошлагбаумах, всю проезжую часть дороги перекрывающих:

$$t_{и} = t_{ат} + t_{ср} + t_3 + t_{п};$$

при неавтоматических шлагбаумах:

$$t_{и} = t_{ат} + t_{ср} + t_3 + t_{п} + t_{в}, \quad (2.1)$$

где t_3 – запас времени гарантийный, 10 с;

$t_{ср}$ – время необходимое для срабатывания устройств управления сигнализацией и извещения, 4 с;

$t_{ат}$ – время проследования переезда автотранспортным средством, захавшим на переезд одновременно с включением переездной сигнализации;

$t_{п}$ – дополнительное время, необходимое на приведение в действие шлагбаума, перекрывающего целиком дорогу, 10 с;

$t_{в}$ – дополнительное время при оповестительной сигнализации, 10 с.

Время проследования автотранспорта:

$$t_{ат} = \frac{l_{п} + l_{м} + l_0}{V_{ат}}, \quad (2.2)$$

где $l_{п}$ – длина переезда;

$l_{м}$ – расчетная максимальная длина автотранспорта, 24 м;

l_0 – дополнительное расстояние, на котором останавливается АТС от светофора переездного, 5 м;

$V_{ат}$ – расчетная скорость движения АТС через переезд (нормативно принимается $8 \text{ км/ч} = 2,2 \text{ м/с}$).

С учетом констант, уравнение (2.2), определяющее время проследования автотранспортных средств через переезд, принимает вид:

$$t_{ат} = \frac{l_{п} + 29}{V_{ат}}$$

Длина переезда складывается из многих составляющих и выражение для ее определения имеет вид:

$$l_{п} = l_{с} + l_{к} + l_{мп} + l_{г},$$

где $l_{с}$ – расстояние от ближнего рельса до светофора переездного (полушлагбаума) – составляет 6 м;

$l_{к}$ – ширина колеи – 1,52 м;

$l_{мп}$ – междупутье (на двухпутных участках – 4,1 м);

$l_{г}$ – гарантийно-допустимое расстояние от ближнего рельса, до автотранспорта, 2,5 м.

Соответственно, на однопутных участках длина переезда составляет 10,2 м, а на двухпутных – 14,12 м.

С учетом длины переезда и скорости автотранспорта, время проследования автотранспортных средств через переезд для однопутных участков определяется выражением:

$$t_{ат} = \frac{39,2}{V_{ат}},$$

а для двухпутных участков:

$$t_{ат} = \frac{43,12}{V_{ат}}.$$

Длина УП зависит от многих переменных, в том числе от скорости поезда, а также от времени извещения [45]:

$$L_{уп} = 0,28V_{п} * t_{и},$$

где $V_{п}$ – скорость движения поездов на участке;

0,28 – переводной коэффициент скорости из км/ч в м/с.

Окончательное выражение для определения длины УП в зависимости от скорости автотранспорта имеет вид:

$$L_{yn} = 0,28V_{п} \cdot \left(\frac{l_{п} + 29}{V_{ат}} + 14 \right).$$

Результаты исследований $L_{yn} = f(V_{am})$ представлены в виде графиков на рис. 2.12 для однопутного участка и на рис. 2.13 - для двухпутного участка железной дороги.

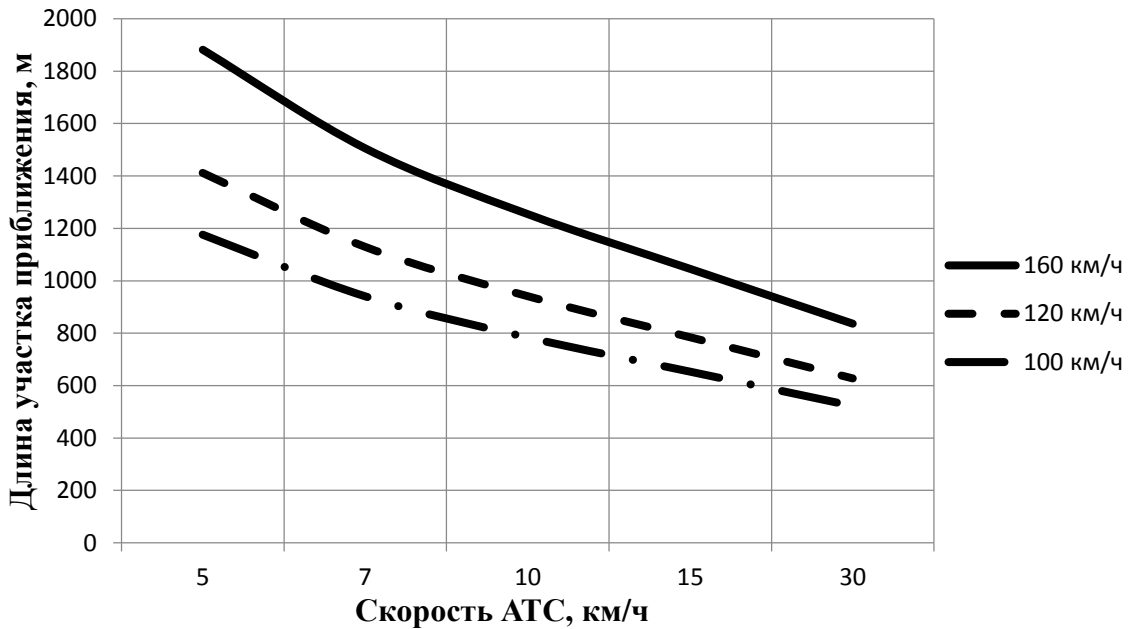


Рисунок 2.12 - Графики зависимости длины УП от скорости автотранспорта на перегоне на однопутном перегоне при АПС

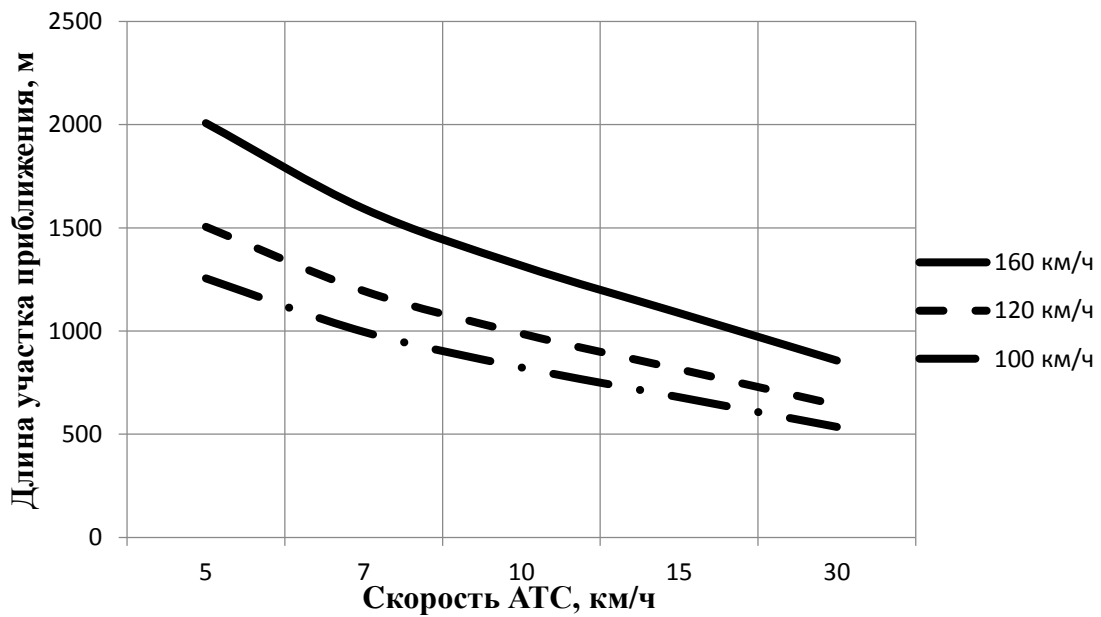


Рисунок 2.13 - Графики зависимости длины УП от скорости автотранспорта на перегоне на двухпутном перегоне при АПС

Увеличение скорости автотранспортных средств на переездах (рис 2.12 и 2.13) приводит к сокращению длины участка приближения поезда к переезду и, следовательно, к уменьшению времени ожидания водителями автомобилей открытия переезда.

Технически средства оборудования переездов существенно повышают безопасность движения на переездах, но ограниченные функциональные возможности, заложенные в алгоритмах функционирования, не позволяют исключить аварийность на переездах. Основным препятствием для достижения цели – обеспечение требуемой безопасности – является жесткий алгоритм функционирования, предполагающий немедленное запрещение въезда автотранспорта на переезд, не зависимо от скорости и координаты поезда.

2.4. Инновационное направление развития АПС на переездах

Транспортная стратегия РФ, актуализированная в 2014 г., [8] определяет стратегическую цель развития транспортного комплекса на период до 2030 года. Основным назначением транспортного комплекса РФ в документе обозначено обеспечение потребностей инновационного развития экономики страны и общества в конкурентоспособных транспортных услугах.

Из этого следует, что транспортный комплекс должен решать масштабные задачи, среди которых приоритетными являются:

- создание единого взаимоувязанного транспортного комплекса России на базе опережающего развития качественной транспортной инфраструктуры;
- значительное повышение уровня безопасности транспортного комплекса и др.

Научно-технологическими приоритетами в «Стратегии...» определены инновационные направления реализации НТР, в том числе и прорывные технологии, обозначенные как «разработка автоматических переездов, обеспечивающих повышенный уровень безопасности движения, в том числе протоколирование нарушений технологии обслуживания и ПДД». Для реализации основного приоритетного направления создания прорывных технологий в транспортной отрасли необходимо оснащать переезды современными

автоматизированными системами безопасности с учетом интересов всех участников дорожного процесса [46], т.е. разработать и внедрить интеллектуальную «дружелюбную» систему АПС.

Основной функцией «дружелюбной» информационно-управляющей системы на переездах является:

- управление АПС с учетом координаты, скорости поезда и его ускорения;
- оперативная корректировка уравнения координаты поезда с целью повышения точности при каждом вступлении поезда на УП;
- информирование водителей автотранспортных средств (с использованием информационного табло)
 - о ситуации в зоне приближения и на самом переезде;
 - о текущем направлении движения поездов;
 - о занятии участков приближения поездами всех путей, на многопутном участке;
 - об освобождении участка приближения проследовавшими поездами через переезд.

Для построения системы повышения безопасности на ЖДП на основе совершенствования управления автоматической переездной сигнализацией необходимо:

- 1) провести анализ состояния безопасности на переездах;
- 2) выявить основные причины, нарушающие безопасность на переездах;
- 3) разработать концепцию построения устройства определения координаты поезда с самонастраиваемым алгоритмом;
- 4) разработать структурную схему микропроцессорной реализации самонастраиваемого устройства с безопасной архитектурой.

Выводы по второй главе

1. Ретроспективный и перспективный анализ показал, что в настоящее время проблема безопасности на переездах многогранная и требует проведения совместных с МТ РФ, ГУБДД МВД РФ, ОАО «РЖД» мероприятий:

- предупредительно-профилактического характера, направленных на повышение дисциплинированности водителей автотранспорта перед переездами;

- организационных, направленных на уменьшение количества переездов, принятие решения по строительству развязок транспортных потоков на разных уровнях;

- технических, направленных на развитие оснащённости переездов, согласно Стратегии развития ж.-д. транспорта и Плану мероприятий НТР ОАО «РЖД»;

- информационных и инновационных, в основном, осуществляемых вузами, НИИ и связанных с реализацией новых технологий управления АПС и разработками интеллектуальных систем управления АПС.

2. Самым массовым и наиболее эффективным мероприятием в повышении безопасности на переездах является профилактическое и правовое регулирование нормативно-правовыми актами в области БДД, направленными на повышение дисциплинированности водителей.

3. Исследования показали, что наиболее эффективными предложениями организационного направления являются оптимизация сети переездов, регулирование их категорийности, но на данный момент не достигнут баланс между темпами закрытия переездов и строительством путепроводов, и темпы закрытия переездов значительно опережают темпы строительства путепроводов, как следствие, с учетом увеличения количества автомобилей, нагрузка на переезды увеличивается, и появляются новые проблемы на пути к снижению аварийности на переездах.

4. Технические мероприятия, направленные на оснащение переездов новыми техническими средствами регулирования потока АТС, и повышение безопасности на переездах способствуют выполнению Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года, и повсеместное внедрение их сокращает

аварийность. Однако темпы сокращения аварийности не соответствуют насущным требованиям из-за ограниченных функциональных возможностей, заложенных в алгоритмы функционирования АПС. Основным препятствием для достижения цели – обеспечения требуемой безопасности – является жесткий алгоритм функционирования, предполагающий немедленное запрещение въезда автотранспорта на переезд независимо от скорости и координаты поезда.

5. Для сокращения времени задержки автотранспорта у закрытых переездов в работе предлагается способ оптимизации работы автоматической переездной сигнализации путем внедрения в алгоритм функционирования «подвижной» координаты закрытия переезда, посредством корректировки времени закрытия переезда в зависимости от фактической координаты, скорости и динамики движения поезда по участку приближения.

3. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ИНФОРМАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ КООРДИНАТЫ ПОЕЗДА

Успешное решение задачи повышения пропускной способности и безопасности на железнодорожных переездах становится возможным, если подойти к проблеме с позиций комплексного решения вопроса функционирования системы железнодорожной АПС, с учетом излишнего простоя АТС у закрытых переездов из-за медленно движущихся поездов [47]. Управление АПС на переезде при этом необходимо осуществлять с учетом координаты и скорости поезда с соответствующим методом и алгоритмом регулирования. Этот принцип положен в основу разработки интеллектуальной «дружелюбной» системы управления АПС железнодорожных переездов в направлениях:

1) расширения их функциональных возможностей посредством адаптивного управления устройствами ограждения на основе учета скорости поезда на УП к переезду с корректирующим алгоритмом, что позволяет сократить простой автотранспорта перед переездом, и, следовательно, повысить безопасность на переездах;

2) повышения информированности водителей автотранспорта, использованием специальных информационных табло и дополнительных сигнальных приборов на переездах.

Координату и скорость поезда на УП к переезду можно вычислить, используя уравнение координаты поезда $S_i = f(X)$, с помощью информации непрерывно изменяющегося множества информативных признаков, зависящих от координаты поезда на УП к переезду и являющихся аргументами в уравнении, по значению которого определяется координата, текущая, поезда [48]. Если известна разность координат, пройденных поездом за фиксированное время, заданное таймером, то скорость определяется как:

$$V_i(t) = \frac{S_i(X) - S_{(i-1)}(X)}{\Delta t} = \frac{\Delta S_i}{\Delta t}, \quad (3.1)$$

где $V_i(t)$ – скорость поезда в i -й момент времени, $S_i(X)$ – текущая координата, Δt – временной интервал, в течение которого координата поезда изменилась с $S_{(i-1)}(X)$ до S_i , т.е. ΔS_i .

Очевидно, чем меньше промежуток времени дискретизации, тем более точно и почти непрерывно определяется скорость и корректируется время закрытия переезда, минимизируя простой автотранспорта.

Вместе с тем в представленном принципе обязательным условием является точность результатов вычисления координаты поездов, вступивших на участок приближения и каждый раз находящихся на одной и той же координате. Данное условие реализуемо обеспечением инвариантности информативных признаков к изменению параметров датчика. Вследствие того, что в качестве датчика информации используется рельсовая цепь, у которой информационные параметры зависят от первичных параметров РЛ и сопротивлений по концам РЛ, обеспечить инвариантность невозможно, поэтому необходима подстройка (корректировка) вида и сложности уравнения координаты поезда. То есть каждый раз при вступлении поезда на участок приближения необходима корректировка уравнения, иначе появляется ошибка, которая увеличивается со временем. Скорость при ошибочной координате вычисленная неточная, и это приводит к ошибочному определению фактического времени закрытия переезда и нарушению БДП. Поэтому работа по повышению точности вычисления координаты поезда актуальна, необходимо сформировать и исследовать систему информативных признаков координаты поезда.

3.1 Разработка структурной схемы датчика координаты поезда

Датчик определения координаты нахождения поезда на УП относится к устройствам обеспечения безопасности движения поездов, он должен обладать специфическими свойствами, к которым относятся:

- повышенная точность вычисления координаты поезда;
- инвариантность вычисленной координаты поезда к возмущающим факторам – изменению первичных параметров РЦ УП к переезду;

- обеспечение требуемого быстродействия измерения значений первичных информативных признаков и вычисления координаты поезда.

В настоящее время известно устройство определения координат поезда, обеспечивающее управление автоматическим движением на ЖДП, позволяющее переезд закрывать в зависимости от координаты места поезда, его скорости и ускорения [49–53].

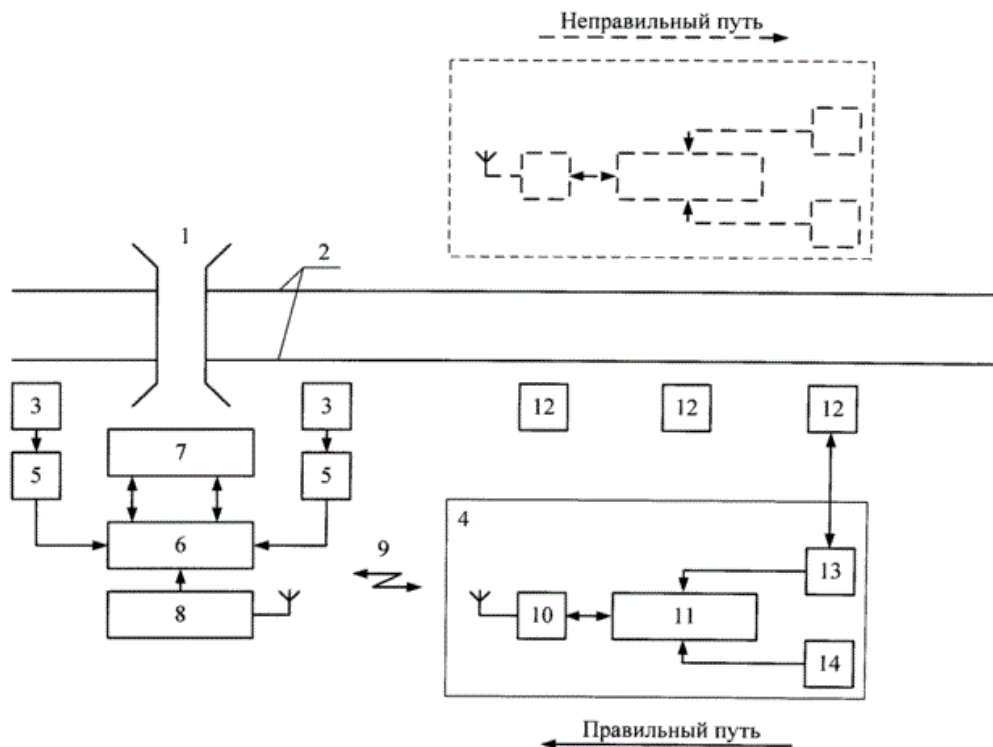


Рисунок 3.1 - Структурная схема определения координаты поезда точечными датчиками.

По данному решению рядом с РЛ на УП на определенном расстоянии установлены метки пассивные с координатами фиксированными, и каждая метка имеет идентификационный номер отличный от всех других, а на локомотиве установлено соответствующее считывающее устройство, подключенное к контроллеру бортового вычислительно-управляющего устройства. К контроллеру также подключен датчик определения скорости локомотива. В устройстве выключение и включение АПС осуществляется посредством воздействия поезда на РЦ и устройства счета осей (УСО), выполняемого двумя и более датчиками фиксации воздействия колесных пар поездов. РЦ непрерывно контролируют

нахождение на РЛ поезда, приближающегося к переезду, а УСО фиксируют моменты освобождения УП непосредственно за переездом для сокращения времени открытия переезда после прохода поезда и отсутствия приближения к переезду поезда смежного блок-участка.

Данному устройству присуще несовершенство, выраженное в недостаточной длине РЦ УП и в уменьшении надежности работы устройства с увеличением длины УП.

Другой разновидностью системы определения координаты поезда является использование метода импульсного зондирования, подробно изложенное в [54]. Основная идея метода импульсного зондирования состоит в том, что в РЛ посылаются импульсы напряжения, и по параметрам импульсов рассчитывается длина свободной РЛ (рис. 3.2). Для этого перед УП оборудуется измерительный участок l_u , огражденный путевыми датчиками Д1 и Д2, которые управляют соответственно генераторами Г1 и Г2.

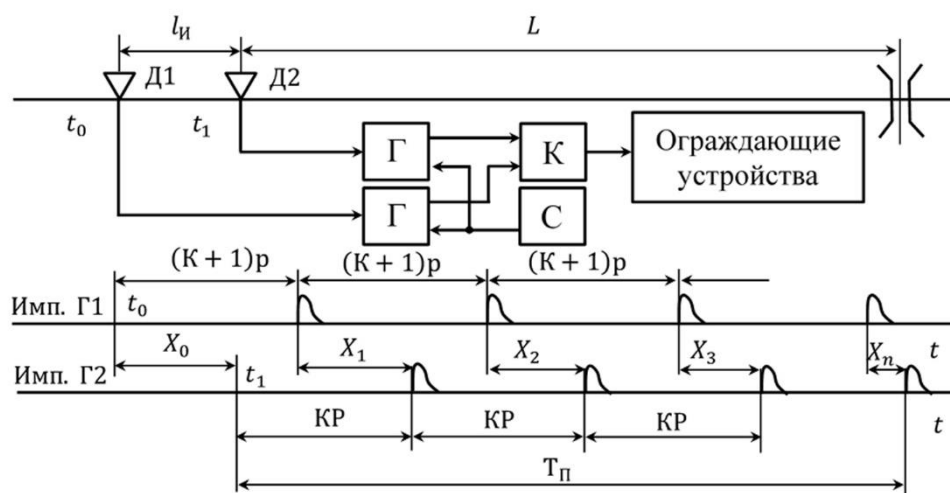


Рисунок 3.2 - Структурно-функциональная схема импульсной системы контроля скорости поезда

В момент вступления поезда на измерительный участок t_0 на Д1 включается генератор Г1, и им вырабатываются импульсы с периодичностью $(k+1)p$, где p – периодичность синхронизирующих импульсов блока С, а $k = L/l_u$. В момент t_1 поезд вступает на датчик Д2, включается генератор Г2, и им вырабатываются импульсы с периодичностью kp .

Междуимпульсный сдвиг во времени одного и другого генераторов сравнивающим устройством контролируется. Когда этот сдвиг приравняется к заданной величине x_n , блок компараторов на АПС подает команду на закрытие.

Из диаграммы на рис. 3.2. видно, что время первого генератора Г2 относительно первого импульса генератора Г1 определяется выражением:

$$x_1 = kp + x_0 - (k + 1)p = x_0 - p,$$

где x_0 – время движения поезда по измерительному участку.

Для второго импульса время задержки:

$$x_2 = 2kp - 2(k + 1)p = x_0 - 2p \text{ и т.д.}$$

Для n -го импульса:

$$x_n = nkp + x_0 - n(p + 1)p = x_0 - np.$$

Время с момента включения генератора Г2 до n -го импульса, когда на закрытие переезда подается команда:

$$T_n = nkp.$$

Время движение поезда по участку приближения L:

$$T = L/v_{\Pi}.$$

При $v_{\Pi} = l_n/x_0$ и $k = L/t_{\Pi}$ имеем $T = kx_0$

Время извещения:

$$t_{\text{изв}} = T - T_{\Pi} = kx_0 - nkp = k(x_0 - np) = kx_{\Pi}.$$

Если принять $x_{\Pi} = t_p/k$, то получим $t_{\text{изв}} = t_p$, т.е. при любой скорости поезда время извещения на переезде остается постоянным.

Недостатком способа является невысокая точность определения координат поезда из-за большого затухания импульсов и малой амплитуды вследствие большой проводимости изоляции между рельсами, малой емкости между РЛ, значительной погонной индуктивности, и, следовательно, большого волнового сопротивления. Так как РЛ не согласована, на спаде и фронте импульса зондирования возникают лишние колебания, с длительностью значительно превышающей длительность зондирующего импульса. Поэтому распознать

импульс отклика очень сложно, что кроме сложности технической, определяет и его низкую точность.

Проблемы нарушения безопасности на переездах связаны со многими причинами, но основной является несовершенство однопараметрического датчика фиксации вступления поезда на УП к переезду, используемого в настоящее время [55]. Решить проблему возможно разработкой информационно-управляющей системы (ИУС) с многопараметрическим датчиком и самонастраивающимся уравнением вычисления координаты поезда с соответствующим алгоритмом управления транспортными потоками, закрывающим АПС не «заблаговременно», с огромным запасом времени запрета движения автотранспорту, а «по состоянию», когда уравнением координаты поезда вычисляется фактическое местоположение поезда, его скорость, и закрывается переезд для автотранспорта. В настоящее время в качестве датчика ИУС, АПС используются электрические РЦ, и в настоящей работе они использованы в качестве датчика информации. На рис. 3.3 представлена структурная схема, поясняющая принцип непрерывного определения координаты поезда.

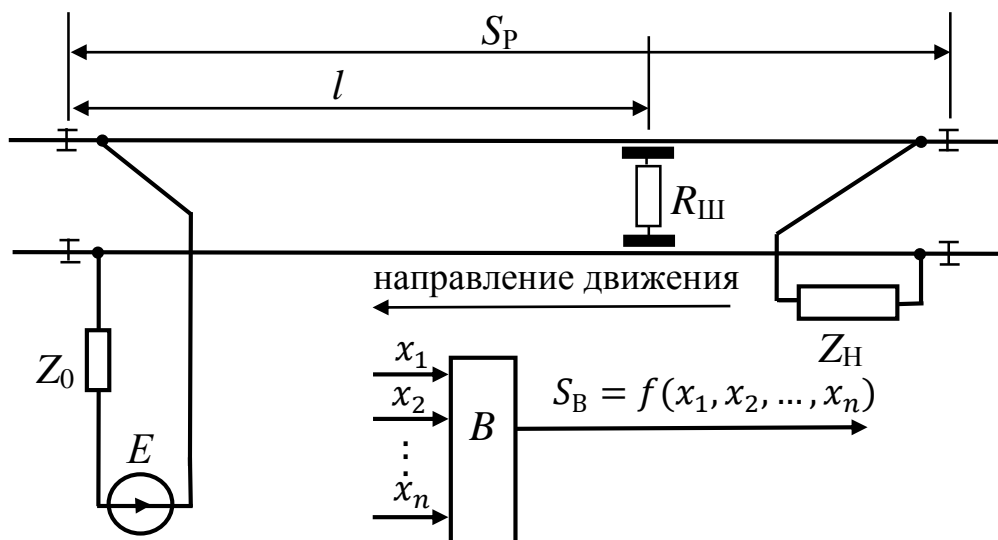


Рисунок 3.3 - Структурная схема определения координаты поезда на участке приближения к переезду:

B – вычислитель координаты поезда; $R_{ш}$ – сопротивление шунта поезда;

$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ – информативные признаки на входе РЦ УП;

S_v – уравнение координаты поезда.

После вступления поезда на УП изменяются значения информативных признаков, являющихся аргументами уравнения вычисления координат поезда. Вычислитель с самонастраивающимся уравнением координат поезда с заранее определенными коэффициентами в произвольный временной промежуток вычисляет место поезда, и определять его скорость.

На рис. 3.4 представлены временные и координатные интервалы информационно-управляющей системы управления АПС с корректирующим алгоритмом.



Рисунок 3.4 - Временные интервалы информационно-управляющей системы управления АПС с корректирующим алгоритмом :

$t=t_0$ – момент фиксации вступления поезда на участок приближения, вычисления координаты и верификации её с реальной координатой, в случае расхождения – корректировка уравнения вычисления координаты поезда;

$t_i \geq t \geq t_0$ - временной промежуток между вступлением поезда на участок приближения и закрытием переезда – промежуток времени вычисления координаты и скорости поезда и определения времени закрытия переезда по динамике движения поезда;

$t=t_n$ – предельный момент времени для закрытия переезда, т.е. гарантийное время приведения ограждающих устройств в закрытое состояние (40с – при светофорной сигнализации, 50с – при автоматических шлагбаумах, 50с – при оповестительной сигнализации).

3.2 Формирование системы информативных признаков координаты поезда

Прежде, чем приступить к построению информационно-управляющей системы с многопараметрическим датчиком и уравнением вычисления координаты поезда, инвариантной к воздействию возмущающих факторов, необходимо решить задачу выбора признаков, являющихся информативными параметрами датчика. Для построения эффективной системы распознавания координат поезда, образы, описывающие каждую координату в любой момент времени, должны быть похожими между собой и должны иметь достаточно близкие значения, т.е. должны составить кластеры состояний. Но из-за воздействия внешних факторов, значения некоторых признаков в образах различных координат могут иметь почти идентичные значения [56–59]. Поэтому при формировании множества необходимо учесть особенность различной реакции первичных информативных признаков на внешние воздействия, и при синтезе вычислителя координаты поезда в первую очередь необходимо определить оптимальный набор признаков, квазиинвариантных к внешним воздействиям и обеспечивающих максимальное качество распознавания координат [60].

На первом этапе выбора и селекции первичных информативных признаков в множество включаются все возможные признаки, а затем, с использованием процедуры оценки информативности, размерность матрицы первичных признаков, их количество существенно уменьшается, из признакового пространства формируется рабочее множество.

Одной из основных задач при формировании рабочего множества признаков является преобразование первичной информации для удобства кластеризации, если под классом понимается каждая координата поезда. В результате преобразования максимизируют расстояния между образами (кластерами) и минимизируют расстояния между значениями признаков внутри классов, т.е. образы становятся более компактными и обладающими более четкими границами классов [61]. При этом, как правило, стремятся также уменьшить размерность пространства признаков, исключая межклассовые признаки, не несущие полезной информации для классификации [62], но они могут быть полезны при диагностике АПС. В

интуитивном понимании образы одного класса должны быть идентичны или должны иметь практически одинаковые значения из ряда признаков. Однако при этом могут присутствовать признаки, довольно сильно отличающиеся внутри образов, т.е. различные признаки по-разному характеризуют различные классы образов. При статистическом и вероятностном подходах оценки информативности и кластеризации, интересны методики, раскрытые в [63, 64], суть которых заключается в оценке плотности распределения. Для этого находятся пики плотности, которые принимаются за центры кластеров или образов, вокруг которых группируются остальные признаки. Представляет определенный интерес работа, представленная в [65], где рассматривается адаптивный алгоритм формирования признаков, полученный за счет развития теории распознавания информации на основе модифицированного метода Хаусдорфа, путем коррекции координат шаблонов подсистемы формирования координат (кластеров).

Вместе с тем, несмотря на множество методик, и алгоритмов группировки признаков, а также способов первичного преобразования исходных данных, при решении практических задач определения координат поезда, не допускающих ошибки при распознавании координат, применимость их ограничена, требуются огромные массивы эмпирических данных для построения системы вычисления координат.

Решение задачи оценки информативности признаков должно выполнять и ранжировку признаков. Если признаки независимые, то вычисляя ошибку определения координат для ансамбля из N признаков, включающего, i -й признак, а затем для ансамбля без этого признака, и сравнивая полученные вероятности ошибок, можно определить, следует ли использовать данный признак. После подобного определения информативности каждого признака выбираются признаки с большей информативностью. Если признаки зависимые, то процесс ранжировки признаков выполняется по следующему алгоритму:

- 1) все N признаков поочередно исключаются из множества на основе некоторого алгоритма;

2) в оставшемся пространстве $(N - 1)$ признаков исследуется критерий качества вычисления координат;

3) исключается признак, отсутствие которого наименее сильно изменяет величину критерия;

4) затем, исследуя поочередно остальные $(N - 1)$ признаки, исключается следующий признак;

5) процесс ранжировки повторяется $(N - 1)$ раз.

В качестве меры информативности в алгоритме могут использоваться системные энтропийные меры оценки информативности признаков [66–68]. Признаки, уменьшающие неопределенность заданной ситуации, считаются более информативными, чем признаки, которые приводят к увеличению или оставлению на том же уровне неопределенность. Поэтому энтропию можно считать мерой неопределенности, и предпочтительным правилом является выбор признаков, обеспечивающих минимум энтропии границ рассматриваемых координат [69].

Согласно [70, 71], селекция признаков осуществляется анализом коэффициента корреляции между значением признака и некоторым порогом координат, заданным ранее. По величине коэффициента корреляции элиминируются второстепенные, незначительные признаки.

Патрик Е.А. в фундаментальной работе [72] предлагает шесть способов понижения размерности пространства признаков. К ним относятся: рассмотрение локального понижения размерности в подпространствах, составляющих образы некоторого класса, изменение проекции пространств признаков, линейное преобразование и др. Однако из-за большого разнообразия процедур преобразования приемы представляют собой искусство, а не формализованную математическую процедуру.

Ивахненко А.Г. в монографии [73] предложил упорядочение признаков осуществлять оценкой дисперсии: если дисперсия признака велика, то надежность распознавания незначительна, и наоборот, малая дисперсия предполагает высокую надежность и поэтому признаки с малой дисперсией более ценны для

распознавания. В работе [74] процесс селекции осуществляется по следующему алгоритму:

- формируются классы;
- экспертным анализом формируется первоначальное множество признаков;
- оцениваются ошибки классификации;
- из признакового пространства исключаются поочередно признаки и по величине ошибки формируется рабочее множество признаков.

Изучение источников в открытой печати показывает на недостаточную проработанность вопросов в области исследования информативности первичных признаков и формирования множества образов, не допускающих пересечения, а в области исследования информативных признаков при распознавании координат поезда на участке приближения исследования практически отсутствуют.

Из анализа литературных источников, приведенных выше, можно выделить два основных метода в оценке информативности (полезности) признаков, приемлемых при построении вычислителя координаты поезда. В одном из них выбор признаков осуществляется безотносительно к тому, где и как эти признаки в дальнейшем будут использоваться, т. е. вне системы распознавания. Другой метод предполагает оценку информативности с участием системы распознавания, т.е. с использованием набора признаков и уравнения координаты поезда. Далее, используя определенный критерий – относительную ошибку определения координат - оценивается информативность признаков, использованных при распознавании. Те признаки, которые дают наибольшую ошибку, исключаются из множества.

Эти подходы не противоречат, а дополняют друг друга, поскольку на первом этапе считается, что принадлежность признаков к образам, описывающим координаты, неизвестна, и селекция признаков для формирования множества осуществляется по степени их идентичности или взаимосвязи, т.е. осуществляется их элиминирование или первичная обработка признаков, которые затем, на втором этапе, могут использоваться при распознавании. При этом используется обучающая выборка образов, составленная из прошедших селекцию признаков.

Данный подход используется в сложных, многоуровневых системах распознавания.

При реализации первого метода оценки информативности (полезности) признаков в качестве меры использованы корреляционные функции [70, 73, 75], которые позволяют установить взаимосвязь пар признаков x_{1i} и x_{2i} из множества $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$. С этой целью необходимо рассмотреть попарную комбинацию признаков в каждой строке матрицы (3.2), составленную из значений признаков, путем моделирования или измерения:

$$X = \begin{vmatrix} x_{11}, & x_{12}, & \dots, & x_{1n} \\ x_{21}, & x_{22}, & \dots, & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1}, & x_{m2}, & \dots, & x_{mn} \end{vmatrix}. \quad (3.2)$$

Коэффициентом корреляции двух рассмотренных последовательностей является величина [73]:

$$r_{x_1 x_2} = \frac{1}{k \sigma_{x_1} \sigma_{x_2}} \sum_{i=1}^m (x_{1i} - \bar{x}_1)(x_{2i} - \bar{x}_2),$$

где k – количество наблюдений;

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^2},$$

где n – количество признаков в рассматриваемой последовательности;

σ – среднее квадратичное отклонение;

\bar{x} – среднее значение признаков.

Значение r_{ij} около 1 указывает на однозначную детерминированную зависимость в множестве рассматриваемых признаков, и один из признаков не несет информации о распознаваемом образе. Т.е. один из признаков является лишним во множестве, а при $r < 1$ указывает на практическое отсутствие зависимости между признаками, и пара признаков включается во множество [76].

При этом в последовательностях $\{x_1\}$ и $\{x_2\}$ не исключаются повторяющиеся значения.

Корреляционная связь информативных признаков рельсовых цепей использована впервые в работе [77], где показана взаимокорреляционная связь пар признаков, согласно цели работы в нормальном режиме, то есть при отсутствии поезда на рельсах.

В данном разделе, в соответствии с поставленными задачами настоящей работы, исследуются попарные взаимокорреляционные связи при нахождении поезда на УП. Селекция и ранжирование информативных признаков осуществляется с помощью математических моделей, приведенных в [78]. Составлены математические модели на основе уравнений состояний:

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = A\dot{U}_2 + B\dot{I}_2 \\ \dot{I}_1 = C\dot{U}_2 + D\dot{I}_2 \end{cases}, \quad (3.3)$$

$$\text{где } \begin{cases} A = (1 - M)(A_{1u} \operatorname{ch} \gamma_1 l + A_{2u} \operatorname{sh} \gamma_1 l) + (1 - N)(A_{3u} \operatorname{ch} \gamma_2 l + A_{4u} \operatorname{sh} \gamma_2 l); \\ B = (1 - M)(A_{1i} \operatorname{ch} \gamma_1 l + A_{2i} \operatorname{sh} \gamma_1 l) + (1 - N)(A_{3i} \operatorname{ch} \gamma_2 l + A_{4i} \operatorname{sh} \gamma_2 l); \\ C = \frac{1}{2}(Y_{11} - Y_{21})(A_{1u} \operatorname{sh} \gamma_1 l + A_{2u} \operatorname{ch} \gamma_1 l) + \frac{1}{2}(Y_{12} - Y_{22})(A_{3u} \operatorname{sh} \gamma_2 l + A_{4u} \operatorname{ch} \gamma_2 l); \\ D = \frac{1}{2}(Y_{11} - Y_{21})(A_{1i} \operatorname{sh} \gamma_1 l + A_{2i} \operatorname{ch} \gamma_1 l) + \frac{1}{2}(Y_{12} - Y_{22})(A_{3i} \operatorname{sh} \gamma_2 l + A_{4i} \operatorname{ch} \gamma_2 l); \end{cases} \quad (3.4)$$

где $\left. \begin{matrix} A_{1u} - A_{4u} \\ A_{1i} - A_{4i} \end{matrix} \right\}$ – некоторые функции, зависящие от параметров рельсовой линии:

$$M = \frac{\gamma_1^2 - Z_1(g_1 + g_{12}) + Z_M g_{12}}{Z_M(g_2 + g_{12}) - Z_1 g_{12}};$$

$$N = \frac{\gamma_2^2 - Z_1(g_1 + g_{12}) + Z_M g_{12}}{Z_M(g_2 + g_{12}) - Z_1 g_{12}};$$

$$Y_{11} = \gamma_1 \frac{Z_2 - M Z_M}{Z_1 Z_2 - Z_M^2}; \quad Y_{12} = \gamma_2 \frac{Z_2 - N Z_M}{Z_1 Z_2 - Z_M^2};$$

$$Y_{21} = \gamma_1 \frac{M Z_1 - Z_M}{Z_1 Z_2 - Z_M^2}; \quad Y_{22} = \gamma_2 \frac{N Z_1 - Z_M}{Z_1 Z_2 - Z_M^2}.$$

Используя уравнения (3.3) и (3.4), сформировано априорное множество первичных информативных признаков, подлежащее исследованию информативности:

$$m_N = \{U_{1N}, I_{1N}\},$$

$$m_S = \{U_{1S}, I_{1S}\},$$

$$m_K = \{U_{1K}, I_{1K}\}.$$

С учетом того, что для определения координаты поезда необходимо рассмотреть математические модели шунтового режима, селекция проводится только на множестве m_S .

Сочетания пар признаков представлены на рис. 3.5.

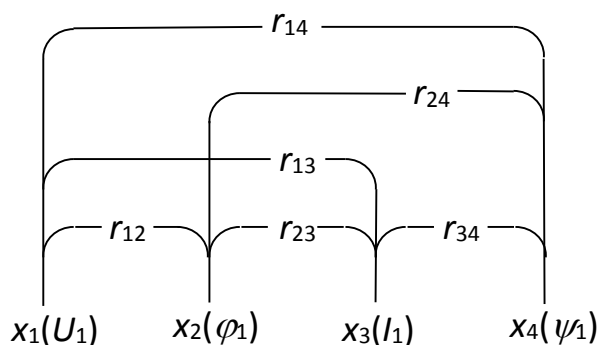


Рисунок 3.5 - Схема комбинации попарного сочетания признаков

Блок-схема машинной программы исследования селекции признаков, представленная на рис. 3.6, реализована в среде Mathcad и состоит из последовательностей:

- определение коэффициентов матрицы рельсового четырехполюсника;
- формирование информационной матрицы первичных признаков;
- нормирование коэффициентов матрицы;
- вычисление коэффициента взаимной корреляции.



Рисунок 3.6 - Блок-схема машинной программы исследования корреляционной связи информативных признаков

С использованием математического пакета для выполнения технических и математических расчетов Mathcad составлена программа, представленная в приложении Б, и проведены исследования корреляционных коэффициентов пар признаков. При моделировании и исследовании приняты следующие допущения – длина рельсовой линии 2 км, частота тока опроса рельсовых линий 25 Гц. Результаты исследований представлены на рис. 3.7 и в приложении В.

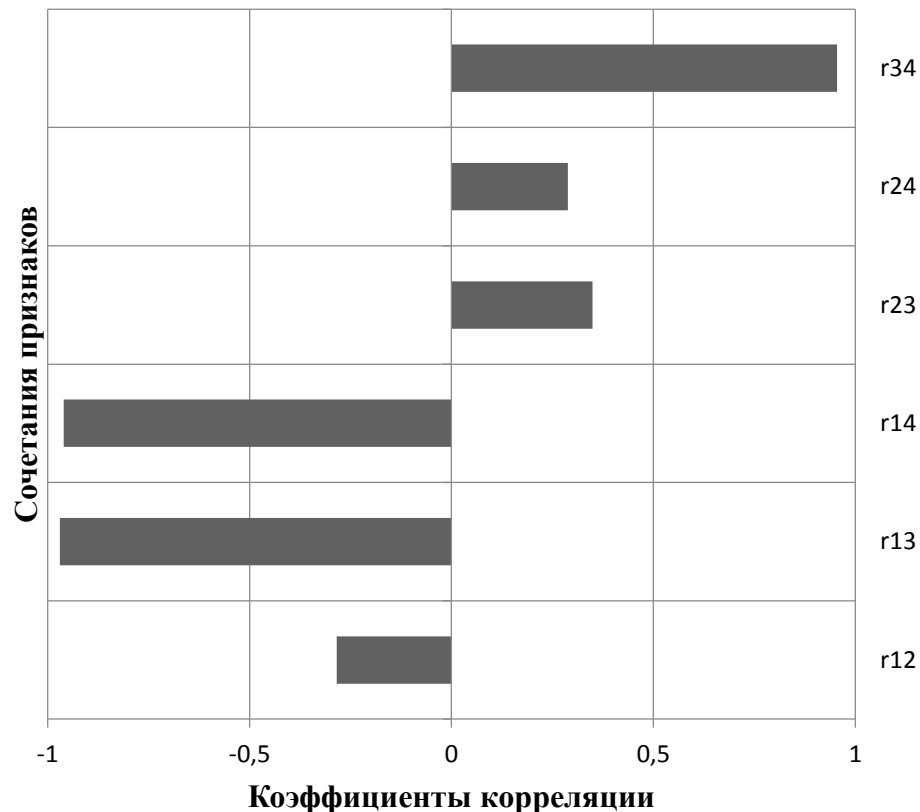


Рисунок 3.7 - Значения взаимокорреляционного коэффициента пар признаков

Из рисунка 3.7 следует, что взаимокорреляционный коэффициент пар признаков r_{12} (UI и φ_1) имеет наименьшую величину, равную $-0,284$, поэтому эта пара считается наиболее информативной, и при создании системы распознавания рационально использовать сочетание признаков UI и φ_1 . Следующей парой признаков, имеющей наименьший коэффициент корреляции, является фаза напряжения и тока на входе РЛ, у которой значение взаимокорреляционного коэффициента равно $0,288$. Также низкий коэффициент корреляции у пары признаков фаза напряжения и амплитуда тока на входе РЛ $r_{23} = 0,349$. При синтезе

уравнения координаты поезда с тремя признаками – аргументами, необходимо использовать амплитуду и фазу тока на входе РЛ и фазу напряжения на ее входе. Остальные сочетания, как следует из рис. 3.6, имеют высокий коэффициент корреляции $r \approx 1$, поэтому они по первому методу оценки информативности считаются малоинформативными. Рассмотренный подход предполагает классификацию на первичном, признаковом уровне. Более сложные системы и алгоритмы распознавания предполагают использование многоуровневой системы при селекции пар признаков.

Второй метод формирования множества признаков, как указывалось выше, предлагает оценку информативности (полезности) осуществлять с использованием уравнения координаты поезда и принципов многомерной аппроксимации для нахождения коэффициентов полинома, используемого в качестве уравнения [79]. Для этого выбирается минимальное количество признаков $n=2$, вид уравнения координаты поезда, его сложность (для практической цели полином второй степени), производится нахождение коэффициентов, и с полученным уравнением координаты поезда осуществляется оценка качества распознавания координат поезда. Затем меняется один из используемых признаков, и процедура повторяется. Если качество распознавания координат с использованием первой пары признаков выше, чем со второй парой, то первая пара включается во множество, а использованный во втором цикле признак исключается из сочетания и процедура повторяется до тех пор, пока не произойдет перебор всего первичного алфавита признаков.

3.3. Разработка математических моделей информативных признаков

Решение задач математического моделирования РЦ, как правило, начинается с математического описания физических процессов в них и преобразования полученных выражений к виду, удобному для численного решения. Полученное математическое описание представляет собой математическую модель.

РЦ представляет собой датчик первичной информации о состоянии РЛ с распределенными параметрами. По своему функциональному назначению РЦ

классифицируют три состояния РЛ, а именно, исправное и свободное состояние, занятое и исправное состояние РЛ, свободное, но оборванное состояние рельсовой нити.

Для решения задачи анализа или синтеза РЦ, к математической модели предъявляются самые различные требования: описание с требуемой точностью процессов выходных параметров РЛ, внутренних параметров и внешних факторов в широком диапазоне их флуктуации, соответствие физическим процессам, протекающим в РЛ, универсальность. Указанные требования являются противоречивыми, и правильное компромиссное согласование требований в одном случае может оказаться далеким для оптимальности для других. По этой причине для одного и того же электрического параметра в различных состояниях часто приходится иметь не одну, а несколько моделей.

При синтезе и анализе РЦ применяется обобщенная схема из каскадного соединения трех четырехполюсников, замещающих соответственно устройства согласования источника питания с РЛ [A_H], рельсовую линию [A_{PL}] и устройства согласования приемной аппаратуры с РЛ [A_K].

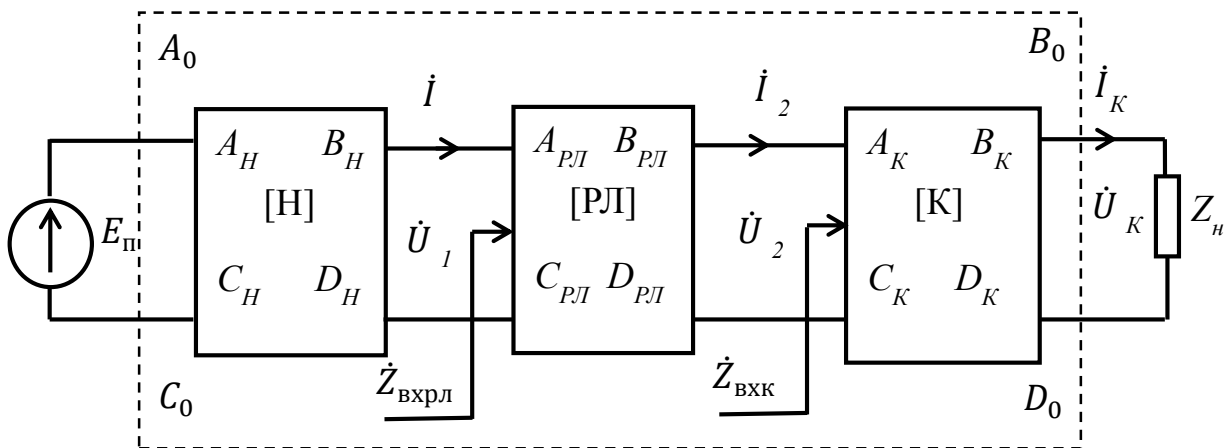


Рисунок 3.8 - Обобщенная четырехполюсная схема замещения РЦ

Коэффициенты обобщенного четырехполюсника $[A_o]$ определяются перемножением матриц коэффициентов четырехполюсников $[A_n]$, $[A_{рл}]$ и $[A_k]$. В обобщенной матрице коэффициенты $[A_n]$ и $[A_k]$ имеют постоянные значения, как правило, взятые из справочников, а коэффициенты $[A_{рл}]$ переменные, зависящие от первичных параметров РЛ - продольного сопротивления РЛ и поперечной проводимости изоляции. С учетом вышесказанного, для удобства моделирования, заменим четырехполюсники начала и конца комплексными двухполюсниками, замещающими параметры аппаратуры согласования в начале и в конце РЛ, для этого методом эквивалентного генератора находим величину обратного входного сопротивления Z_{ex} четырехполюсника $[A_n]$, которая и является двухполюсником Z_o .

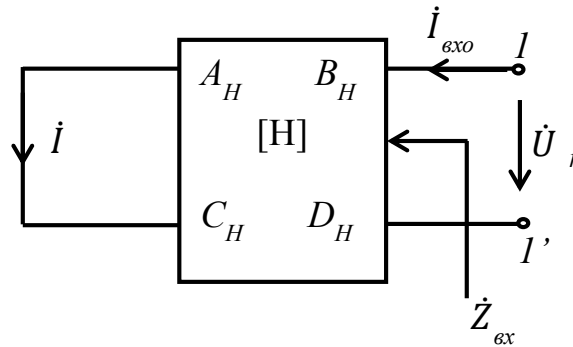


Рисунок 3.9 - Схема преобразования четырехполюсников $[H]$ и $[K]$ в двухполюсники Z_o и Z_n

Аналогично, находим прямое входное сопротивление $Z_{вхк}$ четырехполюсника $[A_k]$, и эта величина, суммируясь с сопротивлением нагрузки, составляет Z_n . Данный вид преобразований является операцией приведения к основной схеме замещения РЦ, представленной на рис. 3.10.

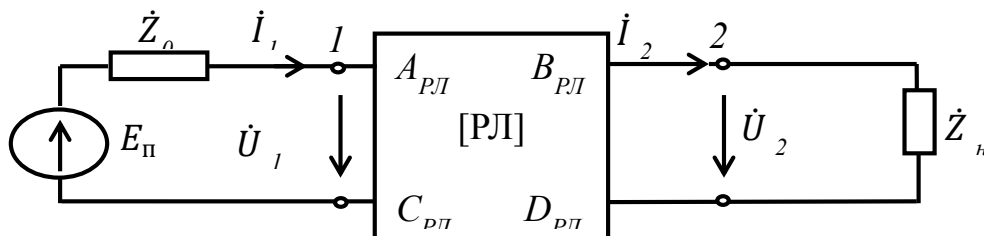


Рисунок 3.10 - Основная схема замещения РЦ.

Наличие поезда на РЛ отражается на величине сигнала на выходном конце РЦ, поданного на ее вход от специального источника питания. Одновременно, при

вступлении поезда и движении по УП, изменяются и входные электрические параметры РЛ, а именно, комплексные амплитуды напряжения и тока на входе.

Электрические свойства РЛ определяются удельной проводимостью изоляции Y_u (См/км) и удельным электрическим сопротивлением рельсов Z_p (Ом/км), которые в свою очередь зависят от ее первичных параметров: r (Ом/км) - продольное активное сопротивление двух рельсов; L (Гн/км) - полная индуктивность двух рельсов, включая внутреннюю индуктивность, индуктивность стыковых соединителей и внешнюю индуктивность; C (См/км) - поперечная емкость между первым и вторым рельсами; g (См/км) - поперечная активная проводимость утечки изоляции между рельсами.

В связи с явлениями поверхностного эффекта и гистерезиса, резистивное сопротивление r и внутренняя индуктивность L РЛ как ферромагнитных проводников зависит от размеров, формы сечения, магнитных свойств и проводимости материалов рельсов, частоты тока опроса РЛ [80].

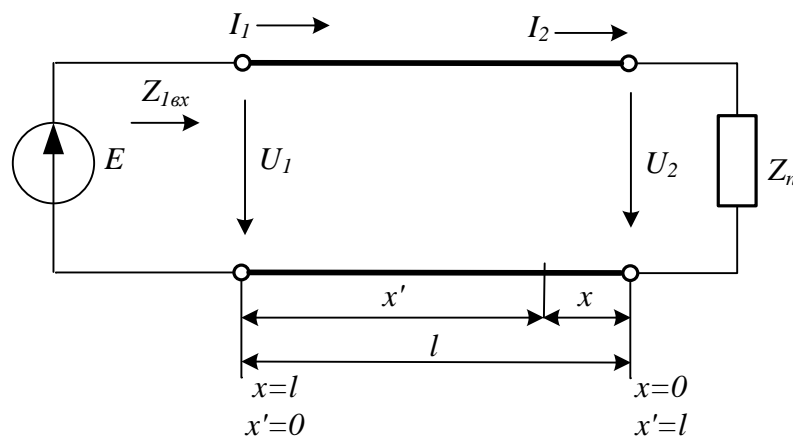


Рисунок 3.11 - Схема простейшей двухпроводной цепи

Как известно из теории электрических цепей, напряжение и ток в любой точке линии можно рассматривать как результат интерференции двух гармонических волн напряжения и тока, распространяющихся по линии [81]. Процесс распространения волн по РЛ вполне характеризуют ее вторичные или волновые параметры – коэффициенты распространения волны γ и волновое сопротивление Z_B .

Бесконечно малый элемент РЛ, длиной dx , с учетом электрохимической природы изоляции можно приближенно заменить эквивалентной схемой. На рис.

3.12 показана схема замещения бесконечно малого элемента двухпроводной линии. В отличие от рис. 3.11 здесь указаны не комплексные, а мгновенные значения напряжений и токов: $u(x,t) = u(x)$ и $i(x,t) = i(x)$.

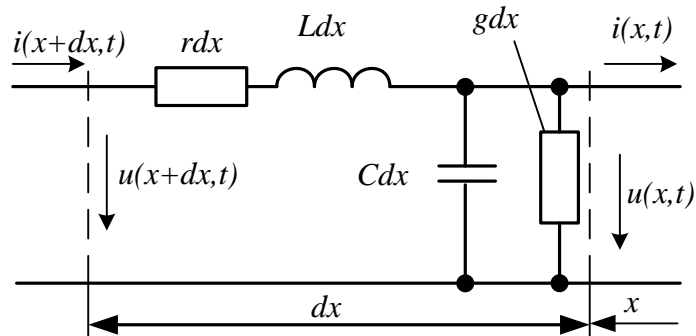


Рисунок 3.12 - Эквивалентная схема элемента РЛ бесконечно малой длины:
 $Z_{1\text{вх}}, Z_n$ - входное и нагрузочное сопротивление.

Гармоническое напряжение и ток в линии, характеризуемой параметрами C , L , r , g являются функциями расстояния x от ее конца, т.е. $U = U(x)$; $I = I(x)$, или расстояния x' от начала, т.е. $U' = U'(x)$; $I' = I'(x)$. При этом, $0 \leq x \leq l$ и $0 \leq x' \leq l$, где l – длина линии, причем $x + x' = l$. Далее чаще применяется основной вариант расположения начала координат ($x = 0$ в конце линии), т.е. координата вступления поезда на УП к переезду.

Рассмотрим длинную линию, состоящую из двух одинаковых проводов – прямого и обратного. Введем обобщенную схему замещения бесконечно малого элемента линии по рис. 3.12, где $Z_p = z_p e^{j\xi} = r + jL$, Ом/м; $Y_u = y_u e^{j\xi} = g + jC$, См/м, – комплексное продольное сопротивление и поперечная проводимость между рельсами, в единицу длины.

Полагая, что на входе РЦ действует источник гармонического напряжения, выражения для распределения напряжений $U(x) = U$ и токов $I(x) = I$ вдоль линии с распределенными параметрами (рис. 3.12) имеют вид:

$$dU / dx = Z_p I; \quad dI / dx = Y_u U, \quad (3.5)$$

которые после совместного решения приводят к уравнениям Гельмгольца:

$$\begin{aligned} d^2 U / dx^2 - \gamma^2 U &= 0, \\ d^2 I / dx^2 - \gamma^2 I &= 0, \end{aligned} \quad (3.6)$$

где $\gamma = \sqrt{Z_p Y_u}$ – коэффициент распространения волны вдоль рельсовой линии. Общие решения уравнений (3.6) можно записать в виде суммы прямых (падающих) и обратных (отраженных) волн напряжений и токов:

$$U = U_{np} + U_{обр} = Ae^{\gamma x} + Be^{-\gamma x}; I = I_{np} - I_{обр} = \frac{1}{Z_c}(Ae^{\gamma x} - Be^{-\gamma x}), \quad (3.7)$$

где A, B – постоянные, определяемые из граничных условий:

$Z_c = z_c e^{j\varphi_c}$ – характеристическое сопротивление.

Падающим волнам соответствует множитель $e^{\gamma x}$, отраженным $e^{-\gamma x}$, так как начало координат ($x = 0$) заранее выбрали в конце РЛ (рис. 3.12). Падающие и отраженные волны образуют систему частных решений уравнений (3.6).

Введем обозначения для коэффициента распространения волны

$$\gamma = \alpha + j\beta,$$

где α и β – действительная и мнимая части коэффициента распространения. При этом, напряжение прямой (падающей) гармонической волны можно записать так:

$$U_{np} = Ae^{\gamma x} = Ue^{j\psi} e^{\alpha x} e^{j\beta x},$$

где U, ψ – действующее значения напряжения и его начальная фаза при $x = 0$.

Мгновенные значения напряжения $u_{np}(x, t) = u_{np}$ и тока $i_{np}(x, t) = i_{np}$ прямой волны:

$$\left. \begin{aligned} u_{np} &= \text{Im} U_{np} = \sqrt{2} U e^{\alpha x} \sin(\omega t + \beta x + \psi), \\ i_{np} &= \text{Im} I_{np} = \frac{\sqrt{2} U}{Z_c} e^{\alpha x} \sin(\omega t + \beta x + \psi - \varphi_c). \end{aligned} \right\}$$

Для обратной бегущей волны выражения аналогичны.

Уравнения (3.7) можно еще записать иначе, как для четырехполюсника. Если заданы напряжение U_1 и ток I_1 в начале линии, то используя систему координат x' , имеем:

$$\left. \begin{aligned} U &= U_1 \text{ch } \gamma x' - Z_c I_1 \text{sh } \gamma x', \\ I &= -\frac{U_1}{Z_c} \text{sh } \gamma x' + I_1 \text{ch } \gamma x'. \end{aligned} \right\}$$

Если заданы напряжение U_2 и ток I_2 в конце РЛ, то воспользуемся системой координат x :

$$\left. \begin{aligned} U &= U_2 \operatorname{ch} \gamma x + Z_c I_2 \operatorname{sh} \gamma x, \\ I &= \frac{U_2}{Z_c} \operatorname{sh} \gamma x + I_2 \operatorname{ch} \gamma x. \end{aligned} \right\}$$

Отсюда, при $x = l$, получим уравнение состояний РЛ:

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= U_2 \operatorname{ch} \gamma l + Z_c I_2 \operatorname{sh} \gamma l, \\ I_1 &= \frac{U_2}{Z_c} \operatorname{sh} \gamma l + I_2 \operatorname{ch} \gamma l, \end{aligned} \right\}, \quad (3.8)$$

причем $U_2 = Z_n I_2$, где Z_n – сопротивление нагрузки линии.

Система уравнений (3.8) в обобщенном виде представляется как:

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= AU_2 + BI_2, \\ I_1 &= CU_2 + DI_2, \end{aligned} \right\}, \quad (3.9)$$

где A, B, C – коэффициенты четырехполюсника РЛ.

При разработке математических моделей РЦ в режиме наличия поезда на участке контроля (шунтовой режим), РЛ удобно заменить тремя четырехполюсниками, а именно четырехполюсником, замещающим участок РЛ от нагрузки до места нахождения поезда с переменной координатой x , колесная пара поезда (шунт) замещается другим четырехполюсником с сосредоточенными параметрами (хотя в данной модели поездной шунт может иметь и переменную величину), и участок от места нахождения поезда до источника питания сигнала опроса замещается третьим четырехполюсником с переменной координатой $l-x$.

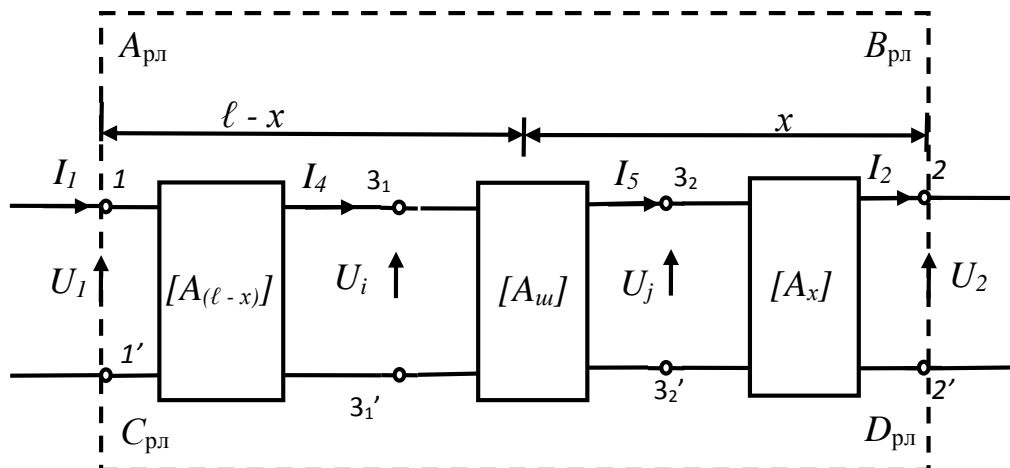


Рисунок 3.13 - Декомпозиция основной схемы замещения в шунтовом режиме:

$$\text{где, } [A_{\ell-x}] = \begin{bmatrix} ch\gamma(\ell-x) & Z_6 sh\gamma(\ell-x) \\ \frac{1}{Z_6} sh\gamma(\ell-x) & ch\gamma(\ell-x) \end{bmatrix}, [A_u] = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{Z_u} & 1 \end{bmatrix}, [A_x] = \begin{bmatrix} ch\gamma x & Z_6 sh\gamma x \\ \frac{1}{Z_6} sh\gamma x & ch\gamma x \end{bmatrix}. \quad (3.10)$$

Коэффициенты обобщенного четырехполюсника РЛ $[A_{PL}]$ получаем перемножением трех представленных четырехполюсников:

$$\begin{aligned} A_{PL} &= ch\gamma(\ell-x) \cdot ch\gamma x + Z_6 sh\gamma(\ell-x) \cdot \left(\frac{1}{Z_u} ch\gamma x + \frac{1}{Z_6} sh\gamma x \right), \\ B_{PL} &= ch\gamma(\ell-x) \cdot Z_6 sh\gamma x + Z_6 sh\gamma(\ell-x) \cdot \left(\frac{1}{Z_u} Z_6 sh\gamma x + ch\gamma x \right), \\ C_{PL} &= \frac{1}{Z_6} sh\gamma(\ell-x) \cdot ch\gamma x + ch\gamma(\ell-x) \cdot \left(\frac{1}{Z_u} sh\gamma x + \frac{1}{Z_6} sh\gamma x \right), \\ D_{PL} &= \frac{1}{Z_6} sh\gamma(\ell-x) \cdot Z_6 sh\gamma x + ch\gamma(\ell-x) \cdot \left(\frac{1}{Z_u} Z_6 sh\gamma x + ch\gamma x \right). \end{aligned} \quad (3.11)$$

Воспользовавшись уравнениями состояний РЛ (3.9) и используя (3.10), (3.11) получим математические модели информативных признаков:

$$\begin{cases} U_{1S} = \frac{E(A_{PL} Zn + B_{PL})}{(C_{PL} Zn + D_{PL})Zo + A_{PL} Zn + B_{PL}}; \\ I_{1S} = \frac{E(C_{PL} Zn + D_{PL})}{(C_{PL} Zn + D_{PL})Zo + A_{PL} Zn + B_{PL}}. \end{cases} \quad (3.12)$$

3.4. Исследование возможностей определения координаты поезда информацией отдельных признаков

В настоящее время известны способы определения координаты и, соответственно, скорости поезда на УП, представленные в источниках [82–84], по информации отдельных признаков, в качестве которых используются комплексные амплитуды напряжения и тока на входе РЛ. Согласно способам, при нахождении РЦ УП в шунтовом режиме блок вычисления координаты и скорости поезда на УП по значениям тока и напряжения сравнивает текущие значения с эталонными

значениями. В результате сравнения текущих значений с эталонными определяется координата для приведения в действие АПС и закрытия переезда для автотранспорта. Согласно принципу, по скорости изменения тока в РЛ определяется скорость, а также положение и направление движения поезда [82].

Общий принцип действия способа управления АПС, представленного в [83, 84], основывается на прогнозе времени закрытия переезда. Как и в предыдущем случае, информационной базой являются входные напряжения и токи РЦ. Поступившая информация от РЦ обрабатывается, сравнивается с заранее рассчитанными задержками времени на закрытие переезда относительно неизменной длины УП, полагая что скорость приближения подвижной единицы равномерная.

Представленный способ реализуем, если величины первичных параметров РЛ C, L, r, g постоянны, но это невозможно, т.к. вследствие изменения климатических условий изменяются проводимость изоляции, емкость между рельсами, а вследствие механических воздействий происходит обрыв стыковых соединителей, изменяются сопротивления изолирующих стыков, и на первичные параметры оказывают влияние множество других возмущающих воздействий.

С использованием математического пакета Mathcad, разработанных математических моделей (3.12) в работе исследованы изменения первичных информативных признаков – комплексных амплитуд напряжения и комплексных амплитуд токов на входе РЛ. На рис 3.14–3.17 представлены графики зависимости $U_1 = f(x, g), I_1 = f(x, g), \varphi_1 = f(x, g), \psi_1 = f(x, g)$.

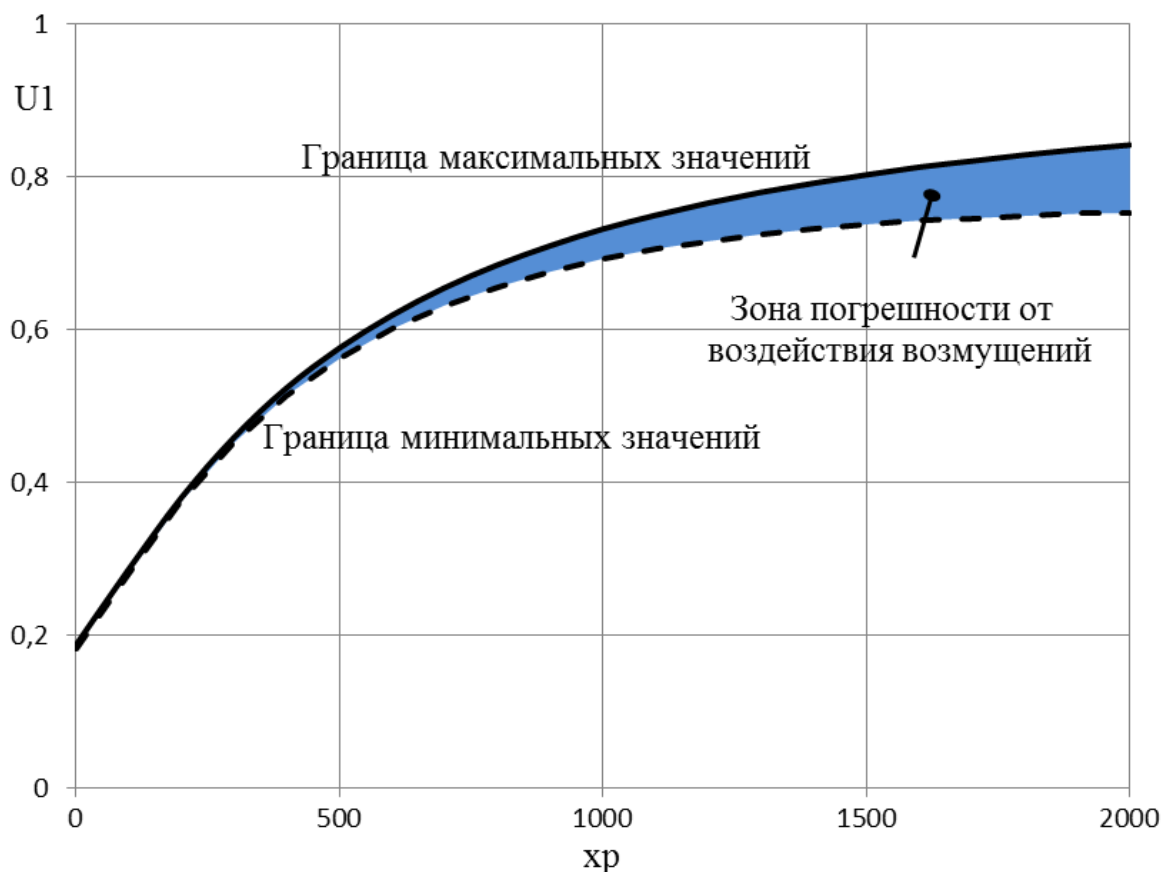


Рисунок 3.14 - Графики напряжения на входе РЛ в зависимости от координаты шунта и проводимости изоляции

Машинная программа приведена в приложении Г. Результаты исследований представлены в виде таблиц и графиков в приложении Д, а также для частоты 25 Гц в виде графиков отражены в данном разделе. При моделировании и исследовании приняты следующие допущения: длина РЛ - 2 км, частота сигнального тока опроса рельсовых линий - 25 Гц, рельсы - Р65, диапазон изменения проводимости изоляции $5,0 > g > 0,1$ См/км.

Из графиков следует, что по величине напряжения на входе РЛ определить координату невозможно, т.к. для одного значения напряжения, например, 0,75 В разброс координат составляет 475 метров, или одной координате соответствует разброс напряжений 0,239 В, при максимально возможном - 0,842 В, что недопустимо много для ИУС.

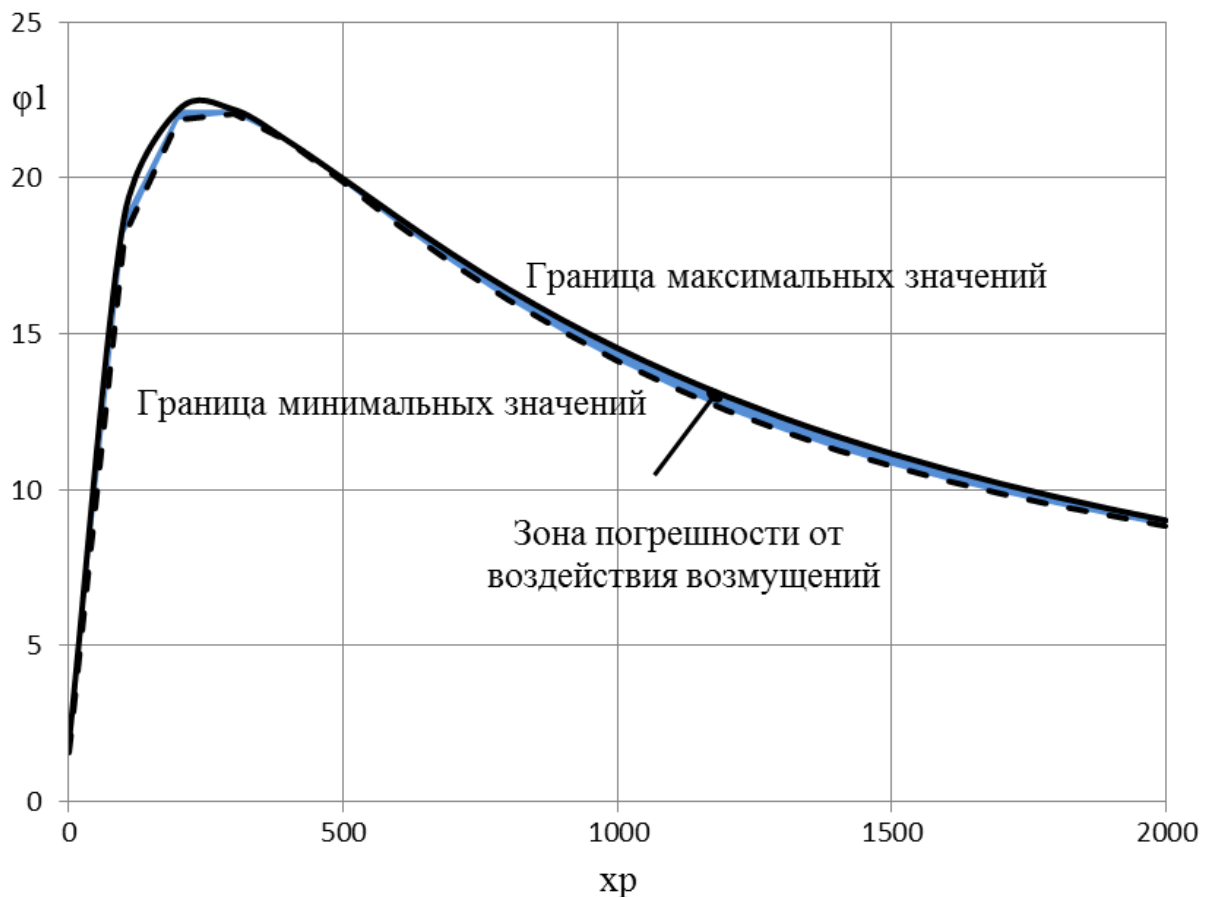


Рисунок 3.15 - Графики фазы напряжения на входе РЛ в зависимости от координаты шунта и проводимости изоляции

Как следует из графиков изменения фаз напряжения на входе РЛ, данный признак обладает относительно инвариантными свойствами к изменению проводимости изоляции РЦ. Вместе с тем график по значениям почти зеркальный, относительно координаты 1800 м, и фаза напряжения на входе РЛ при движении поезда от релейного конца растет от 8,8 до 22,8 эл. градуса, а затем на расстоянии 200 м от питающего конца РЦ УП - уменьшается до 3 эл. градусов. Таким образом, одинаковым значениям фазы соответствуют различные координаты, и поэтому без дополнительной информации ИУС не распознает координаты поезда по значению фазы напряжения.

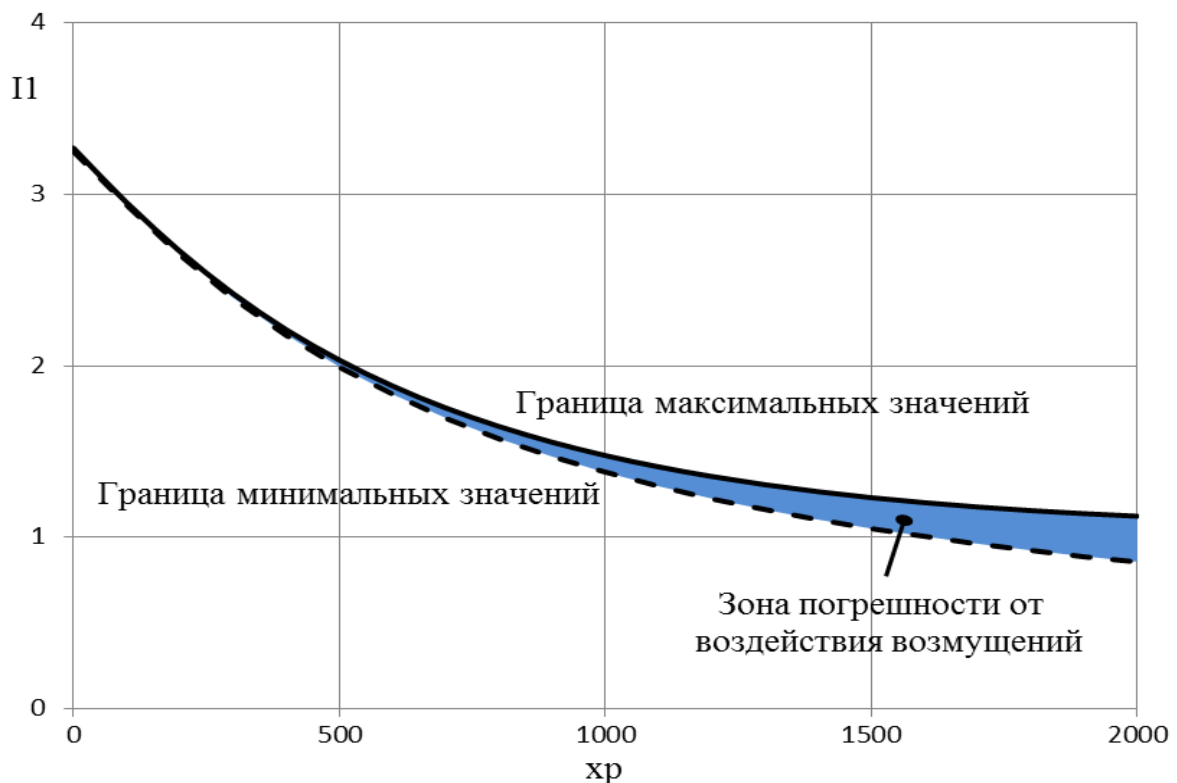


Рисунок 3.16 - Графики тока на входе РЛ в зависимости от координаты шунта и проводимости изоляции

Графики значений тока на входе РЛ участка приближения более пологие и монотонные (рис. 3.16), но инвариантные свойства информативного признака – амплитуды тока не высокие. Как следует из графиков, приведенных на рис. 3.16, значения тока при нахождении поезда на другом конце РЛ и при колебании проводимости изоляции отличается на 32 %. Следовательно, одинаковым координатам соответствуют различные значения тока, и распознавание одним признаком по значению тока на входе РЛ и при колебании проводимости изоляции РЛ невозможно. Тем более определять скорость поезда по динамике изменения тока, согласно патенту [83], недопустимо, т.к. скорость будет определяться с ошибкой более 30 %. Такая ошибка приведет к различному времени приведения в действие АПС, и безопасность функционирования переезда не будет обеспечена. Более того, на РЛ и, соответственно, на входные электрические параметры влияют дополнительно возмущающие воздействия, которые также снижают точность определения координаты и скорости поезда на УП к переезду.

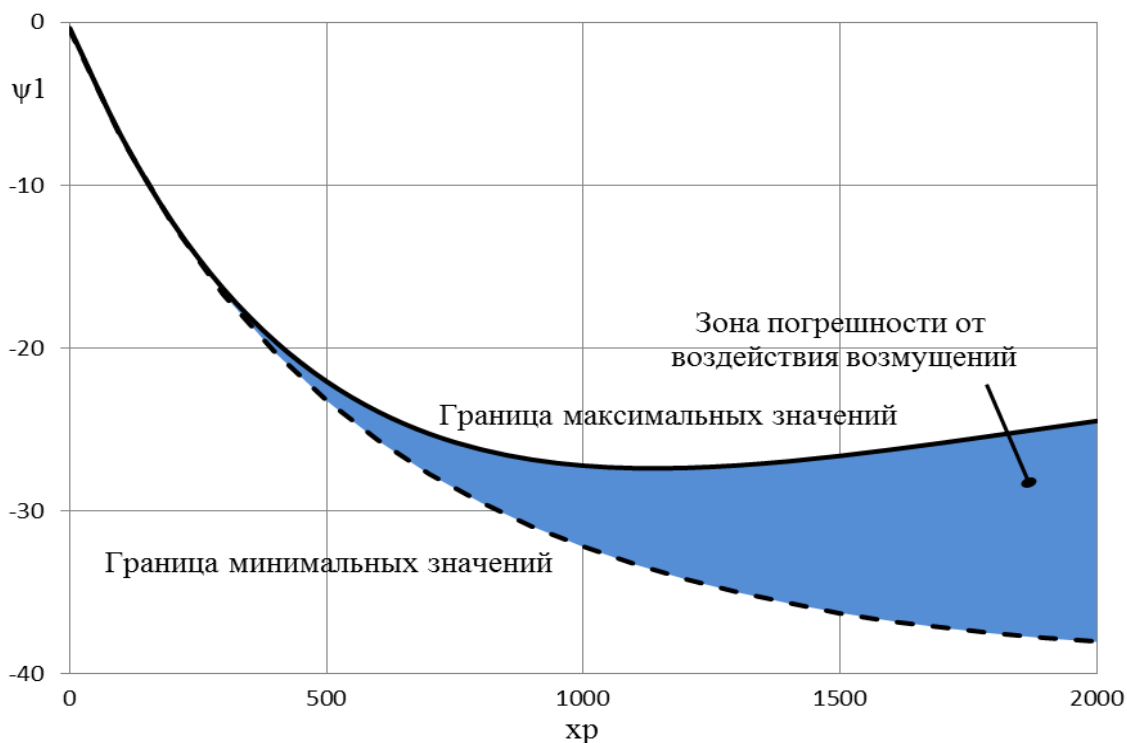


Рисунок 3.17 - Графики фазы тока на входе РЛ в зависимости от координаты шунта и проводимости изоляции

Из графиков следует, что аргумент тока на входе РЛ сильно подвержен воздействию проводимости изоляции. Начиная с ординаты 400 м от переезда, определять координату поезда информативным признаком – по величине фазы тока на входе РЛ - при изменении проводимости изоляции невозможно.

3.5. Анализ результатов исследований

Из анализа результатов исследований следует, что все информативные признаки из выбранного множества $m_{S_j} = \{U_{1S}, \varphi_{1S}, I_{1S}, \psi_{1S}\}$, $j = 1, 2, \dots, l$ однозначно реагируют на наличие и движение поезда по УП к переезду и могут быть использованы в уравнении координаты поезда в виде аргументов функции. Показано, что отдельными признаками из множества распознавать координаты поезда невозможно, т.к. их информация зашумлена изменением проводимости изоляции, а если дополнительно учесть другие возмущающие факторы, то информация будет еще более недостоверной. Увеличение частоты сигнала опроса РЛ УП приводит к еще более сильному воздействию проводимости изоляции и ухудшению инвариантных свойств первичных информативных признаков.

Выводы по третьей главе

1. Для информационно управляющей системы управления переездными ограждающими устройствами предложен многопараметрический датчик с уравнением вычисления координаты поезда и соответствующим алгоритмом управления АПС. В качестве информативных признаков – параметров датчика нахождения поезда на участке приближения - предложено использовать комплексные амплитуды напряжения и тока на входе рельсовой линии.

2. Проведенный анализ литературных источников позволил сформировать два способа исследования информативности и селекции признаков – вне системы распознавания и включая систему распознавания. В главе проведена селекция признаков вне системы распознавания с использованием взаимокорреляционных коэффициентов и анализом динамики изменения признаков при движении поезда с релейного до питающего конца.

3. Количественная оценка информативности признаков с использованием корреляционной функции показала, что наименьшее значение коэффициента корреляции имеют сочетания пар признаков $r_{12}(U_1 \text{ и } \varphi_1)$, равное $-0,284$. Следующей парой признаков, имеющей наименьший коэффициент корреляции, является фаза напряжения и тока на входе РЛ, $r_{24} = 0,288$, у пары признаков фаза напряжения и амплитуды тока на входе РЛ $r_{23} = 0,349$. При синтезе уравнения координаты поезда с тремя признаками – аргументами необходимо использовать амплитуду и фазу тока на входе РЛ и фазу напряжения на ее входе.

4. Исследование возможностей определения координаты поезда информацией отдельных признаков показало, что несмотря на хорошие инвариантные свойства некоторых признаков, определять координаты поезда отдельными признаками не представляется возможным, т.к. из-за нелинейности графиков одним и тем же значениям отдельных признаков соответствуют различные координаты, и поэтому без дополнительной информации ИУС не распознает координаты поезда по значению признака. При этом, наблюдается общая закономерность: все признаки однозначно реагируют на наличие и движение поезда по УП к переезду и могут быть использованы в уравнении координаты поезда в виде аргументов функции.

4. РАЗРАБОТКА ВЫЧИСЛИТЕЛЯ КООРДИНАТЫ И СКОРОСТИ ПОЕЗДА С КОРРЕКТИРУЮЩИМ АЛГОРИТМОМ

В основе вычислителя координаты поезда на УП к переезду лежит формирование уравнения, позволяющего вычислять координаты поезда в текущий момент времени, обладающего инвариантными свойствами и позволяющего оперативно корректировать вид уравнения с целью минимизации ошибки при верификации вычисленной и реальной координаты. Под инвариантностью в данном разделе понимается относительная нечувствительность точности определения координаты к изменению некоторых основных возмущений, воздействующих на параметры РЦ.

К настоящему времени известно устройство управления АПС с уравнением координаты, сформированном при постоянных значениях первичных параметров РЦ, а именно: удельного сопротивления РЛ, погонной емкости, а также сопротивления ограничения тока на входе РЛ и сопротивления нагрузки РЦ УП [85–88]. Гипотеза о постоянстве значений первичных признаков несостоятельна из-за того, что первичные параметры РЛ непрерывно изменяются, вследствие механических и погодных влияний, что приводит к нарушению соответствий вычисленных и текущих координат поезда при постоянных значениях первичных параметров. Ошибка, которая при этом появляется, со временем увеличивается. Вычисленная при неправильной координате скорость неточная, и неправильно определенная координата закрытия переезда приводит к нарушению БДП. Следовательно, метод определения координаты, представленный в работах [85–88], не может гарантировать безопасность движения АТС и поездов на переездах.

Поэтому актуальна разработка вычислителя координаты поезда на УП к переезду с множеством информативных признаков, характеризующих координаты поезда [89], и с самонастраивающимся корректирующим алгоритмом, который позволяет, сравнивая вычисленную координату с текущей, рекуррентно корректировать вид и сложность уравнения координаты поезда и повысить точность определения координаты и, соответственно, - скорость поезда.

4.1. Определение вида и сложности уравнения вычислителя координаты поезда

Важнейшей характеристикой сложных систем, к которым относится АПС, является динамичность и нестационарность процессов, характеризующих с течением времени изменение условий работы, параметров первичного датчика. Для управления такими системами, функционирующими в условиях нестационарных процессов, в системах автоматического управления (САУ), как правило, используется адаптивная система (АС) управления [90–93], структурная схема которой приведена на рис. 4.1.

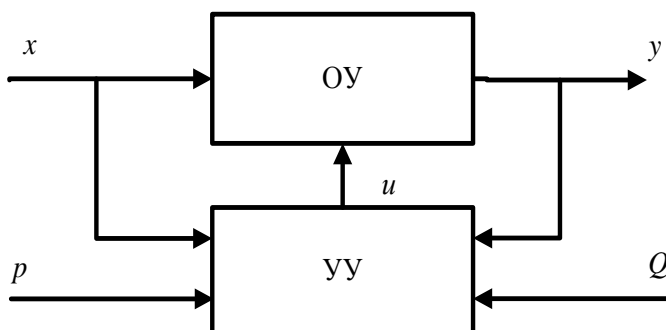


Рисунок 4.1 - Обобщенная схема адаптивной системы:

x, y – соответственно, вход и выход объекта управления (ОУ);

u – управляющие воздействия, поступающие на объект управления с устройства управления (УУ);

P, Q – воздействия условий среды, в которой функционирует объект управления (колебания значений параметров рельсовой цепи).

В общем случае адаптивная система классифицируется по различным признакам в зависимости от условий, цели и задачи, решаемых АС [94–96].

Относительно целей и задач, раскрытых в предыдущих главах, рассмотрим два класса АС.

Первый класс характеризуется тем, что в начальной фазе функционирования системы накапливается информация для построения обучающейся системы к изменяющимся параметрам.

Другой класс необходим для систем, характеристика или условия работы которых нестационарны и изменяются в процессе функционирования, и обучение в начальной стадии создания системы не обеспечивает ее нормальное

функционирование. Поэтому необходим непрерывный текущий контроль выходной информации и оперативная коррекция управляющего воздействия с адаптацией уравнения координаты поезда. Этот класс относится к самонастраивающимся системам и принадлежит к адаптивным системам с идентификатором (АСИ), блок-схема которого представлена на рис. 4.2.

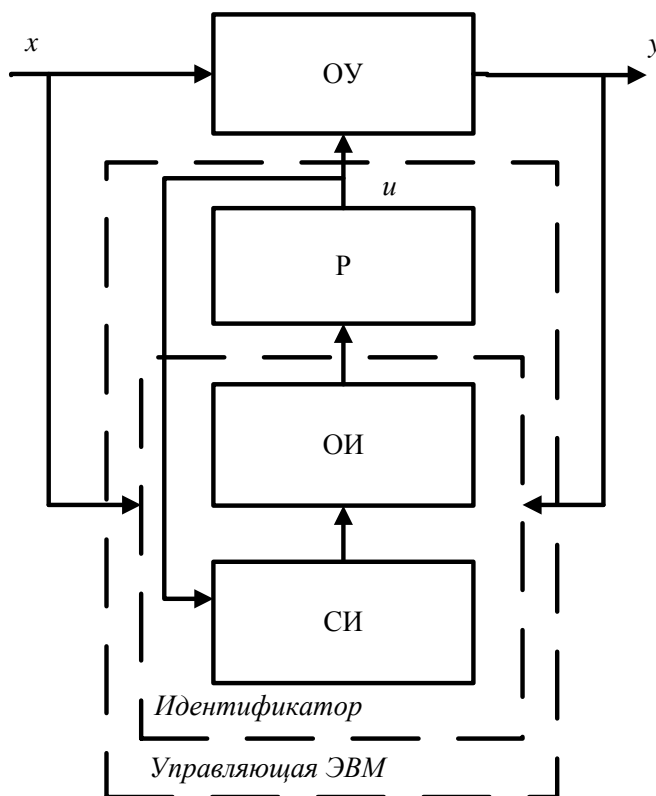


Рисунок 4.2 - Блок-схема адаптивной системы с идентификатором:

P – регулятор, формирующий управляющее воздействие u ;
 $OИ$, $СИ$ – оперативный и стратегический идентификаторы.

Функционирование АСИ осуществляется в двух режимах: обучения и управления. Первый режим – сбор статистической информации и ее обработку - осуществляет стратегический идентификатор. Оперативный идентификатор предназначен для сбора и оценки параметров в текущем временном интервале и для корректировки уравнения вычислителя координат в соответствии с реальной координатой поезда. Наиболее приемлемы в данном случае корректировки уравнения итерационным алгоритмом, обладающим достаточным быстродействием и квазивариантным к ошибкам в исходных данных.

Информационно-управляющую систему управления АПС можно рассматривать как частный случай адаптивных систем с идентификатором. Тогда

на первом этапе обучения системы, с использованием обучающей выборки, синтезируется первоначальное уравнения вычислителя координат поезда, а затем в процессе функционирования уравнение корректируется.

При построении ИУС управления переездными ограждающими устройствами необходимо определить вид и сложность уравнения вычислителя координаты поезда, являющегося моделью идентификатора, и разработать алгоритм корректировки коэффициентов полинома уравнения вычислителя. В общем случае координаты поезда можно заменить их обобщенными числовыми значениями $1, 2, \dots, k$, и, рассматривая последние как натуральные числа, представлять распознавание как определение принадлежности вычисленной координаты к обобщенным принятым числовым значениям-классам, $\{1, 2, \dots, k\} \leftarrow \{X\}$. В этом случае координаты имеют числовую природу и множество координат обозначается как некая функция $K = d(\{X\})$, принимающая целочисленные значения $K = 1, 2, \dots, k$.

Каждая координата представляет собой отрезок пути участка приближения и имеет числовое значение длины, и каждой длине соответствует образ, состоящий из множества информативных признаков – входных электрических параметров рельсового четырехполюсника. Таким образом, весь участок приближения составляет множество образов, каждый из которых обладает некоторыми общими свойствами, а соседние образы отличаются хотя бы значением одного признака. При этом, задача распознавания координат поезда рассматривается как вычисление координаты, используя априорно определенное уравнение, аргументами которого являются измеренные признаки и проверка ошибки вычисления координат, и, если ошибка превышает допустимое значение, то корректируется полином уравнения координаты [97, 98].

Уравнение вычислителя координат поезда представляет собой функцию $d(X)$, относящую текущий измеренный образ X_i точно к определенной координате. Очевидно, для координат, в состав которых не входят идентичные векторы образов, можно всегда найти разделяющие функции. Сложность таких функций колеблется от линейных до сугубо нелинейных, для описания которых требуется значительное количество признаков-аргументов [99, 100]. При этом уравнение координаты

должно позволять многократно гибко перестраиваться, если вычисленная координата не совпадет с реальной.

Общий случай квадратичного полинома вычислителя координат получается посредством построения всех комбинаций компонент образа X , образующих члены не выше второй степени. В случае n -мерных образов [101]:

$$d(X) = \sum_{j=1}^n C_{ij} x_j^2 + \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{k=1}^n C_{jk} x_j x_k + \sum_{j=1}^n C_j x_j + C_{n+1}. \quad (4.1)$$

Первая составляющая, из находящегося в правой части равенства, насчитывает n -членов, вторая - $n(n-1)/2$ и третья n . Следовательно, общее число членов равно $(n+1)(n+2)/2$.

В прикладных задачах, к которым относится задача вычисления координат поезда, как правило, достаточно использовать полиномиальное уравнение с квадратичными членами, вида:

$$d(X) = C_1 x_1 + C_2 x_2 + C_3 x_1 x_2 + \dots + C_n x_n^2 + C_{n+1}, \quad (4.2)$$

где C_1, C_2, \dots, C_n – коэффициенты полинома уравнения координат,

x_1, x_2, \dots, x_n – первичные информативные признаки.

В общем виде задача определения коэффициентов полиномов уравнения определения координат динамического объекта формируется следующим образом [102].

При известном виде полинома необходимо найти коэффициенты с использованием априорного набора признаков x_i, x_j, x_k в результате полевых экспериментальных измерений или посредством вычислительного эксперимента на математической модели при фиксированных значениях $S(X)$ и нормативных значениях первичных параметров рельсовых линий и ограничительного и нагрузочного сопротивлений, соответствующих координатам, на которых производились измерения.

Алгоритм определения коэффициентов следующий.

1. В результате проведения серии полевых измерений или путем математического моделирования, формируется матрица значений первичных

признаков $m_{ij} = \{U_{1ij}, \phi_{1ij}, I_{1ij}, \psi_{1ij}\}$, $i = 1, 2, \dots, n$, где n – количество координат нахождения объекта, $j = 1, 2, \dots, m$, $j = 1, m$ минимальное и максимальное значения проводимости изоляции рельсовых линий.

2. По измеренным значениям формируется система условных уравнений определения координаты объекта, вида 4.3:

$$\left. \begin{aligned}
 C_0 + C_1 U_{11}^1 + C_2 \phi_{11}^1 + C_3 I_{11}^1 + C_4 \psi_{11}^1 + \dots &= S_{11} \\
 C_0 + C_1 U_{21}^1 + C_2 \phi_{21}^1 + C_3 I_{21}^1 + C_4 \psi_{21}^1 + \dots &= S_{21} \\
 \dots & \\
 C_0 + C_1 U_{n1}^1 + C_2 \phi_{n1}^1 + C_3 I_{n1}^1 + C_4 \psi_{n1}^1 + \dots &= S_{n1} \\
 C_0 + C_1 U_{12}^1 + C_2 \phi_{12}^1 + C_3 I_{12}^1 + C_4 \psi_{12}^1 + \dots &= S_{12} \\
 C_0 + C_1 U_{22}^1 + C_2 \phi_{22}^1 + C_3 I_{22}^1 + C_4 \psi_{22}^1 + \dots &= S_{22} \\
 \dots & \\
 C_0 + C_1 U_{n2}^1 + C_2 \phi_{n2}^1 + C_3 I_{n2}^1 + C_4 \psi_{n2}^1 + \dots &= S_{n2} \\
 \dots & \\
 C_0 + C_1 U_{1m}^1 + C_2 \phi_{1m}^1 + C_3 I_{1m}^1 + C_4 \psi_{1m}^1 + \dots &= S_{1m} \\
 C_0 + C_1 U_{2m}^1 + C_2 \phi_{2m}^1 + C_3 I_{2m}^1 + C_4 \psi_{2m}^1 + \dots &= S_{2m} \\
 \dots & \\
 C_0 + C_1 U_{nm}^1 + C_2 \phi_{nm}^1 + C_3 I_{nm}^1 + C_4 \psi_{nm}^1 + \dots &= S_{nm}
 \end{aligned} \right\} \quad (4.3)$$

3. Система уравнений (4.3) записывается в матричной форме в виде:

$$XC = S,$$

где:

$$X = \begin{pmatrix} U_{11}^1, \varphi_{11}^1, I_{11}^1, \psi_{11}^1 \\ U_{21}^1, \varphi_{21}^1, I_{21}^1, \psi_{21}^1 \\ \dots \\ U_{n1}^1, \varphi_{n1}^1, I_{n1}^1, \psi_{n1}^1 \\ U_{12}^1, \varphi_{12}^1, I_{12}^1, \psi_{12}^1 \\ U_{22}^1, \varphi_{22}^1, I_{22}^1, \psi_{22}^1 \\ \dots \\ U_{n2}^1, \varphi_{n2}^1, I_{n2}^1, \psi_{n2}^1 \\ \dots \\ U_{1m}^1, \varphi_{1m}^1, I_{1m}^1, \psi_{1m}^1 \\ U_{2m}^1, \varphi_{2m}^1, I_{2m}^1, \psi_{2m}^1 \\ \dots \\ U_{nm}^1, \varphi_{nm}^1, I_{nm}^1, \psi_{nm}^1 \end{pmatrix}; \quad C = \begin{pmatrix} C_0 \\ C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \\ \dots \\ C_m \end{pmatrix}; \quad S = \begin{pmatrix} S_{11} \\ S_{21} \\ \dots \\ S_{n1} \\ S_{12} \\ S_{22} \\ \dots \\ S_{n2} \\ \dots \\ S_{1m} \\ S_{2m} \\ \dots \\ S_{nm} \end{pmatrix},$$

и приведя к квадратному виду:

$$X^T \times X \times C = X^T \times S,$$

решается относительно коэффициентов C известными способами [103–105].

4. Решением системы уравнений являются искомые коэффициенты C_0, C_1, \dots, C_n .

Блок-схема алгоритма формирования уравнения координаты поезда представлена на рис. 4.3. Процедура анализа сводится к пошаговому выполнению следующих операций:

Шаг 1. Ввод исходных данных.

Шаг 2. Вычисление коэффициентов обобщенного рельсового четырехполюсника по (3.11–3.12).

Шаг 3. Вычисление текущих значений информативных признаков – комплексных амплитуд напряжений и токов на входе РЛ.

Шаг 4. Формирование массивов признаков $\dot{I} = f(x, g); \dot{U} = f(x, g)$.

Шаг 5. Определение минимальных и максимальных значений информативных признаков для формирования системы уравнений.

Шаг 6. Печать графиков значений признаков.



Рисунок 4.3 - Блок-схема алгоритма формирования уравнения координаты поезда

Шаг 7. Решение системы несовместных переопределенных уравнений координат поезда.

Шаг 8. Нахождение коэффициентов полинома уравнения координаты поезда.

Шаг 9. Определение относительной погрешности определения координат поезда.

Шаг 10. Печать графиков результатов исследований погрешностей.

Шаг 11. Изменение признака цикла по проводимости изоляции.

Шаг 12. Изменение значений проводимости изоляции.

Шаг 13. Изменение значений координаты шунта.

Шаг 14. Изменение признака окончания исследований.

Учет изменения проводимости изоляции РЛ при определении коэффициентов полинома РФ позволяет обеспечить нечувствительность к воздействию возмущающего фактора – проводимости изоляции.

4.2. Реализация уравнения координаты поезда

С использованием четырех первичных признаков, вида уравнения координаты поезда (4.2), и машинных алгоритмов формирования уравнений координат поезда, представленных на рис. 4.3, реализован ряд уравнений координат, из которых выделены 6 уравнений при частоте тока опроса датчика 25 Гц и 6 уравнений при частоте 50 Гц. При частоте сигнала опроса датчика 25 Гц уравнения, имеющие минимальные погрешности определения координат поезда, представлены в виде (4.4–4.9):

$$d(X) = 3.657 - 10.528U_1 + 0.0261\varphi_1 + 0.260U_1\varphi_1 + 4.658U_1^2 - 2.786 \cdot 10^{-3}\varphi_1^2; \quad (4.4)$$

$$d(X) = -196.141 + 338.808U_1 + 100.831I_1 - 86.204U_1I_1 - 146.510U_1^2 - 12.821I_1^2; \quad (4.5)$$

$$d(X) = -2.753 + 36.636U_1 + 0.492\psi_1 - 1.208U_1\psi_1 - 55.668U_1^2 - 5.775 \cdot 10^{-3}\psi_1^2; \quad (4.6)$$

$$d(X) = -2.294 + 0.298\varphi_1 + 0.242I_1 - \quad (4.7)$$

$$\begin{aligned}
 & -0.071 \varphi_1 I_1 - 2.638 \cdot 10^{-3} \varphi_1^2 + 0.318 I_1^2; \\
 d(X) = & 1.907 + 0.092 \varphi_1 + 0.188 \psi_1 - \\
 & -4.941 \cdot 10^{-3} \varphi_1 \psi_1 \pm 3.208 \cdot 10^{-3} \varphi_1^2 + +2.141 \cdot 10^{-3} \psi_1^2;
 \end{aligned} \tag{4.8}$$

$$\begin{aligned}
 d(X) = & -13.437 + 11.139 I_1 - 0.359 \psi_1 + \\
 & +0.139 I_1 \psi_1 - 1.959 I_1^2 - 2.516 \cdot 10^{-3} \psi_1^2,
 \end{aligned} \tag{4.9}$$

а при частоте 50 Гц, в виде уравнений (4.10–4.15):

$$\begin{aligned}
 d(X) = & 3.606 - 10.560 U_1 + 0.0878277 \varphi_1 + \\
 & + 0.160 U_1 \varphi_1 + 5.595 U_1^2 - 3.529 \cdot 10^{-3} \varphi_1^2;
 \end{aligned} \tag{4.10}$$

$$\begin{aligned}
 d(X) = & -94.337 + 158.434 U_1 + 48.995 I_1 - \\
 & -40.163 U_1 I_1 - 66.414 U_1^2 - 6.231 I_1^2;
 \end{aligned} \tag{4.11}$$

$$\begin{aligned}
 d(X) = & -4.008 + 43.327 U_1 + 0.480 \psi_1 - \\
 & -1.017 U_1 \psi_1 - 57.485 U_1^2 - 3.874 \cdot 10^{-3} \psi_1^2;
 \end{aligned} \tag{4.12}$$

$$\begin{aligned}
 d(X) = & -1.341 + 0.280 \varphi_1 - 0.491 I_1 - \\
 & -0.0525 \varphi_1 I_1 - 3.485 \cdot 10^{-3} \varphi_1^2 + 0.452 I_1^2;
 \end{aligned} \tag{4.13}$$

$$\begin{aligned}
 d(X) = & 1.890 + 0.085 \varphi_1 + 0.138 \psi_1 + \\
 & -2.776 \cdot 10^{-3} \varphi_1 \psi_1 - 2.421 \cdot 10^{-3} \varphi_1^2 + 1.332 \cdot 10^{-3} \psi_1^2;
 \end{aligned} \tag{4.14}$$

$$\begin{aligned}
 d(X) = & -11.180 + 9.338 I_1 - 0.258 \psi_1 + \\
 & +0.095 I_1 \psi_1 - 1.621 I_1^2 - 1.657 \cdot 10^{-3} \psi_1^2.
 \end{aligned} \tag{4.15}$$

Таблица 4.1 - Погрешности вычисления координат поезда в начале участка приближения различными уравнениями координат

№ ф-л	Частота сигнального тока	Признаки в уравнении координаты	Погрешность по проверочной выборке	
			в м	в %
(4.4)	25 Гц	U_1, φ_1	48,6	2,43
(4.5)	25 Гц	U_1, I_1	90,1	4,505
(4.6)	25 Гц	U_1, ψ_1	259,2	12,96
(4.7)	25 Гц	φ_1, I_1	116,6	5,83
(4.8)	25 Гц	φ_1, ψ_1	225,5	11,275
(4.9)	25 Гц	I_1, ψ_1	134,6	6,73
(4.10)	50 Гц	U_1, φ_1	200,7	10,035
(4.11)	50 Гц	U_1, I_1	190,9	9,545
(4.12)	50 Гц	U_1, ψ_1	440,2	22,01

(4.13)	50 Гц	φ_1, I_1	180,6	9,03
(4.14)	50 Гц	φ_1, ψ_1	275,2	13,76
(4.15)	50 Гц	I_1, ψ_1	143,0	7,15

4.3. Разработка принципа корректировки уравнения координаты поезда при расстройке алгоритма распознавания

Если система распознавания координат поезда работает в стационарной среде, т.е. при условиях, когда первичные параметры рельсовой линии не изменяются, то она обучается распознаванию по статистическим характеристикам признаков с помощью учителя. Например, коэффициенты полинома можно вычислить приемами из теории многомерной аппроксимации решением системы уравнений. После завершения процесса обучения коэффициенты отражают статистическую структуру первичных параметров, которые теперь считаются неизменными или «замороженными».

Чаще всего окружающая среда рельсовых линий изменчива из-за динамических воздействий поездов и климатических условий, поэтому значения первичных параметров являются нестационарными, и это приводит к расстройке полинома уравнения координаты поезда. В таком случае методы обучения с учителем могут применяться только для коротких временных промежутков, т.к. система не обладает свойствами отслеживания статистических вариаций первичных параметров, т.е. информативных признаков. Для устранения этого недостатка необходимо адаптировать параметры полинома к вариациям входного сигнала в режиме реального времени при вступлении поезда на участок контроля.

Известно, что чем выше адаптивные способности системы, тем более устойчивой будет ее работа в нестационарной среде [106]. При этом необходимо отметить свойство зависимости сложности уравнения координаты поезда и устойчивости системы, иногда она приводит к совершенно противоположному результату. Вычислительные эксперименты на математической модели показали, что с увеличением степени полинома уравнения вычисления координат свыше третьей, чувствительность к изменению первичных

параметров становится чрезмерно высокой. Так, например, 10% наиболее влияющего параметра РЛ приводит к 30 % увеличению погрешности определения координат. Поэтому в исследованиях автор остановился на квадратичных функциях полинома уравнения вычислителя координат поезда.

Корректировка уравнения, основанная на компенсации ошибок

Как уже отмечено, в реальных условиях эксплуатации изменяются первичные параметры РЦ, и, если в этом случае сравнить вычисленное значение координаты поезда $d_B(X)$ с реальной координатой $x_p(i)$, в результате получим ошибку $e_k(i)$. По определению:

$$e_k(i) = d_B(X) - x_p(i). \quad (4.16)$$

Сигнал ошибки $e_k(i)$ в системе инициализирует механизм управления обратной связи, цель которой заключается в минимизации $e_k(i)$ с последовательной корректировкой коэффициентов полинома $C_0 - C_n$. Эти корректировки направлены на пошаговое приближение вычисленной координаты $d_B(X)$ к реальной $x_p(i)$ (рис. 4.4).

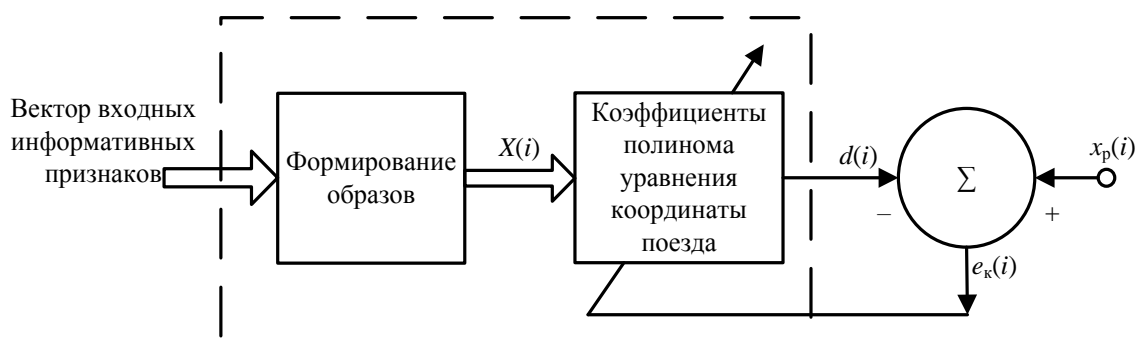


Рисунок 4.4 - Структурно-блочная схема системы распознавания с корректором

Пошаговая корректировка коэффициентов полинома продолжается до тех пор, пока система не достигнет определенной точности или минимума ошибки $e_k(i)$, и в этой точке процесс корректировки останавливается. Минимизация функции ошибки выполняется по дельта-правилу или правилу Видору – Хоффа [107].

Рассмотрим принцип корректировки. По дельта-правилу обозначим $C_{kj}(i)$ текущее значение коэффициента C_{kj} признака $x_k(i)$ вектора $X(i)$ на шаге j -й корректировки. В соответствии с правилом, изменение $\Delta C_{kj}(i)$, применяемое к коэффициенту C_{kj} , на шаге j -й корректировки задается выражением

$$\Delta C_{kj}(i) = \eta e_k(i) x_j(i), \quad (4.17)$$

где η – некоторая положительная константа, определяющая скорость корректировки, используемая при переходе от одного шага корректировки к другому. Из (4.17) следует η именовать параметром скорости корректировки. Вербально дельта-правило формулируется следующим образом: «Корректировка, применяемая к коэффициенту признака полинома, пропорциональна произведению величины ошибки на входной признак, его вызвавший» [108].

Обязательным условием при дельта-корректировке является возможность прямого измерения ошибки $e_k(i)$, а это при определении координаты поезда предполагает передачи по физическому или радиоканалу реальной координаты вступления поезда на участок приближения x_p .

Вычислив величину изменения $C_{kj}(i)$, если точность определения координаты недостаточная, можно определить его новое значение для следующего шага корректировки ($i+1$):

$$C_{kj}(i + 1) = C_{kj}(i) + \Delta C_{kj}(i). \quad (4.18)$$

Таким образом, $C_{kj}(i)$ и $C_{kj}(i + 1)$ можно рассматривать как старое и новое значения коэффициента C_{kj} . В математических терминах можно записать:

$$C_{kj}(i) = Z^{-1}[C_{kj}(i + 1)], \quad (4.19)$$

где Z^{-1} – оператор единичной задержки. Другими словами, оператор Z^{-1} представляет собой элемент памяти, в которой хранятся предыдущие значения коэффициента $C_{kj}(i)$

На рис. 4.5 представлен граф прохождения сигнала в процессе обучения, основанного на коррекции ошибок.

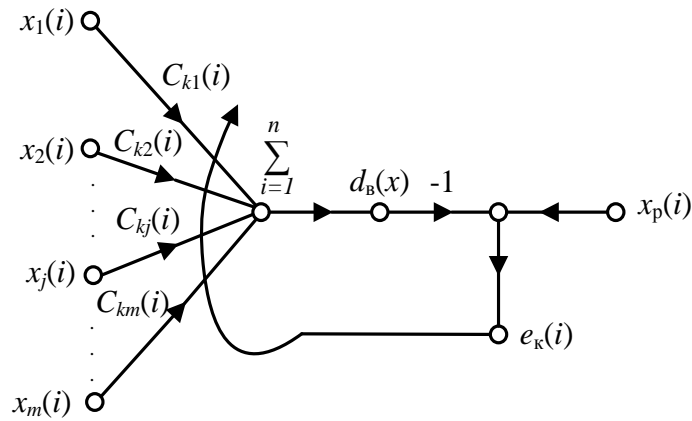


Рисунок 4.5 - Граф передачи сигнала при обучении, основанном на коррекции ошибок

На рисунке видно, что обучение на основе коррекции ошибок – это пример замкнутой системы с обратной связью. Из теории управления известно, что устойчивость такой системы определяется параметрами обратной связи.

Понятие обратной связи характерно для динамических систем, в которых входной сигнал (первичный параметр) оказывает влияние на выходной сигнал [108]. В нашем случае обратная связь является корректирующей цепочкой коэффициентов полинома уравнения координаты поезда.

На рис. 4.6 показан граф прохождения сигнала в системе с обратной связью для одного коэффициента полинома.

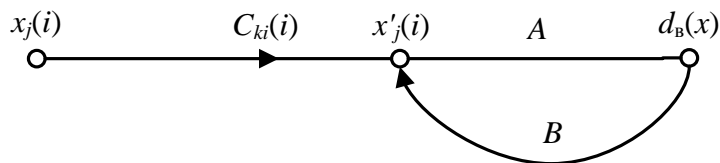


Рисунок 4.6 - Граф передачи сигнала в системе для одной обратной связи: i -ый информативный признак $x_j(i)$, преобразованный внутренний признак $x'_j(i)$ и выходной сигнал $d_B(x)$ являются функциями переменной x_j .

При этом предполагается, что представленная система линейна и содержит прямую и обратную связи, которые характеризуются операторами A и B соответственно. В частности, выходной сигнал прямого канала частично определяет значение канала обратной связи. Из рис. 4.6 следует:

$$d_B(x) = A[x_j(i)], \quad (4.20)$$

$$x'_j(i) = x_j(i) + B[d_B(x)], \quad (4.21)$$

где квадратные скобки обозначают операторы A и B .

Исключим переменную $x_j'(i)$ в выражениях (4.20) и (4.21) и получим:

$$d_K(x) = \frac{A}{1 - AB} [x_j(i)].$$

Выражение является классическим оператором замкнутого контура системы [109]. Если уравнение координаты поезда в вычислителе одно, то существует всего одна обратная связь, и единственным интересующим нас параметром является коэффициент скорости обучения η .

Реализованный алгоритм функционирования системы обладает способностью адаптировать коэффициенты полинома к изменению первичных параметров РЦ УП. В частности, система распознавания координаты, обученная действовать в определенных условиях (нормативных параметрах), может быть переучена в определенных координатах для работы в условиях незначительных колебаний параметров. Более того, для работы в нестационарной среде (где статистика меняется с течением времени) созданная система распознавания изменяет коэффициенты в реальном времени.

4.4. Реализация принципа корректировки уравнения координаты поезда

В основе способа управления переездными ограждающими устройствами с корректирующим алгоритмом лежит определение точной фактической координаты закрытия переезда, обеспечение минимальности времени закрытого состояния переездов и обеспечение квазиинвариантности к изменению первичных параметров РЛ. Для этого каждый раз в момент вступления поезда на УП переезда осуществляется верификация вычисленной уравнением координаты поезда $d_b(X)$ с координатой начала УП фиксированной длины $x_p(i)$ [110]. При неравенстве значений корректируются коэффициенты C_n уравнения координаты поезда, по вышеизложенному алгоритму, и достигается равенство вычисленной координаты поезда фактической координате поезда. По вычисленной координате определяется скорость поезда и, с учетом возможного его ускорения, вычисляется фактическая координата закрытия переезда, и по ним управляются ограждающие устройства

переезда. Следует отметить, что координата и скорость поезда определяются по значению скорректированного уравнения координаты поезда, аргументами в котором являются измеренные значения комплексных амплитуд напряжения и тока на входном конце четырехполюсника РЛ УП.

Алгоритм функционирования автоматической переездной сигнализации с корректировкой уравнения координаты поезда (рис. 4.7) реализован в виде следующих блоков и шагов:

Шаг 1. Циклически контролируется вступление поезда на УП.

Шаг 2. При вступлении поезда вычисляется его координата S_B априорно определенным уравнением координаты.

Шаг 3. Сравняется реальная координата с вычисленной $S_P = S_B$, если они совпадают, то переход к шагу 5, если нет, то переход к шагу 4.

Шаг 4. Корректируется вид и сложность уравнения вычисления координаты поезда в блоке БК.

Шаг 5. Вычисляется скорость поезда.

Далее определяется характер динамики движения поезда.

Шаг 6. Сравняется скорость с максимально возможной на участке, если да, то с определенной задержкой закрывается переезд. Если нет, то переход к шагу 8.

Шаг 8. Сравняется текущая скорость со скоростью в предыдущем промежутке времени, если они равны, то констатируется равномерное движение и переход к шагу 9, а если нет, – то к шагу 10.

Шаг 9. С учетом скорости и ускорения определяется координата и время закрытия переезда.

Шаг 10. Сравняется текущая скорость, и если она ниже предыдущей, то констатируется равнозамедленное движение и переход к шагу 11, а если нет, – то движение равноускоренное, и с выдержкой времени закрывается переезд.

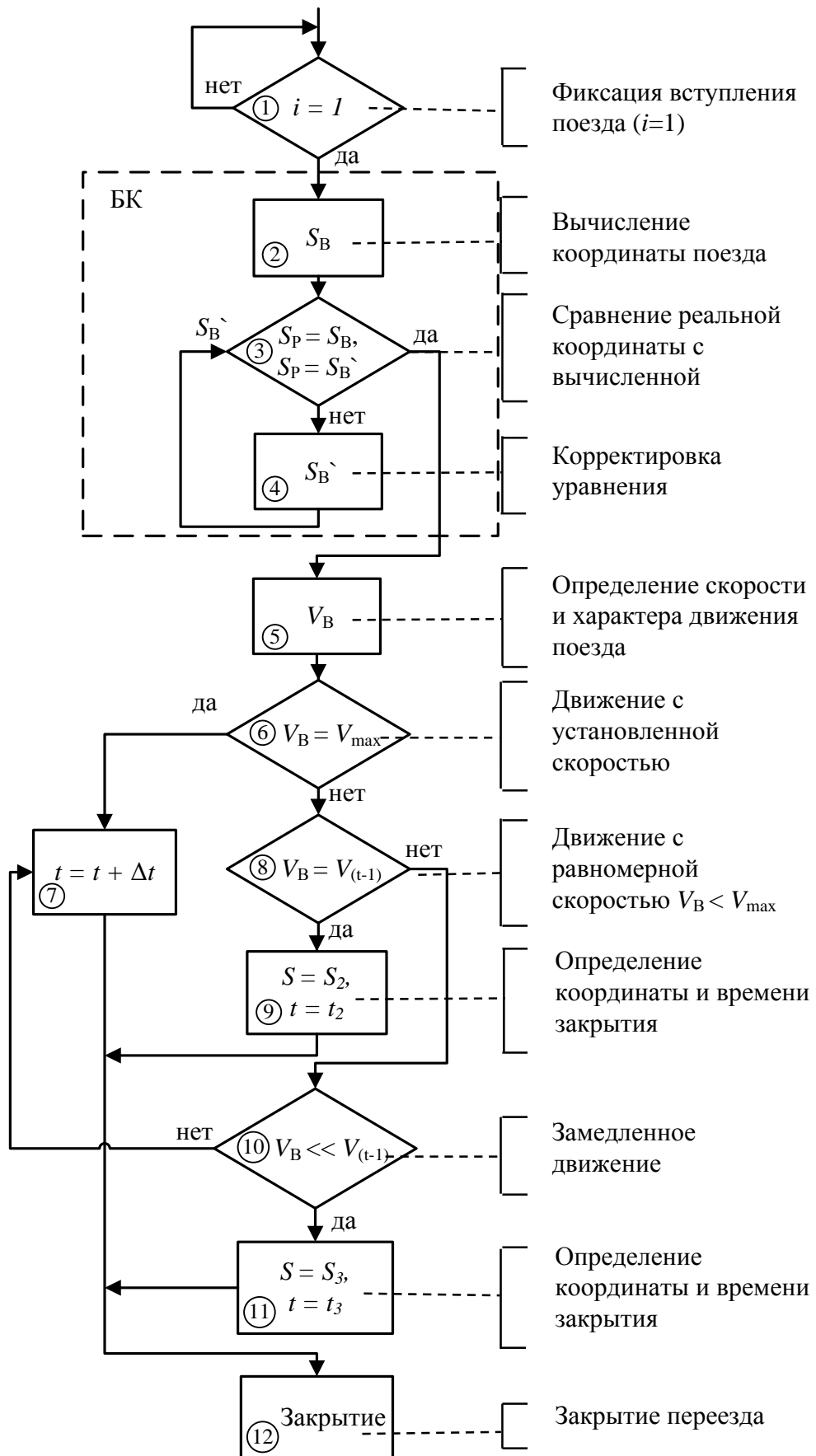


Рисунок 4.7 - Блок-схема алгоритма функционирования автоматической переездной сигнализации с корректирующим алгоритмом

Шаг 11. Определяется координата S_2 и время t_2 закрытия переезда, и переезд закрывается.

В алгоритме учитывается постоянный временной интервал, необходимый для закрытия переезда: 40 с – при светофорной сигнализации, 50 с – при автоматических шлагбаумах, 50 с – при оповестительной сигнализации.

Это условие предопределяет переменный характер координаты t_2 на временной оси, а именно, если поезд вступает на УП со скоростью, меньшей чем максимальная, и затем начинает ускоряться, то время закрытия переезда смещается влево (рис. 3.2), если скорость замедляется, то наоборот, смещается вправо. Данный принцип положен в основу управления переездной сигнализацией с корректирующим алгоритмом.

В качестве примера реализации корректирующего алгоритма при расстройке полинома уравнения вычислителя координат поезда из-за изменения самого влияющего параметра РЦ – модуля ограничительного сопротивления - в работе исследованы два полинома уравнения координат поезда, а именно, $d_{e1}(X) = f(U_1, \varphi_1)$ и $d_{e2}(X) = f(I_1, \varphi_1)$.

Результаты исследований представлены в виде графиков на рис. 4.8–4.13.

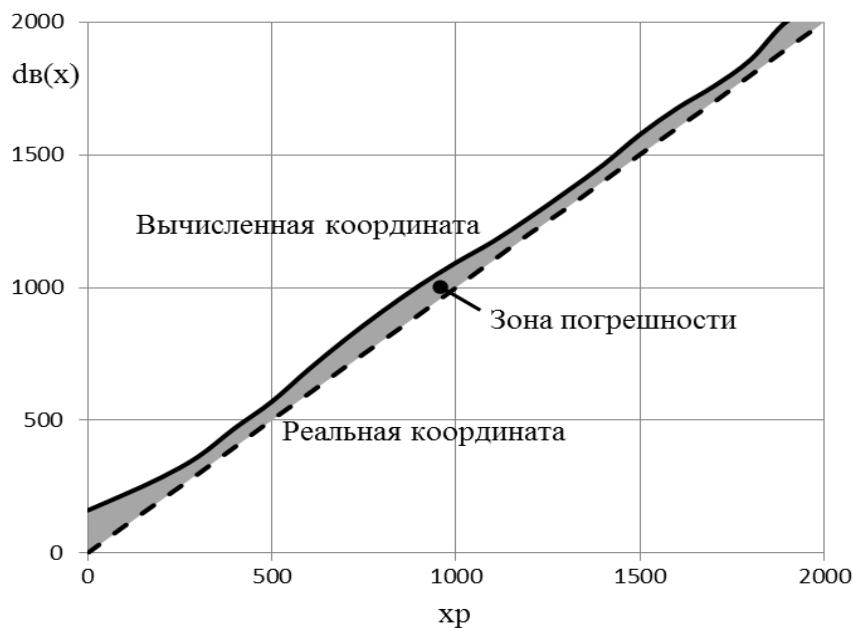


Рисунок 4.8 - Графики вычисленных значений координаты поезда при номинальных значениях параметров рельсовой цепи функцией $d_{e1}(X) = f(U_1, \varphi_1)$.

Полученный решением системы (4.3) полином уравнения вычислителя координат имеет вид:

$$d(X) = 3.776 - 10.492 U_1 - 0.0401 \varphi_1 + 0.255 U_1 \varphi_1 + 5.132 U_1^2. \quad (4.22)$$

Из графиков, представленных на рис. 4.8, следует, что ошибка вычисления координаты, при вступлении поезда на участок контроля, уравнением координаты поезда, вида (4.22), составляет 48,6 м при длине участка контроля 2000 м, что определяет погрешность – 2,43 %.

На рис. 4.9 представлены графики вычисления координат уравнением координаты поезда при изменении сопротивления ограничителя на 0,05 Ом.

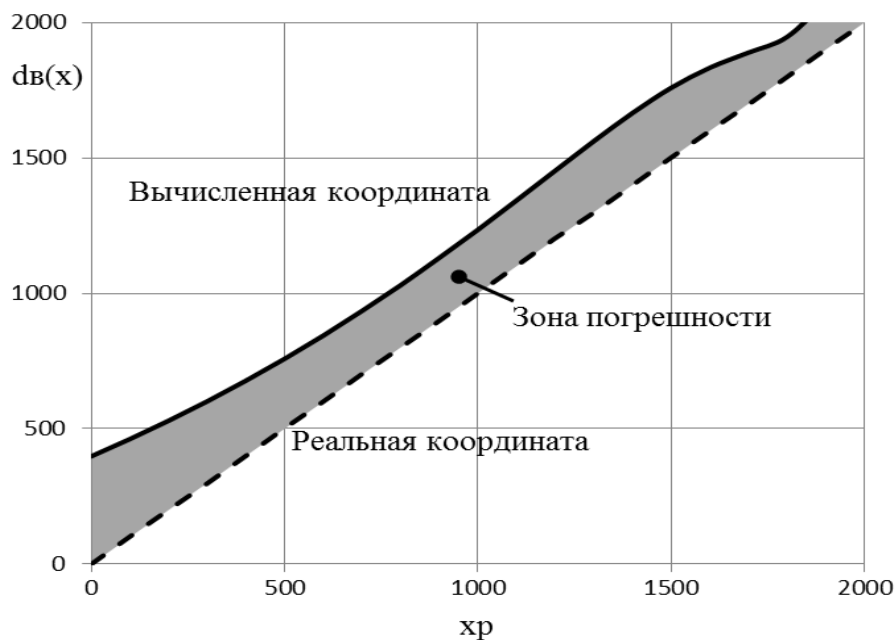


Рисунок 4.9 - Графики вычисленных значений координаты поезда уравнением (4.22) при изменении Z_0

При изменении влияющего параметра – сопротивления ограничителя на входе РЛ - на 16,7 %, ошибка координаты, определенной по формуле (4.16), $e_k(i) = d_b(X) - x_p(i)$, составляет 260,0 м или 13,0 % (рис. 4.9).

Уравнение вычислителя координат поезда $d_{el}(X) = f(U_1, \varphi_1)$, после корректировки по рекуррентному алгоритму, представленному в разделе 4.2, имеет вид:

$$d(X) = 3.563 - 10.492 U_1 - 0.0401 \varphi_1 + +0.255 U_1 \varphi_1 + 5.132 U_1^2.$$

На рис. 4.10 представлены результаты определения координаты поезда скорректированным уравнением.

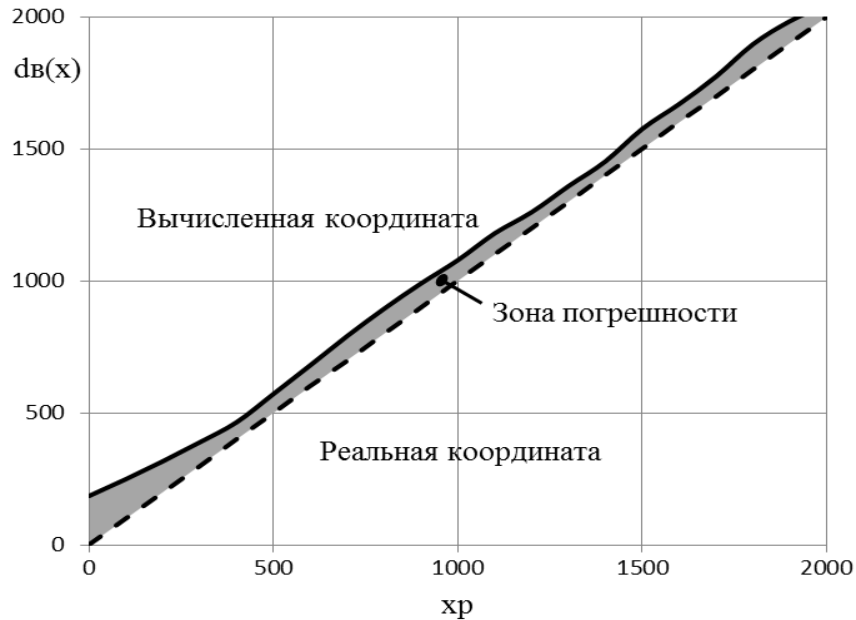


Рисунок 4.10 - Результирующие графики определения координаты поезда после корректировки коэффициентов полинома уравнения координаты поезда.

В результате корректировки коэффициентов полинома уравнения вычислителя координат ошибка составляет $e_k(i) = 47,0$ м (2,35 %).

Как следует из сравнения графиков 4.8 и 4.10, ошибка определения координат скорректированным уравнением относительно первоначального уравнения изменилась незначительно – на 0,08 %, что составляет 1,6 м.

Следующим уравнением, которым проведены исследования, является $d_{62}(X) = f(I_1, \varphi_1)$.

Полученный решением системы (4.3) полином уравнения вычислителя координат имеет вид:

$$d(X) = -1.784 + 0.223 I_1 + 0.226 \varphi_1 - 0.069 I_1 \varphi_1 + 0.289 I_1^2. \quad (4.23)$$

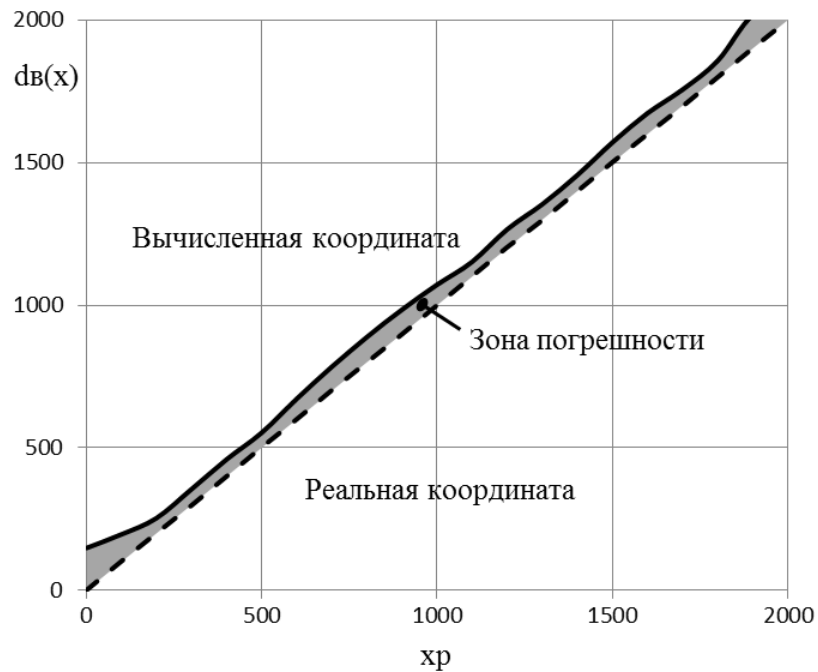


Рисунок 4.11 - Графики вычисленных значений координаты поезда, при номинальных значениях параметров рельсовой цепи, функцией $d_{в2}(X)=f(I_1, \varphi_1)$.

Согласно графику, представленному на рис. 4.11, ошибка определения координат уравнением $d_{в2}(X)$ при вступлении поезда на участок приближения составляет 50,9 м или 2,545 %. Уменьшение величины ошибки, по сравнению с первым случаем, показывает на более точный подбор коэффициентов полинома при решении системы несовместных уравнений (4.3).

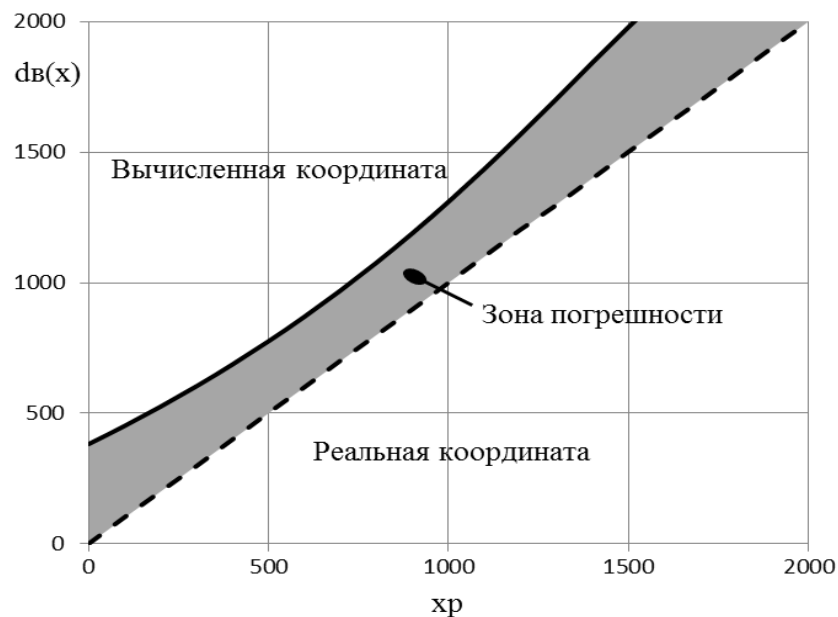


Рисунок 4.12 - Графики вычисленных значений координаты поезда уравнением (4.23) при изменении Z_0

При изменении влияющего параметра, как следует из рисунка 4.12, ошибка координаты, определенной по формуле (4.16) $e_k(i) = d_v(X) - x_p(i)$, составляет 401,7 м или 20,085 %.

Если при неизменных значениях параметров РЦ ошибка определения координат незначительна – 2,545 %, то на изменение величины сопротивления ограничителя тока на входе РЛ реакция значительна, и составляет 20,085 %. Это связано, в первую очередь, с зависимостью входного тока от величины сопротивления ограничителя.

В результате корректировки коэффициентов полинома уравнения вычислителя координат ошибка составляет $e_k(i) = 41,7$ м, (2,085 %). Уравнение вычислителя координат поезда $d_{сl}(X) = f(U_1, \varphi_1)$, после корректировки по рекуррентному алгоритму, представленному в разделе 4.2, имеет вид:

$$d(X) = -2.064 + 0.223 I_1 + 0.226 \varphi_1 - 0.069 I_1 \varphi_1 + 0.289 I_1^2 \cdot$$

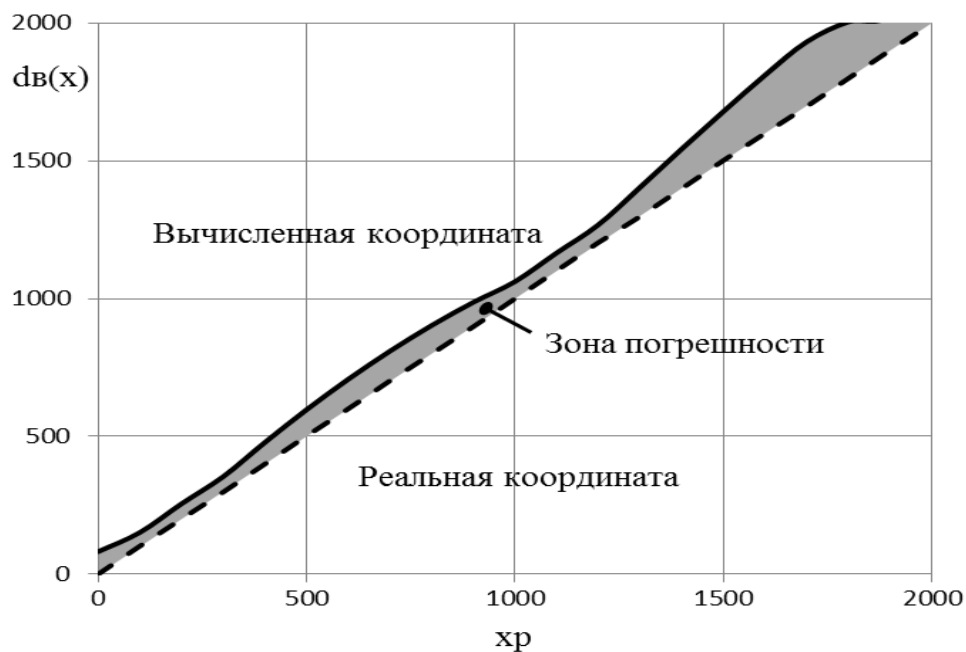


Рисунок 4.13 - Результирующие графики определения координаты поезда после корректировки коэффициентов полинома уравнения координаты поезда.

Как следует из сравнения графиков 4.11 и 4.13, ошибка определения координат скорректированным уравнением составляет 9.2 м.

4.5. Анализ результатов исследований

Параметры РЦ находятся в нестационарной среде и подвержены значительным внешним влияниям. Нестационарность значений параметров приводит к изменению значений первичных информативных признаков и появлению ошибки при вычислении координат поезда, и это актуализирует задачу корректировки полинома уравнения вычислителя координат. Вычислительные эксперименты на математической модели показали, что с увеличением степени полинома уравнения вычисления координат свыше третьей, чувствительность к изменению информативных признаков становится чрезмерно высокой. Вариации сочетаний признаков имеют различные погрешности. Так, при частоте тока опроса датчика 25 Гц минимальную погрешность вычисления координат поезда – 4,5 % (90,1 м) имеет сочетание U_1, I_1 , а максимальная погрешность составляет 13 % (259,2 м) у сочетания U_1, ψ_1 . Такое значительное расхождение погрешности, скорее всего, связано с информативными свойствами признаков I_1 и ψ_1 на частоте тока опроса 25 Гц. При частоте тока опроса 50 Гц погрешность вычисления координат поезда, принятым набором признаков, вида и сложности уравнения вычислителя координат, больше. Так, минимальную погрешность имеет сочетание U_1, I_1 – 9,5 % (190,9 м), а максимальную U_1, ψ_1 – 22 % (440,2 м). Данные исследования показывают на более сильную зависимость уравнения вычисления координат от возмущающих воздействий на повышенной частоте.

В работе предложена методика корректировки уравнения координат поезда, основанная на коррекции ошибок вычисления координат сравнением вычисленного значения координаты поезда $d_v(X)$ с реальной $x_p(i)$, и минимизации результирующей ошибки $e_k(i)$ рекуррентной вычислительной процедурой. В разработанном алгоритме предусматривается изменение вида уравнения вычислителя координат (упрощения) в отличие от полного квадратичного.

Разработанный алгоритм апробирован на двух примерах реализации уравнения вычислителя координат поезда, и оказалось, что в первом случае при использовании в качестве уравнения координаты, вида (4.4), и исключении по

первой итерации составляющей φ_1^2 , уменьшается погрешность до 2,43 % или до 48,6 м. Изменение наиболее влияющего параметра РЛ Z_o (степень значимости определена вычислительным экспериментом) приводит к увеличению ошибки вычисления координаты до 13% (260 м). С использованием рекуррентной процедуры, согласно (4.18), получено уравнение с скорректированными коэффициентами, которое вычисляет координату с ошибкой, меньшей, чем первоначальная – 2,35 % или 47 м.

При использовании полинома, вида $d_{\epsilon 2}(X) = f(I_1, \varphi_1)$ (4.7), в качестве уравнения вычислителя координаты и, аналогично, по первой итерации исключения составляющей φ_1^2 , уменьшается погрешность до 2,54 % или до 50,9 м. Изменение наиболее влияющего параметра РЛ Z_o (степень значимости определена вычислительным экспериментом) приводит к увеличению ошибки вычисления координаты до 20,1 % (401,7 м). С использованием рекуррентной процедуры, согласно (4.18), получено уравнение с скорректированными коэффициентами, которое вычисляет координату с ошибкой, меньшей чем первоначальная – 2,1 % или 41,7 м.

Таким образом, рекуррентный алгоритм корректировки уравнения, предложенный в работе, позволяет обеспечить минимизацию ошибки, появляющейся из-за нестационарности среды, приводящей к изменению параметров многопараметрического датчика, а, следовательно, и информативных признаков. Предложенный алгоритм обладает еще одним положительным свойством, а именно, процедура корректировки позволяет изменить вид уравнения, его сложность и уточнить коэффициенты, полученные приближенным решением системы уравнений, из-за его переопределенности, что существенно уменьшает погрешность вычисления координаты поезда.

Выводы по четвертой главе

1. Исследования показали, что в прикладных задачах, к которым относится задача распознавания координат поезда, как правило, достаточно использовать уравнения вычислителя с квадратичными членами. Вычислительные эксперименты на математической модели показали, что с увеличением степени полинома уравнения вычисления координат свыше третьей, чувствительность к изменению первичных параметров рельсовой цепи становится чрезмерно высокой. Изменение на 10 % наиболее влияющего параметра РЛ приводит к 30 % ухудшению точности вычисления координат.

2. Разработанная процедура определения коэффициентов полинома вычислителя координат поезда с множеством информативных признаков посредством решения системы условных уравнений, где каждому уравнению соответствует определенная координата поездного шунта, позволяет учитывать все возможные значения проводимости в заданном диапазоне ее изменения и обеспечить относительную инвариантность уравнения вычислителя координат поезда к изменению проводимости изоляции в пределах от 2 См/км до 0,1 См/км.

3. С использованием четырех первичных признаков, вида уравнения координаты поезда и машинных алгоритмов формирования уравнений координат, реализованы 12 уравнений координат, из которых 6 уравнений - при частоте тока опроса датчика 25 Гц и 6 уравнений - при частоте 50 Гц. Ошибка вычисления координат поезда с полученными уравнениями составляет от 4,5 % до 22,1 %, в зависимости от сочетаний признаков в квадратичном полиноме.

4. Предложенная методика корректировки уравнения координат поезда, основанная на коррекции ошибок вычисления координат, сравнением вычисленного значения координаты поезда с реальной, и на минимизации результирующей ошибки рекуррентной вычислительной процедурой, позволяет, путем внутренней логики развития, изменять вид уравнения (максимально упростить) и корректировать коэффициенты полинома уравнения вычислителя координат.

5. Разработанный алгоритм апробирован на двух примерах реализации уравнения вычислителя координат поезда, и оказалось, что рекуррентный алгоритм корректировки уравнения, предложенный в работе, позволяет обеспечить минимизацию ошибки, появляющуюся из-за нестационарности среды, приводящей к изменению параметров многопараметрического датчика, а, следовательно, и информативных признаков. Предложенный алгоритм обладает еще одним положительным свойством, а именно, процедура корректировки позволяет изменить вид уравнения, его сложность и уточнить коэффициенты, полученные приближенным решением системы уравнений, из-за его переопределенности, что существенно уменьшает погрешность вычисления координаты поезда.

5 ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНОГО УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПЕРЕЕЗДНОЙ СИГНАЛИЗАЦИЕЙ С КОРРЕКТИРУЮЩИМ АЛГОРИТМОМ

Логические и управляющие системы железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ), построенные на контактных реле, достаточно безопасны и надежны, но в них удается реализовать только сравнительно простые функции. Поэтому в последнее время вместо контактных реле в качестве элементной базы в системах ЖАТ внедряются более экономичные микроэлектронные элементы, имеющие малые габаритные размеры и обладающие достаточно высокой надежностью. Эти и другие достоинства обеспечивают широкое их применение в железнодорожной автоматике. В то же время использование микропроцессорных систем (МС) допустимо только в тех случаях, когда уровень безопасности движения, гарантируемый устройствами этих систем, не ниже того уровня, который обеспечивается устройствами, реализованными на базе контактных реле [111–113]. Это требование является основным критерием возможности использования новой элементной базы в системе АПС, обеспечивающей безопасность движения поездов.

В случае отказа системы ЖАТ на контактных реле в электрической цепи размыкаются контакты под действием силы тяжести якоря или реакции пружин, таким образом система будет переведена в безопасное положение. Поведение микроэлектронных элементов при отказе сложно прогнозировать. Из-за высокой степени интеграции сложно локализовать отказ внутри микроэлектронной схемы, затруднителен полный контроль поставляемых микроэлектронных изделий на соответствие техническим условиям. При загрузке программы в микроЭВМ необходимо убедиться в отсутствии в ней хотя бы одного пропуска, поскольку даже незначительная корректировка в одной области программы может оказать непредсказуемое влияние на другие ее области.

Высокая надежность и безопасность отказов микропроцессорных систем может быть достигнута в результате использования различных методов

автоматического контроля работы и автодиагностики [114, 115] (программного контроля), а также применения избыточных аппаратных средств.

Программный контроль, или так называемое временное резервирование, базируется на специальных программах для контроля отдельных узлов и устройств в целом. Чтобы обеспечить надежную защиту от ошибок, даже используют двух программистов для независимого друг от друга составления и отладки одинаковых программ на двух МС разных типов. Если при этом достигается согласованная работа обоих МС, то уровень защиты от программных ошибок считается высоким, так как вероятность их появления в результате совпадения ошибочной информации в обеих областях памяти очень мала.

Реализация на микроэлектронной элементной базе с расширенными функциональными возможностями позволяет достичь таких показателей, которые определяют существенные преимущества новой системы перед системой на релейной основе [116].

К этим показателям относятся: компактность и малые габаритные размеры аппаратуры (электронные схемы переездной сигнализации, автоматического самодиагностирования, обнаружения препятствий размещены в одном корпусе), повышенная эксплуатационная надежность (логическая организация исключает возможность серьезных аварий), универсальность (приспособление к условиям работы конкретного переезда осуществляется не на аппаратном, а на программном уровне), автоматическое включение переездных сигналов с выбором момента включения по скорости приближающегося к переезду поезда, электронное регулирование уровня звукового предупредительного сигнала, расширенные функции автоматического самодиагностирования (контроль работоспособности звукового предупредительного сигнала, переездного светофора, переездного шлагбаума), постоянный централизованный контроль за работой переездов, автоматическое обнаружение препятствий движению поезда, управление АПС на автомобильной дороге, эффективное информационное оповещение локомотивных бригад и водителей АТС.

5.1. Разработка структурной схемы автоматической переездной сигнализации с корректирующим алгоритмом

По сравнению с традиционной микроэлектронная аппаратура АПС с корректирующим алгоритмом при значительно меньшей массе, габаритных размерах и потреблении электроэнергии обладает большими функциональными возможностями, она более проста в эксплуатации и техническом обслуживании, ее стоимость ниже традиционной. Высокий уровень эксплуатационной надежности новой системы достигается комбинированным использованием параллельного резервирования и самодиагностирования аппаратуры, обеспечивая уровень полноты безопасности [117].

Алгоритм функционирования АПС с функцией корректировки уравнения вычисления координаты поезда представлен на рис. 5.1.

При отсутствии поезда блок проверки вступления поезда циклически проверяет изменение состояния датчика, расположенного в начале участка приближения, а именно, при вступлении поезда на УП на входе x_p блока сравнения появляется логическая единица, и включаются устройства контроля свободности переезда (пространство между шлагбаумами), и если переезд не свободен, то включается заградительный светофор навстречу поезду.

При свободном переезде микропроцессорная система управления АПС, используя уравнение вычисления координаты с заранее определенными коэффициентами, аргументами – информативными признаками, вычисляет координату поезда в момент вступления на участок приближения, и эта информация поступает на первый вход блока сравнения, на другой вход которого поступает информация о длине УП x_p .

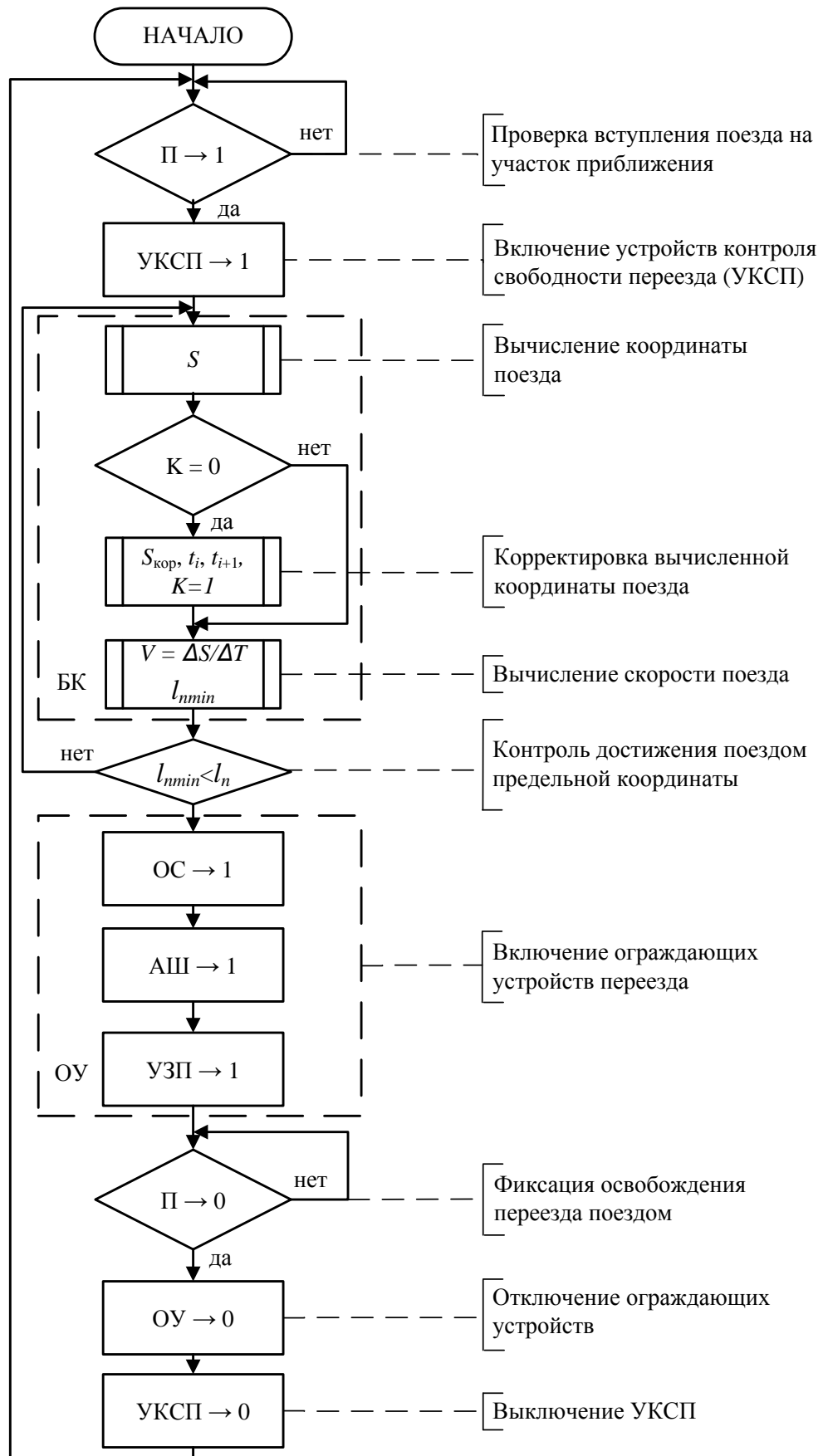


Рисунок 5.1 - Алгоритм управления АПС с функцией вычисления координаты и скорости поезда

Если вычисленное значение координаты поезда (блок 3) совпадает с реальной координатой поезда x_p , то корректировка уравнения не производится, и МВК продолжает вычислять текущие координаты поезда. При этом считается, что вычисленные значения координат истинные, а если сравнение приводит к отрицательному результату, то координаты поезда, вычисленные уравнением координат, считаются ложными, и включается процесс корректировки уравнения до получения истинных значений вычисленных координат.

В дальнейшем определяются параметры движения поезда (координата l , скорость v , ускорение a), и на основании этих параметров, с учетом динамических характеристик поезда, вычисляется критическая (минимальная) координата до переезда, при достижении которой, поездом включаются ограждающие устройства (ОУ), а именно, переездной светофор ОС, закрываются шлагбаумы АШ, и включаются устройства заграждения переездов УЗП, препятствующие несанкционированному въезду автотранспорта на переезд. Эти действия выполняются операторами 6–10. Условия достижения поездом предельной координаты проверяется оператором 7.

Согласно алгоритму переезд остается закрытым до тех пор, пока оператор 11 не зафиксирует проследование поезда через переезд. Оператор 11, циклически проверяя условие, фиксирует освобождение переезда поездом, затем оператор 12 выключает оповестительную сигнализацию, открываются шлагбаумы, и отключаются УЗП, а также выключаются оператором 13 устройства обнаружения препятствий УКСП. В случае, когда повреждена оповестительная сигнализация или не закрываются шлагбаумы, или не работает УЗП, включается заградительная сигнализация, и прекращается кодирование рельсовых цепей. Поезд снижает скорость и останавливается. Информация о повреждениях по линии диспетчерского контроля передается поезвному диспетчеру, и ситуация регистрируется на сервере мониторинга функционирования устройств инфраструктуры, центра управления перевозками.

Разработанный и представленный на рис. 5.1 алгоритм функционирования АПС предполагает одностороннюю постоянно действующую сигнализацию в

сторону автодороги. Сигнализация в сторону железной дороги включается лишь при нештатных ситуациях.

На рис. 5.2 представлена структурно-функциональная схема АПС с вычислителем координаты поезда с корректирующим алгоритмом [118] реализованным с использованием микропроцессорных систем.

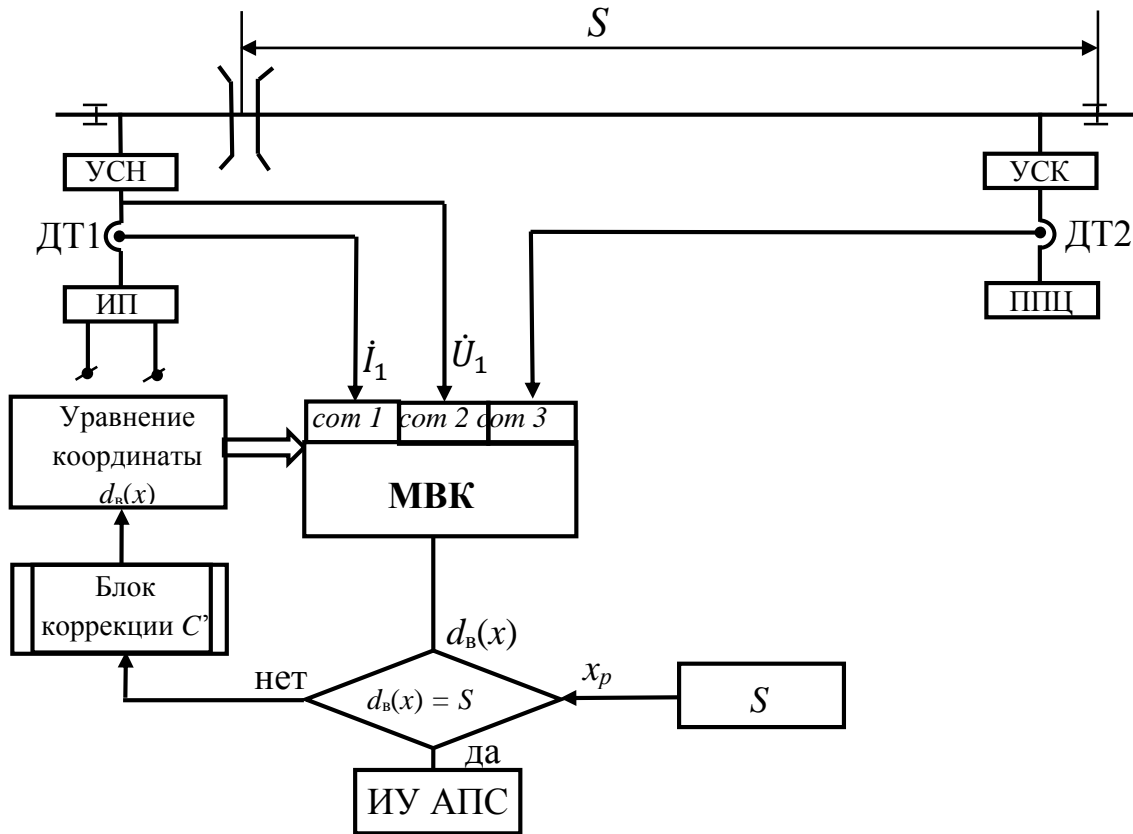


Рисунок 5.2 - Структурно-функциональная схема АПС с вычислителем координаты поезда с корректирующим алгоритмом:

МВК - микропроцессорный вычислитель координаты поезда. ИП – источник питания; ДТ1, ДТ2 – бесконтактные датчики токов; УСН, УСК – устройства согласования в начале и в конце рельсовой линии; ИУ АПС – исполнительные устройства АПС; S – длина участка приближения.

При вступлении поезда на УП, ограниченный изолирующими стыками, на релейном конце скачкообразно изменяется (уменьшается) значение тока [119, 120]. Информация об этом от второго датчика тока ДТ₂ передается на вход *com3* МВК, и фиксируется информация о вступлении головы поезда на релейный конец на координате x_p . В это же время, в момент вступления поезда на УП, микропроцессорный вычислитель координаты, непрерывно контролирующей

значения первичных признаков U_1, I_1 на входах $com1$ и $com2$, на питающем конце РЛ, вычисляет текущую координату поезда, и эта вычисленная координата $d_v(X)$ поступает на вход блока сравнения, где сравнивается с фактической координатой S головы поезда в самом начале участка приближения, информация о которой уже поступила в блок сравнения с другого входа.

Необходимо отметить, что в данном устройстве в память микропроцессорного вычислителя координаты МВК записано уравнение вычисления координаты поезда, коэффициенты которого определены при нормативных значениях первичных параметров РЦ, параметров согласующих устройств в начале и в конце рельсовой цепи, а именно: продольного сопротивления РЛ, емкости между рельсами, а также ограничительного и нагрузочного сопротивлений РЦ УП.

При неравенстве значений $d_v(X)$ и S автоматически корректируются коэффициенты уравнения координаты в блоке корректировки БК до равенства вычисленной координаты поезда фактической координате. При достижении равенства вычисленной и фактической координат поезда, МВК циклически вычисляет текущие координаты поезда, а затем, с учетом возможного его ускорения, вычисляет фактическую координату закрытия переезда согласно временным интервалам, показанных на рис. 3.2 и блок-схемы, на рис. 4.6. Вычисленные значения передаются в исполнительное устройство ИУ АПС устройства управления ограждающими устройствами АПС.

5.2. Разработка структурной схемы микропроцессорного устройства управления АПС

Повышенные требования к системам ЖАТ, которые продиктованы сложными условиями перевозочного процесса, обеспечение безопасности движения поездов в большинстве случаев не позволяют практически применить обычные универсальные микроЭВМ. Поэтому создаются специализированные микропроцессорные системы, отвечающие повышенным требованиям к надежности обработки информации и обеспечивающие функциональную безопасность систем ЖАТ, рассмотренных в ряде международных стандартов

[121–124], для управления технологическим процессом, осуществляемым в трудных условиях функционирования ЖАТ (при низкой или повышенной температуре, влажности, динамическим воздействиям со стороны движущихся поездов, электромагнитным влияниям тягового тока, грозových разрядов). Для выполнения этих требований и обеспечения безопасного и бесперебойного действия микропроцессорных устройств управления АПС (МАПС) предлагается разветвленный технический комплекс, состоящий из двух независимых вычислительных каналов [125], в которых обрабатываемая информация по-разному представляется и кодируется; цикличное сравнение промежуточных и конечных результатов; разветвленное программное обеспечение, при котором в обработке информации участвуют две независимые и разные программы; тщательная проверка каждой программы для снижения вероятности независимых ошибок в двух программах до очень малой величины; корректировка входной информации в каждом цикле; указание времени появления новых данных о признаках для своевременного устранения устаревшей информации; резервирование вычислительных каналов; тщательная отработка системы, включая программы, для обеспечения независимости каналов и исключения возможности того, что какое-либо повреждение окажет на оба канала идентичное влияние. Выполнение этих основных принципов защищает МАПС от опасных последствий сбоев или отказов отдельных ее компонентов, влияния внешних помех или ошибок программ.

В МАПС (рис. 5.3) используется режим разделения машинного времени в общем процессоре *ОП* для двух вычислительных каналов *А* и *Б*, которые содержат устройства ввода данных *УВв А* и *УВв Б*, сравнивающее устройство *УС*, аварийную сигнализацию *АС*, устройства вывода данных *УВ А* и *УВ Б*, шину передачи данных *ПД*, исполнительный процессор *ИП* с устройством сравнения и выдачи команд *СВК* на безопасные интерфейсы устройства управления ограждающими устройствами (*УОУ*). В каналах *А* и *Б* обрабатывается информация, представленная в разных форматах.

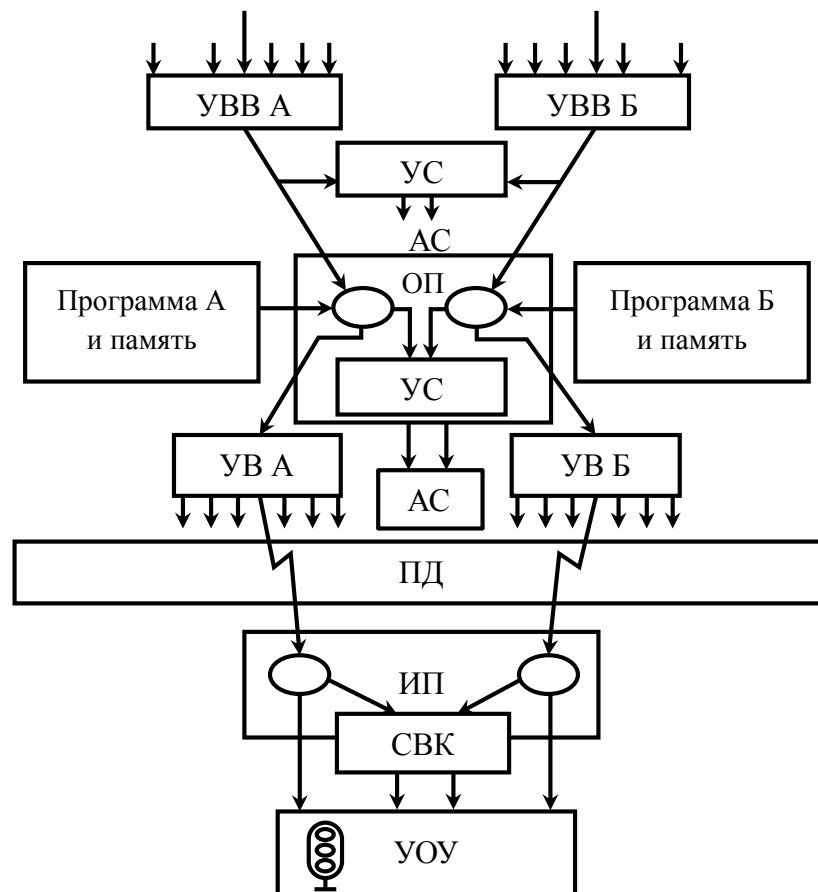


Рисунок 5.3 - Функциональная схема двухканального МАПС с общим процессором

Каналы имеют независимые программы, т. е. работают совместно с *ОЦ* в разных режимах. Поэтому повреждение *ОЦ* повлияет на каналы *А* и *В* по-разному, и при сравнении результатов обработки данных оно будет выявлено. С помощью внутренних сравнений и тестовых программ выявляются отказы элементов обоих каналов, а блоками управления напольными устройствами – повреждения этих устройств.

Блоки управления имеют электронные переключатели устройств в безопасное положение. Для поддержания электроснабжения управляемых устройств на блоки управления из обоих каналов должна поступать специальная информация.

Процессор *ОЦ* обрабатывает информацию в циклическом режиме. В течение каждого цикла, длительностью 0,6 с, собирается вся необходимая информация о состоянии управляемых объектов; обрабатываются извещения и данные о зависимостях МАПС по двум отдельным программам; формируются и выдаются

команды; передается информация о состоянии управляемых объектов в процессор управления вводом и отображением данных. В функциональной схеме, представленной на рис. 5.3, резервирование реализуется программно, т.е. процессор один, но он циклически обращается к различным программам канала *A* и канала *B*. Результат вычисления сравнивается, и при совпадении считается, что система функционирует правильно.

5.3. Разработка двухканального микропроцессорного устройства управления АПС нагруженным резервом

В системах с высокими требованиями к безопасности функционирования, к которым относятся системы управления переездными ограждающими устройствами, удобно использовать избыточность аппаратных средств [113, 126] (пространственное резервирование). Наиболее эффективным и мало затратным способом достижения безопасности и отказоустойчивости является многоканальная избыточность с нагруженным резервом, реализованная из двух параллельно работающих МС, по принципу «2 из 2», и дополненных логическим устройством сравнения: систему из двух параллельно работающих МС можно считать исправной только тогда, когда исправны оба канала обработки данных, и информация на их выходах адекватна.

Логическое устройство сравнивает результаты работы, выдаваемые каждым МС, и при полном их совпадении допускает полученные данные к управлению АПС. При несовпадении результатов или каком-либо другом отказе системы выполнение программы обеими МС прерывается, а управление процессом блокируется, и ограждающие устройства закрываются.

Разработанная структурная схема двухканального микропроцессорного устройства управления АПС нагруженным резервом состоит из двух микроконтроллеров *МК1* и *МК2* с микропроцессорами *МП* и запоминающими устройствами *ЗУ* и двух сравнивающих устройств *СУ* с памятью сбоев (рис. 5.4)

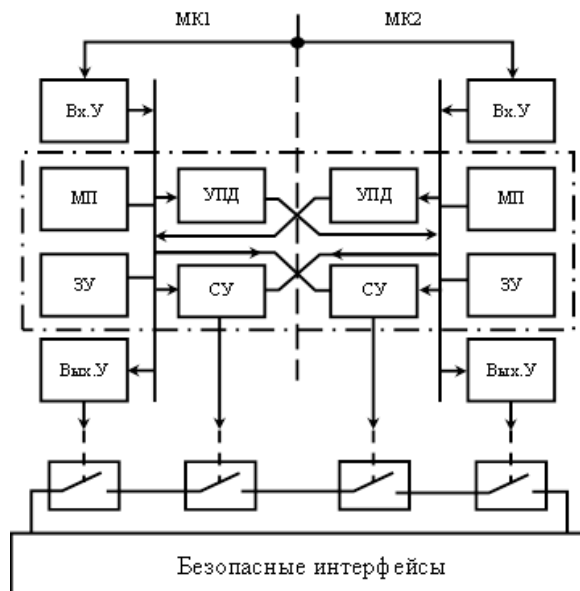


Рисунок 5.4 - Структурная схема двухканального микропроцессорного устройства управления АПС нагруженным резервом

В результате непрерывной синхронной работы *МК1* и *МК2* по аналогичным программам выполняется двухканальная обработка информации с бесконтактных датчиков тока и напряжения, построенных на принципе Холла, поступающая на входные устройства *Вх.У* [127]. Идентичность протекания процессов обработки информации в обоих каналах обеспечивается синхронизацией всех шагов программы двухканальным тактовым генератором путем синхронной посылки в *МК1* и *МК2* тактовых импульсов.

Для синхронизации процессов обработки информации в обоих каналах необходимо также одновременное поступление в *МК1* и *МК2* входных данных. Это достигается благодаря автоматическому распределению данных между ними, выполняемому устройством передачи данных *УПД*. Устройство *СУ*, имеющееся в каждом канале, сопоставляет выходные данные. При появлении разницы между ними, оно записывает это в память обоев *СУ* и обесточивает все коммутируемые им цепи в схеме безопасных интерфейсов, что обеспечивает безопасное состояние управляемого процесса. Устройство *СУ* и память сбоев работают независимо от микроконтроллеров, благодаря чему любые ошибки в работе *МК1* и *МК2* не влияют на процесс сравнения данных и не меняют записанной в памяти информации о сбоях. Систему запускает обслуживающий персонал после устранения повреждения.

Самостоятельное и независимое сравнение в СУ каждой выходной операции *МК1* и *МК2* исключает опасное воздействие на управляемый процесс, так как практически невозможно одновременное появление на выходах устройств *Вых.У* ошибочных данных, возникающих по разным причинам. Для нормальной работы системы требуется совпадение выходных данных обоих каналов в интервале времени, не превышающем 100 нс. Высокая надежность СУ обусловлена простым схемным малым числом элементов.

Любой одиночный отказ в системе не представляет опасности, так как все ответственные функции выполняются по двум независимым каналам, и только совпадение результатов активизирует управляемый процесс. Система защищена от многократных отказов тем, что в результате циклической проверки будет обнаружен уже первый отказ, который приведет систему в безопасное положение прежде, чем возникнет второй. Отказы в сравнивающих устройствах, как правило, безопасны, поскольку могут привести только к остановке управляемого процесса. Опасное положение возможно только при одновременном появлении четырех независимых друг от друга отказов (по одному в каждом сравнивающем устройстве и каждого микроконтроллера), возможность чего чрезвычайно мала.

Для обнаружения отказов в *МК1* и *МК2* заложена программа, которая проверяет все их функции, включая работу СУ. При этом тестированию подвергаются все возможные комбинации слов-операндов. Другие части проверочной программы тестируют запоминающие устройств, периферийные блоки и все функции системы шин. Программная проверка функций системы периодически повторяется, по меньшей мере, каждые 30 мин.

В большинстве функциональных узлов микроконтроллеров, а также в периферийных устройствах отказы обнаруживаются программным способом на основе сравнения заданных и фактических параметров. Система переходит в безопасное состояние только в том случае, когда недопустима или нецелесообразна дальнейшая обработка информации. Отказ, не способный вызвать опасные последствия, например, влияющий только на процесс ввода данных, не приводит к

остановке всей системы, а только вносит в нее соответствующее функциональное ограничение.

В следующем, модифицированном, варианте все блоки обеспечивают гальваническую развязку между исполнительными элементами и микроконтроллером (рис. 5.5).

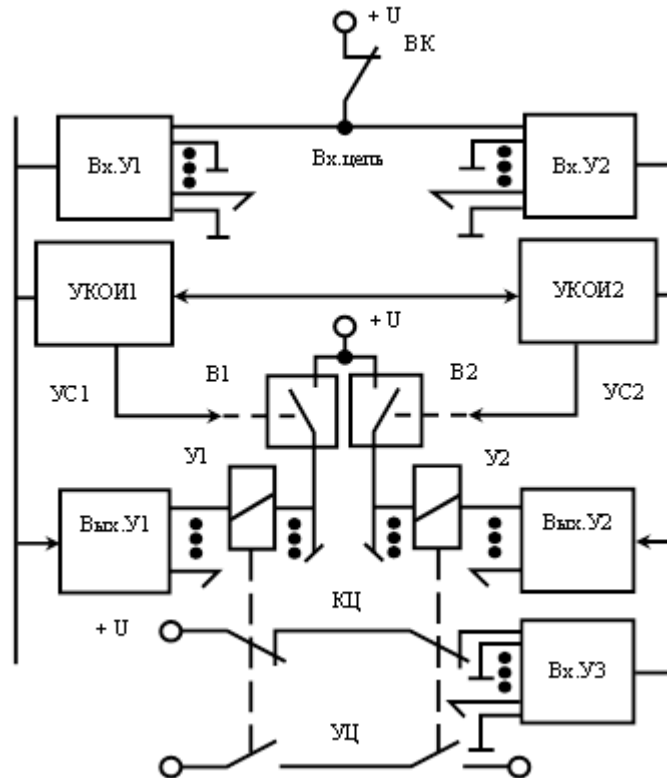


Рисунок 5.5 - Схема подключения устройств ввода информации и управления объектами АПС

В качестве развязывающих элементов использованы трансформаторы и оптронные пары. Ввод и вывод информации в систему периферийными устройствами происходит таким образом.

С момента подачи напряжения питания через входной контакт *ВК* на входные устройства *Вх.У1* и *Вх.У2* до начала управления происходит несколько стадий процесса. Вначале осуществляется самотестирование устройств контроля и обработки информации *УКОИ1* и *УКОИ2* при непрерывном контроле результатов сравнивающими устройствами, после чего *УКОИ1* и *УКОИ2* инициируют периферийные устройства. При этом в выходные устройства *Вых.У1* и *Вых.У2* поступают команды на обесточивание подключенных к ним управляющих реле *У1*

и $У2$. Затем $УКОИ1$ и $УКОИ2$ проверяют работоспособность периферийных устройств: в одном канале устройства должны выполнять заданные функции, отличные от функции устройств другого канала. Таким образом, наряду с единичными отказами обнаруживаются двойные ошибки в аналогичных периферийных устройствах обоих каналов.

С помощью третьего входного устройства $Вх.У3$ устройствами $Вых.У1$ и $Вых.У2$ проверяется обесточенное состояние реле $У1$ и $У2$. При условии, что к данному моменту времени сравниваемыми устройствами не зафиксирован отказ, система, выдавая управляющий сигнал по первому каналу $УС1$, подает рабочее напряжение на выходное реле $В1$. Если $У1$ и $У2$ остаются без тока, система после дальнейшего тестирования $Вх.У1$ и связанного с ним $У1$, вновь снимает напряжение отключением $В1$. Аналогично проверяется $Вых.У2$. Эти проверки предотвращают ошибки при выходе информации. Алгоритм работы входных устройств основан на том, что только наличие тока во входной цепи может вызвать активизацию управляемого процесса. Поэтому входные устройства сопряжения с датчиками напряжения и тока (рис. 5.6) строятся по принципу самоконтролирующихся схем.

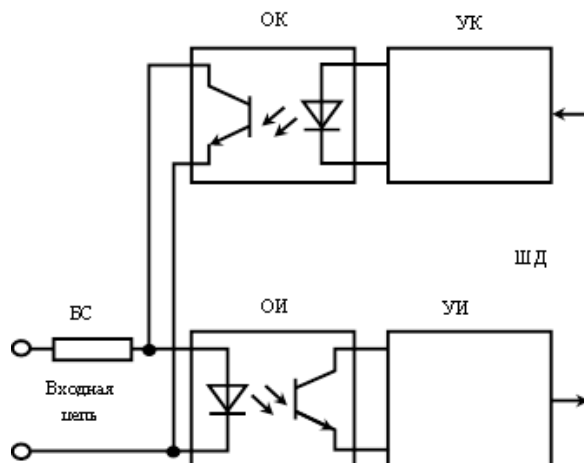


Рисунок 5.6 - Схема входного устройства сопряжения

Ток, протекая по входной цепи с балластным сопротивлением $БС$, вызывает свечение светодиода в оптопаре извещения $ОИ$, которое приводит к передаче сигнала в шину данных $ШД$ и далее в микроЭВМ, которая посылает квитирующий сигнал в устройство контроля $УК$, вызывая свечение светодиода в оптопаре

контроля *ОК*. Фототранзистор в *ОК*, открываясь, шунтирует светодиод в *ОИ*, что, в свою очередь, приводит к изменению информации на выходе устройства извещения *УИ*, обеспечивая обратную связь. При такой конструкции входного устройства обнаруживается любой отказ, вызывающий протекание постороннего тока по входной цепи.

После завершения всех проверок оба микроконтроллера с помощью выходных реле *В1* и *В2* (рис. 5.5) включают периферийные устройства и начинают управлять эксплуатационным процессом, обеспечивая при этом быстрое считывание и обработку входных данных и подготовку выходных данных. Каждый сигнал, поступивший во входное устройство, сейчас же проверяется на отсутствие отказов во входной цепи [128–130]. Кроме того, контролируются сигналы, действующие уже продолжительное время. Только после завершения этих проверок подготовленные выходные данные выводятся из системы.

В процессе вывода данных учтены все теоретически возможные отказы выходных устройств. До начала вывода данных при помощи *Вх.У3* контролируется неизменность состояний *У1* и *У2* с момента последнего вывода информации. Затем новые выходные данные поступают вначале только в *Вых.У1*. До истечения времени задержки на подключение *У1* устройством *Вх.У3* проверяется неизменность состояний обоих реле. Лишь теперь новые данные поступают в *Вых.У2*. Во время задержки на переключение *У2* также сравнивается фактическое состояние этого реле с заданным. При соответствии состояний вывод данных считается завершённым.

Такая процедура вывода данных устраняет влияние ошибок на управляемый процесс даже в случае появления одинаковых отказов в обоих выходных устройствах: если данные, поступающие на *Вх.У1*, ошибочны, то *Вых.У2* уже не отреагирует на них таким же образом, как *Вых.У1*. Благодаря последовательному включению контактов управляющих реле в исполнительную цепь обеспечивается безопасность работы системы при отказе одного из ее каналов. Однако безопасное состояние системы не исключает возможности появления отказов. Если угроза безопасности движения поездов из-за отказа отсутствует, то управление процессом

может продолжаться без участия отказавшей части системы. В противном случае программа приводит в действие сравнивающие устройства, которые посредством управляющих сигналов выключают выходные реле, обесточивая тем самым реле $У1$ и $У2$. После этого каждое выходное устройство получает запирающую команду, которая исключает возможность работы всех устройств, включая исправные.

5.4. Многоканальная микропроцессорная система управления АПС нагруженным резервом

Создание микропроцессорных систем с более чем двумя каналами обработки данных позволяет еще больше повысить безопасность отказов и надежность действия этих систем [131]. Трехканальная система, в которой реализуется принцип мажоритарной логики «2 из 3» (система работоспособна, если хотя бы два из трех каналов исправны, и информация на выходах этих двух каналов адекватна), представленная на рис.5.7, может находиться в одном из трех состояний:

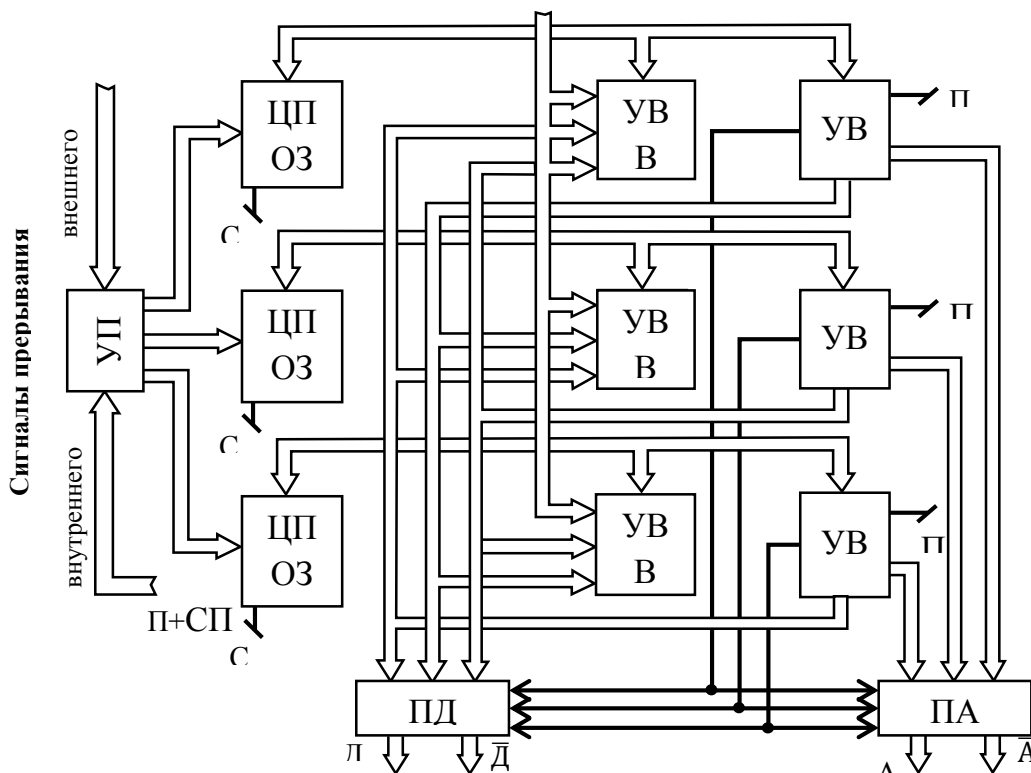


Рисунок 5.7 - Трехканальная микропроцессорная система управления АПС

полной исправности (нет повреждений), исправности двух каналов (поврежден один из трех каналов); неисправности системы (повреждено два канала и более).

Трехканальная микропроцессорная система состоит из трех независимых микроконтроллеров с общим устройством управления прерываниями *УП*, преобразователями данных *ПД* и адресов *ПА* (*Д* и *А* – данные и адреса, *Д* и *А* – инвертируемые данные и адреса). Каждый микроконтроллер содержит центральный процессор *ЦП*, оперативное *ОЗУ* и постоянное запоминающие устройства *ПЗУ*, устройства ввода *УВв* и вывода *УВ* данных. Микроконтроллеры работают по одинаковым программам асинхронно, что объясняется наличием в каждом из них - собственного тактового генератора. Синхронизация выполняется при запуске каждой программы, к которой переходят по общему сигналу внешнего прерывания *СП*. При этом, все другие сигналы прерывания блокируются.

По окончании обработки одной программы микроконтроллер переходит в режим ожидания, снимая внутреннюю блокировку прерываний. Если, по крайней мере, два из трех микроконтроллеров находятся в режиме ожидания, то логическим сложением сигналов *СП* снимается и внешняя блокировка прерываний. В дальнейшем прерывания обрабатываются в соответствии с их приоритетами. Для запуска программ, не связанных с внешним прерыванием, микроконтроллеры самостоятельно вырабатывают сигналы внутреннего прерывания *П*.

Результаты обработки данных сравниваются на уровне программного обеспечения. При этом, для синхронизации микроконтроллеров служат сигналы *СП*. Затем микроконтроллеры сравнивают собственные результаты с полученными от других микроконтроллеров. При их совпадении выполняется внутреннее прерывание. В противном случае дальнейшая обработка данных останавливается.

Повреждение одного канала приводит к реконфигурации системы - вместо принципа «2 из 3» в ней реализуется принцип «2 из 2». При этом отключается поврежденный канал, и выдается сигнал тревоги. Подключение этого канала возможно только после ремонта и ввода в его память необходимой информации, благодаря чему обеспечивается возможность бесперебойного перехода системы в

состояние полной исправности. В случае повреждения двух и более каналов, система полностью отключается, и включается аварийная сигнализация.

Микропроцессорные системы, имеющие более трех каналов (более трех параллельно работающих МС), строятся аналогично.

Системы с избыточностью могут обеспечить обнаружение подавляющего большинства ошибок, однако класс необнаруженных программных ошибок остается, поскольку обе МС выполняют одну и ту же программу. Поэтому надежные программные средства обнаружения ошибок для системы с избыточностью столь же необходимы, как и для всякой другой.

В зарубежных устройствах ЖАТ [132–134] применяют микропроцессорные системы с помехозащитными свойствами, в которых использован принцип пространственно-временного резервирования. В такую систему входят две микроЭВМ – действующая и находящаяся в «горячем» резерве, в которых используют два совершенно различных варианта *A* и *B* программы с диаметрально противоположной организацией структуры данных. В случае несовпадения результатов работы по программам *A* и *B* или другого отказа, блок сравнения, состоящий из элементов с безопасным отказом, отключается логическим устройством от действующей микроЭВМ и подключается к «горячему» резерву. Система из двух микроЭВМ, в которой предусмотрены два варианта программы, по сравнению с системой также из двух ЭВМ, но построенной по принципу «2 из 2», имеет большую продолжительность обработки информации, но обладает более высокой надежностью. На практике чаще всего используются системы, построенные по рассмотренным двум принципам. Для двух разных видов резервирования в настоящее время выработаны различные способы проверки программного обеспечения системы. Более тщательной проверки требует одновариантная программа, применяемая в системе с мажоритарной логикой «2 из 3», так как программные ошибки в процессе функционирования системы не выявляются. Стоимость проверки такой программы в 3–5 раз дороже, чем описание функций системы и составление программы. Что касается двухвариантной

программы, то микропроцессорная система может выявить ошибки в этой программе только при условии, что ошибки в вариантах программы неодинаковые.

5.5. Разработка принципа извещения о приближении и направлении движения поездов по переезду

Повысить безопасность движения на железнодорожных переездах возможно за счет обеспечения водителей транспортных средств, ожидающих проследование поездов по многопутному переезду, информацией о движении одного или двух одновременно следующих поездов по путям через переезд. Необходимость установки таких указателей диктуется и зарубежным опытом (Япония, ФРГ, Франция и др.). Очевидно, что новая технология работы переездной сигнализации с информацией о движении поездов будет во многом способствовать правильной оценке водителями транспортных средств дорожной обстановки на переезде, а нетерпеливых и слишком ретивых из них заставит задуматься, стоит ли рисковать.

В главах 1, 2 показано, что аварийность на переездах связана также с отсутствием информации у водителей автотранспортных средств информации о направлении движения поездов к переезду. Эта информация важна особенно на многопутном переезде, поскольку существует опасность въезда АТС на переезд в момент горения запрещающего сигнала светофора и освобождения переезда поездом, следующим по ближнему к АТС пути, в то время, как по второму, дальнему по отношению к АТС пути, к переезду в этот момент приближается другой поезд. Такая ситуация может произойти из-за отсутствия у водителя информации о следовании поезда по дальнему пути, закрытому от водителя автотранспорта первым поездом, следующим по ближнему к автотранспорту пути, и привести к серьезным дорожно-транспортным происшествиям с человеческими жертвами.

На рис. 5.8 представлена структурно-функциональная схема разработанного автором устройства извещения водителей АТС о приближении и направлении движения поездов по переезду [135], реализующего алгоритм «дружелюбной» автоматической переездной сигнализации, описанной выше.

направления 4 и в СУО поступает информация о поезде, и, соответственно, на выходной шине «б» СУО появляется информация об этом, и ТНД, по информации со специализированного выхода нечетного направления «2» на обеих сторонах переезда, включает ярко красные светодиодные стрелки указателей световых табло УНН нечетного направления движения поездов.

После проследования поездов по переезду и освобождения УП Ч и Н, схемы приводятся в исходное состояние, и стрелки на световых табло УЧН и УНН направления движения поездов гаснут. При следовании поезда в нечетном направлении и появлении поезда в четном направлении, алгоритм работы устройства аналогичен, только в начале загораются стрелки световых табло направлений движения поездов УНН, а затем световых табло УЧН.

Чтобы повысить безопасность движения транспортных средств на переездах и создать условия для перевода охраняемых переездов в неохраемые, необходимо совершенствовать устройства обнаружения препятствий, автоматически управляющие заградительной сигнализацией. Эти устройства, работающие в разных электронных системах, по принципу действия близки между собой. Во Франции применяют устройства, которые построены на микроволновой (СВЧ) технике, осуществляющей локацию переезда на частоте 8–12 ГГц. Передающие и приемные блоки устанавливаются друг против друга, закрепленными на брусках шлагбаумов или на специальных стойках таким образом, чтобы в их «поле зрения» находилась зона над поверхностью переезда. Поперечная локация переезда начинается через 22 с после включения предупредительной сигнализации (7 с – вызов, 9 с – опускание въездного шлагбаума, 6 с – опускание выездного шлагбаума).

Во Франции, США и ФРГ [136, 137] на переездах используют устройства обнаружения препятствий, созданные на основе оптических квантовых генераторов (лазеров). Информация, поступившая в приемники с датчиков, преобразуется в сигналы управления шлагбаумами, переездными и заградительными светофорами. Блок формирования сигналов, расположенный около переезда, рассчитан на подключение до пяти лазерных комплектов. Когда переездные

шлагбаумы открыты, приемники работают в режиме дежурного приема, а передатчики обесточены. Для предохранения от загрязнения все оптические элементы прикрыты защитными крышками. При закрытии шлагбаумов в то время, когда переезд занят, передатчики приходят в рабочее состояние после контроля подачи приемниками сигналов занятости, а защитные крышки открываются. Освобождение переезда приведет к тому, что подача сигнала занятости прекратится, а примерно через 2 с отключится передатчик, и закроются защитные крышки.

Для дистанционного контроля межшлагбаумной зоны эффективно использование видеокамер, смонтированных над путями. Очевидно, что автоматизированное управление устройствами и диспетчерский контроль, включая визуальный по монитору, обеспечивают высокую безопасность движения поездов, автотранспорта и пешеходов на переездах.

Выводы по пятой главе

1. Разработанный в работе алгоритм управления АПС с функцией вычисления координаты и скорости поезда со стратегическим и оперативным идентификатором и настраивающим уравнение вычислителя звеном, реализован трехуровневой структурной схемой, состоящей из блоков: безопасных интерфейсов, предварительной обработки и микропроцессорного вычислительного устройства с элементом сравнения вычисленного значения координаты поезда с реальной координатой.

2. Разработанные три варианта микропроцессорных устройств управления АПС с новым алгоритмом функционирования – двухканальное устройство с общим процессором, двухканальная с нагруженным резервом и трехканальное устройство с принципом мажоритарной логики «2 из 3» позволяют создавать системы управления АПС с требуемой надежностью для различных участков железных дорог, имеющих различные потоки поездов и автотранспорт.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные в диссертационной работе исследования позволили сформулировать следующие основные выводы.

1. Проанализированы причины высокой аварийности на железнодорожных переездах, которые показали, что основными влияющими факторами нарушения безопасности являются: длительное время закрытого для движения автотранспорта переезда; отсутствие оперативной информации для водителей автотранспорта о меняющейся ситуации на переезде (время до появления запрещающего огня на переездном светофоре, а также о время до появления поезда на переезде и открытия переезда для движения автотранспорта; поездная ситуация на переезде, когда поезд, следующий по ближнему пути, закрывает водителям видимость поездов, следующих по другим путям).

2. Показано, что организационные и технические мероприятия способствуют увеличению безопасности и сокращению аварийности, но, с увеличением скорости и веса поездов, в соответствии с существующим жестким алгоритмом управления, увеличивается длина участка приближения, и при движении поездов с малой скоростью время ожидания открытия переезда увеличивается до 30-40 минут, а это приводит к тому, что водители, игнорируя запрещающий огонь переездного светофора, начинают движение, что отрицательно сказывается на безопасности на переездах, технологическом цикле перевозочного процесса.

3. Разработана методика селекции и исследования информативности первичных признаков, позволяющая формировать признаковое множество, как вне системы определения координат, так и с использованием уравнения координат поезда. В результате оценки информативности сформировано множество признаков из комплексных амплитуд напряжений и токов на входе рельсовой линии.

4. Обоснованы вид и сложность уравнения вычисления координат поезда на основе полинома Колмогорова - Габора, разработана методика самонастройки уравнения, основанная на коррекции ошибок вычисления местоположения поезда, сравнением вычисленного значения координаты с реальной, с последующей

минимизацией результирующей ошибки рекуррентной вычислительной процедурой корректировки коэффициентов уравнения.

5. Проведены исследования возможностей алгоритма адаптивной самонастройки на двух примерах реализации уравнения вычислителя координат поезда и выявлено, что разработанный рекуррентный алгоритм корректировки уравнения позволяет обеспечить минимизацию ошибки. Получены результаты моделирования самонастройки, которые показывают, что увеличение ошибки вычисления координаты до 13% (260 м), из-за изменения наиболее влияющего параметра Z_0 на 5%, компенсируется корректировкой коэффициентов уравнения вычисления координаты до минимальной погрешности – 2,35% (47 м).

6. Создана и защищена патентом структурная схема микропроцессорной инвариантно - измерительной системы управления, рассматриваемая как частный случай адаптивной системы с идентификатором, состоящая из основной (информационной) системы, звена управления и канала самонастройки; а в качестве корректируемой модели использовано уравнение координаты поезда.

7. Произведена оценка эффективности разработанного устройства, которая показала, что максимальное время ожидания водителями открытия переезда после проследования поезда не превышает 3,2 минуты. Разработано цифровое табло, позволяющее оперативно информировать водителей о поездной ситуации на переезде, а также о времени приближения поездов к переезду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Диморов, Н.Ю. Железнодорожным переездам особое внимание / Н.Ю. Диморов // Железнодорожный транспорт. – 2005. - №6. - С.13-15.
2. Тарасов, Е.М. Анализ состояния безопасности движения и мероприятия по повышению безопасности на железнодорожных транспортных пересечениях / Е.М. Тарасов, Г.М. Третьяков, А.Г. Исайчева // Вестник транспорта Поволжья. - 2015. - № 5. - С.85-90.
3. Гатауллин, С. Т. Экономическая оценка и пути снижения потерь на железнодорожных переездах : автореф. дис.... канд. экон. наук: 08.00.05, 08.00.13 / Гатауллин Сергей Тимурович. - М., 2009. - 19 с.
4. Курбатова, А.В. О задержках автотранспорта на регулируемых железнодорожных переездах / А.В. Курбатова, С.Т. Гатауллин // Вестник ГУУ. – 2006. - №5(18).
5. Персианов, В.А. Задержки автотранспорта у железнодорожных переездов, их экономическая оценка и пути снижения / В.А. Персианов, С.Т. Гатауллин, А.А. Юнушкин // Вестник ГУУ. – 2007. - №6(6). – С. 310-316.
6. Герус, В.Л. Интеллектуальные системы на железнодорожном транспорте / В.Л. Герус, Е.М. Тарасов, Д.В. Железнов // Инновации в системах обеспечения движения поездов : материалы I междунар. науч.-практ. конф. – Самара, 2016. – С. 6-8.
7. Матюхин, В.Г. Интеллектуальные системы для железнодорожного транспорта. Опыт и перспективы / В.Г. Матюхин // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2015) : труды IV междунар. науч.-техн. конф. – Москва, 2015 года. - С. 3-6
8. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года [Электронный ресурс] // Министерство транспорта Российской Федерации : офиц. сайт. – Режим доступа: <https://www.mintrans.ru/documents/3/1009>.

9. Глава РЖД призывает усилить работу по предотвращению аварий на переездах [Электронный ресурс] // РИА Новости: офиц. сайт. – Режим доступа: <https://ria.ru/society/20180614/1522677629.html>.

10. Доклад группы экспертов по повышению безопасности на железнодорожных переездах Европейской экономической комиссии. Комитет по внутреннему транспорту. Семьдесят четвертая сессия, Женева, 21–24 марта 2017года, Distr.: General 10 January 2017 Original: English.

11. Белоногов, А.С. Анализ безопасности на железнодорожных переездах. / А.С. Белоногов, А.Е. Тарасова // Наука и образование транспорту : материалы конф. – Самара, 2015. – Т.1. - С. 115-118.

12. Условия эксплуатации железнодорожных переездов : утв. Министерством транспорта РФ 3.07.2015. №237.

13. Морозов, М.Г. Безопасность движения на железнодорожных переездах / М.Г. Морозов // Евразия Вести. - 2015. - №7.

14. Шкурников, С. В. Общие требования к проектированию высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва – Казань / С.В. Шкурников, Н.С. Бушуев, В.А. Голубцов // Транспорт Российской Федерации. – 2015. - №2 (57). – С. 26-29.

15. Герус, В.Л. Временной и сезонный анализ происшествий на переездах / В.Л. Герус, А.Е. Тарасова // Вестник транспорта Поволжья. – 2018. - № 1(54). – С. 75-82.

16. Тарасов, Е.М. Интеллектуальные системы на железнодорожном транспорте / Е.М. Тарасов, Д.В. Железнов // Инновации в системах обеспечения движения поездов : материалы I междунар. науч.-практ. конф. – Самара, 2016.

17. Тарадин, Н. А. Методы оценки безопасности функционирования систем железнодорожной автоматики и телемеханики: автореф. дис.... канд. техн. наук : 05.22.08 / Тарадин Николай Александрович. – М., 2010. - 14 с.

18. Миненко, Е. Ю. Анализ мероприятий направленных на решение проблемы безопасности на железнодорожных переездах / Е.Ю. Миненко, Ю.А. Кусморова // Молодой ученый. — 2014. - № 17. - С. 78–80.

19. Мохонько В.П. Устройство контроля координаты и скорости поезда системы управления переездной сигнализацией: дис.... канд. техн. наук: 05.13.05 / Мохонько Владимир Петрович. – Самара, 2002. – 188 с.

20. Инструкция по проведению экономических изысканий для проектирования автомобильных дорог (ВСН 42-87) : утв. Минтрансстроем СССР 10.07.87 № 271.

21. Миненко, Е. Ю. Общая характеристика железнодорожных переездов и показателей безопасности движения через них / Е.Ю. Миненко, Ю.А. Кусморова // Молодой ученый. — 2014. — №17. — С. 80-83.

22. О железнодорожном транспорте Российской Федерации : Федеральный закон от 10.01.2003г. № 17-ФЗ (с изменениями от 07.07.2003 г.).

23. Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в российской федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации : Федеральный закон от 08.11.2007г. № 257-ФЗ.

24. Герус, В.Л. Оценка эффективности существующей переездной сигнализации/ В.Л. Герус, Д.В. Железнов, Е.М. Тарасов // Вестник транспорта Поволжья. – 2015. – № 6(54). - С 58-61.

25. Миненко Е. Ю. Повышение безопасности движения на железнодорожном переезде / Е.Ю. Миненко, А.С. Ширшиков, Я.А. Филимончева // Мир транспорта и технологических машин. – 2013. - № 4.

26. О техническом регулировании : Федеральный закон от 27.12.2002г. №184-ФЗ (с изменениями от 09.05.2005 г.).

27. Алаторцева, Е. М. Правовые основы обеспечения безопасности дорожного движения / Е.М. Алаторцева, Н.В. Пеньшин // Вопросы экономики и управления. — 2018. — №1. — С. 41-43.

28. Безопасность на железнодорожных переездах: законодательное регулирование, новые технологические решения для предупреждения аварий // Пресс-центр Издательского дома «Гудок». – 2016. - 13 апреля. -11.00 - 14.00.

29. Семёнов, А. Э. Административная ответственность в области дорожного движения / А.Э. Семёнов // Молодой ученый. — 2015. — №3. — С. 694-697.

30. Рост автопарка в России за последние 10 лет – 51% [Электронный ресурс] // Автостат: офиц. сайт. – Режим доступа: <https://www.autostat.ru/infographics/26425/>.
31. Строительство ВСМ Москва - Казань начнется в 2018 году // Гудок. – 2017. – 16 августа. - №140 (26279).
32. Комплекс обеспечения безопасности железнодорожных переездов [Электронный ресурс] // TVEMA: офиц. сайт. – Режим доступа: <https://tvema.ru/553>.
33. Безопасность движения на переездах // Железные дороги мира. - 2007. - №1. - С.21-25.
34. О федеральной целевой программе «Повышение безопасности дорожного движения в 2013 - 2020 годах : утв. постановлением Правительства РФ от 3 октября 2013 г. № 864.
35. Митник, В. М. Проблемы аварийности на дорогах и пути ее снижения / В.М. Митник // Вестник Самарской гуманитарной академии. Серия «Право». - 2013. - № 1(13).
36. Кобзев, В. А. Развитие технических средств обеспечения безопасности станционных процессов: Учебное пособие / В.А. Кобзев. – М.: МИИТ, 2008 – 57с.
37. Миненко, Е. Ю. Оценка мероприятий, повышающих безопасность дорожного движения на железнодорожных переездах / Е.Ю. Миненко, Ю.А. Кусморова // Молодой ученый. — 2014. — №20. — С. 190-193.
38. ЩигOLEV, С.А. Современные технические средства ЖАТ на службу железным дорогам / С. А. ЩигOLEV // Автоматика , телемеханика, информатика. - 2014. – №12. -38 с.
39. Минаков, Е.Ю. Шлагбаум автоматический (ША). Технология обслуживания, ремонта и проверки шлагбаума в условиях дистанции сигнализации и связи / Е.Ю. Минаков. - М.:Трансиздат, 2002.– 25с..
40. Шаманов, Р. С. Анализ практического опыта железных дорог по решению проблемы железнодорожных переездов / Р.С. Шаманов, Ю.А. Кусморова // Молодой ученый. — 2014. — №20. — С. 231-233.

41. Пильнинский оптико-механический завод. Каталог продукции [Электронный ресурс] // ПОМЗ: официальный сайт. – Режим доступа: <http://www.pomz.ru/catalog>.

42. Селиверов, Д. И., Киякина Т. Е. Светодиодные светофоры для Российских железных дорог / Д.И. Селиверов, Т.Е. Киякина // Технические науки: традиции и инновации: материалы междунар. науч. конф. — Челябинск, 2012. — С. 66-69.

43 Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации : Федеральный закон от 8 ноября 2007 г. № 257-ФЗ (ред. от 27.05.2014).

44. Покрытия для железнодорожных переездов // Железные дороги мира. - 2005 . - №1. - С. 28 – 33.

45. Казаков, А.А. Автоблокировка, локомотивная сигнализация и автостопы / А.А.Казаков, Е.А.Казаков. –М.: Транспорт, 1980. - 360 с.

46. Катаев, М.Н. Автоматическая переездная сигнализация нового поколения / М.Н. Катаев // Современная наука: проблемы, идеи, тенденции: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Минск, 2016. – С. 77-85.

47. Лябах, Н.Н. Автоматизация технологических процессов на железнодорожном транспорте на основе микропроцессоров с применением методов распознавания: Учебное пособие / Н.Н. Лябах, А.Е. Пирогов. - Ростов н/Д: РИИЖТ, 1984. - 76с.

48. Патент RU 2281219 Способ управления автоматической переездной сигнализацией / Тарасов Е.М. – заявл.14.02.2005г., опубл. Б.И. 2006г., № 22.

49. Новые устройства автоматики и телемеханики железнодорожного транспорта / И.Г. Тильк. – Екатеринбург : УрГУПС, 2010. – 168 с.

50. Патент RU 2544285 Устройство управления переездной сигнализацией / Гнитько Р.В., Курганский А.А., Тильк И.Г., Ляной В.В. – заявл. 04.12.2013г., опубл. Б.И. 2015г., №8.

51. Патент RU 2455185 Устройство управления переездной сигнализацией / Тильк И.Г., Гнитько Р.В., Сергеев Б.С. – заявл. 09.11.2010г., опубл. Б.И. 2012г., №19.

52. Патент RU 2526364 Устройство управления переездной сигнализацией / Гнитько Р.В., Ляной В.В., Сисин В.А., Тильк И.Г., – заявл. 15.03.2013г., опубл. Б.И. 2014г., №23.

53. Патент РФ 2169679 Устройство для переездной сигнализации / Мохонько В.П., Тарасов Е.М., Белоногов А.С., Куров М.Б., Гуменников В.Б., Тарасова Е.В., - заявл. 16.06.2000г., опубл. Б.И. 2001г., №18.

54. Котляренко, Н.Ф. Путевая блокировка и авторегулировка: учебник для вузов. / Н.Ф. Котляренко и др. – М.: Транспорт, 1983. – 408 с.

55. Бубнов, В.Д. Устройства СЦБ их монтаж и обслуживание: Полуавтоматическая и автоматическая блокировка / В.Д. Бубнов, В.С. Дмитриев - М.: Транспорт, 1989. – 304 с.

56. Zheleznov, D.V. Development of an intelligent system of determinating the coordinates and the speed of the train / D.V. Zheleznov, E.M. Tarasov // Transport and Telecommunication. – 2016. - Vol. 17, №6. - P.138–143.

57. Худайбергганов, Т.Р. Математические методы распознавания образов / Т.Р. Худайбергганов, Х.С. Адинаев, М.А. Артикбаев // Техника. Технологии. Инженерия. - 2017. - №2.1. - С. 45–47.

58. Dougherty, G. Pattern Recognition and Classification: An Introduction / G. Dougherty. - Springer, 2013. - 207 p.

59. Герус, В.Л. Возмущающие воздействия на рельсовые линии и их компенсация принципами инвариантности [Текст] / В.Л. Герус, Д.В. Железнов, Е.М. Тарасов, А.Е. Тарасова // Транспорт, наука, образование в XXI веке: опыт, перспективы, инновации: материалы VII междунар. науч.-практ. конф. - Оренбург, 2017.

60. Герус, В.Л. Исследование информативности признаков при распознавании состояний рельсовых линий [Текст] / В.Л. Герус, Е.М. Тарасов, А.Е. Тарасова // Вестник Мордовского университета. – 2018. – Том 28, №2. – С. 191-207.

61. Zhuravlev, Yu.I. Linear classifiers and selection of informative features / Yu.I. Zhuravlev, Yu.P. Laptin, A.P. Vinogradov, N.G. Zhurbenko, O.P. Lykhovyd, O.A. Berezovskyi // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2017. - Vol. 27, №3. - P. 426-432.
62. Зенин, А.В. Анализ методов распознавания образов / А.В. Зенин // Молодой ученый. - 2017. - №16. - С. 125–130.
63. Кулбараков, М. А. К задаче распознавания образов без учителя в технической диагностике / М.А. Кубараков // Молодой ученый. - 2014. - №18. - С. 55-57.
64. Bai, Liang. Fast density clustering strategies based on the k-means algorithm / Liang Bai, Xueqi Cheng, Jiye Liang, Huawei Shen, Yike Guo // Pattern Recognition. – 2017. - Vol. 71. - P. 375-386.
65. Ben, Hur A. Support vector clustering / Hur A. Ben, D. Horn, H.T. Siegelmann, V. Vapnik // J. of Machine Learning Research - 2001. - Vol. 2. - P.125-137.
66. Myasnikov, E.V. Analysis of approaches to feature space partitioning for nonlinear dimensionality reduction / E.V. Myasnikov // Pattern Recognition and Image Analysis. - 2016. - Vol. 26, №3. - P. 474-482.
67. Dokukin, A.A. Multilevel models for solution of multiclass recognition problems / A.A. Dokukin, V.V. Ryazanov, O.V. Shut // Pattern Recognition and Image Analysis. - 2016. - Vol. 26, №3. - p. 461-473.
68. Tou, J.T. Advances in Information System Science // Plenum Press, New York. - 1970. - Vol. 3
69. Машкин, А.В. Использование энтропийных мер в задачах оценки информативности признаков распознавания образов / А.В. Машкин // Программные продукты и системы. - 2009. - №4. - С.79-80
70. Бартнев, В.Г. Анализ эффективности обнаружителей коррелированных сигналов в шуме для малых выборок наблюдений / В.Г. Бартнев // Цифровая обработка сигналов. - 2016. - №4. - С. 35-39.
71. Principe, J.C. Information Theoretic Learning / J.C. Principe, D. Xu, J.W. Fisher // Unsupervised Adaptive Filtering. Wiley. - 2000. – Vol. 1 – P. 265-319.

72. Patrick, Edward A. Fundamentals of Pattern Recognition. / Edward A. Patrick. - Prentice-Hall, 1972. - 408 p.
73. Ивахненко, А.Г. Самообучающиеся системы распознавания и автоматического управления. / А.Г. Ивахненко. - Киев: Техника, 1969. - 392 с.
74. Борисова, И.А. Сходство и компактность / И.А. Борисова, В.В. Дюбанов, Н.Г. Загоруйко, О.А. Кутненко // Математические методы распознавания образов: 14 всерос. конф.- М., 2009. - С.89-92.
75. Бобков, А.В. Нормирование пространства признаков при использовании обобщенного преобразования Хафа / А.В. Бобков // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана электронный научно-технический журнал. - 2014. - №2. - С. 286-295.
76. Тарасов, Е.М. Инвариантные классификаторы состояний рельсовых линий для систем интервального управления движением поездов : автореф. дис. ... докт. техн. наук : 05.13.05 / Тарасов Евгений Михайлович. - Самара, 2004. - 32 с.
77. Куров, М.Б. Устройство контроля проводимости изоляции рельсовых линий для систем интервального управления движением поездов : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.05 / Куров Михаил Борисович. - Самара, 2004. - 172 с.
78. Брылеев, А.М. Теория, устройство и работа рельсовых цепей / А.М. Брылеев, Ю.А. Кравцов, А.В. Шишляков. - М.: Транспорт, 1978. – 344 с.
79. Bishop, C. Pattern Recognition and Machine Learning / C. Bishop. - Springer, 2006. - 738 p.
80. Волик, В.Г Численный метод расчета сопротивления рельсовой линии переменному току / В.Г. Волик // Актуальные проблемы развития железнодорожного транспорта: материалы 2-й междунар. науч.-практ. конф. - Самара, 2006. – С.182-184.
81. Каганов, В.Г. Электрические цепи с распределенными параметрами и цепные схемы / В.Г. Каганов. - М.: Энергоатомиздат, 1990. – 249 с.
82. Патент RU 2632544 Система закрытия железнодорожного переезда / Маркес Мезитис (LV), Александрс Николаевс (LV), Владимирс Каревс (LV) – заявл. 16.02.2016г., опубл. Б.И. 2017г., №15.

83. Патент RU 2619507 Система вычисления времени задержки закрытия железнодорожного переезда / Маркес Мезитис (LV), Александрс Николаевс (LV), Владимирс Каревс (LV) – заявл. 16.02.2016г., опубл. Б.И. 2017г., № 14.

84. Патент RU 2610903 Способ управления закрытием железнодорожного переезда / Маркес Мезитис (LV), Александрс Николаевс (LV), Владимирс Каревс (LV) – заявл. 17.02.2017г., опубл. Б.И. 2017г., №5.

85. Мохонько, В.П. Устройство контроля координаты и скорости поезда системы управления переездной сигнализацией : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.05 / Мохонько Владимир Петрович. - Самара, 2002. - 24 с.

86. Мохонько, В.П. Система обеспечения безопасности движения на железнодорожных переездах / В.П. Мохонько, В.И. Варгунин, Е.М. Тарасов // Экономика, эксплуатация и содержание железных дорог в современных условиях : межвузовский сб. науч. тр. – 1999. - №17.

87. Мохонько, В.П. Использование информации о входном сопротивлении рельсовой линии для определения координаты и скорости подвижной единицы / В.П. Мохонько, Е.М. Тарасов, А.С. Белоногов // Безопасность транспортных систем: 2-я Междунар. науч.-практ. конф. – Самара, 2000. – С. 77.

88. Патент RU 2169678 Устройство для переездной сигнализации / Мохонько В.П., Тарасов Е.М., Белоногов А.С., Куров М.Б., Гуменников В.Б., Тарасова Е.В. – заявл. 16.06.2000г., опубл. Б.И. 2001г., №18.

89. Герус, В.Л. Разработка информационно-управляющей системы переездной сигнализации с многопараметрическим датчиком координаты поезда / В.Л. Герус, Е.М. Тарасов, А.Е. Тарасова // Перспективные информационные технологии (ПИТ 2017) : труды междунар. науч.-техн. конф. – Самара, 2017. – С. 742-745.

90. Антонов В.Н. Адаптивные системы автоматического управления : Учеб. пособие / В.Н. Антонов, А.М. Пришвин, В.А. Терехов, А.Э. Янчевский : под ред. проф. В.Б. Яковлева. – Л.: изд-во Ленингр. ун-та, 1984. – 204 с.

91. Бессонов, А.А. Методы и средства идентификации динамических объектов / А.А. Бессонов, Ю.В. Загашвили, А.С. Маркелов. - Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. Отд-ние, 1989. - 280 с.

92. Льюнг, Л. Идентификация систем. Теория для пользования / Л. Льюнг. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1991. – 432 с.
93. Чинаев, П.И. Самонастраивающиеся системы. Справочник / П.И. Чинаев. - Киев: Наукова Думка, 1969. – 528 с.
94. Anderson, T.W. On asymptotic distributions of estimated parameters of stochastic difference equations / T.W. Anderson // Ann. Math. Stat. – 1959. – Vol. 30. – P.676-687.
95. Andersson, P. Adaptive forgetting in recursive identification through multiple models / P. Andersson // Int. J. Control – 1985. - Vol. 42. – P.1175-1194.
96. Anscombe, F.J. The examination and analysis of residuals / F.J. Anscombe, J.W. Turkey // Tech-nometric – 1963. - Vol. 5. – p.141-160.
97. Герус, В.Л. Кластеризация путей подгорочного парка для автоматического определения координат отцепов / В.Л. Герус, Д.В. Железнов, Е.М. Тарасов, М.В. Трошина // Наука и образование транспорту : материалы VIII междунар. науч.-практ. конф. – Самара, 2015. - С. 112-115.
98. Герус, В.Л. Методика определения решающей функции в задаче вычисления координаты динамического объекта / В.Л. Герус, Е.М. Тарасов, С.В. Копейкин // Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ-2016): сб. материалов междунар. конф. и молодежной школы - Самара, 2016.
99. Ту, Дж. Принципы распознавания образов / Дж. Ту, Р. Гонсалес. - М.: Мир, 1978. – 412 с.
100. Потапов, А.С. Распознавание образов и машинное восприятие: общий подход на основе принципа минимальной длины описания / А.С. Потапов. - С-Пб.: Политехника, 2007. – 548 с.
101. Ивахненко, А.Г. Техническая кибернетика. Системы автоматического управления с приспособлением характеристик / А.Г. Ивахненко. - Киев.: Техника, 1962. – 422 с.
102. Тарасова, А.Е. Разработка структуры информационной системы для определения скорости скатывающегося вагона / А.Е. Тарасова, Е.М. Тарасов //

Теория и практика научных исследований: материалы Междунар. молодежной науч.-практ. конф. – Астана, Казахстан, 2016. - С.-19-24.

103. Корн, Г. Справочник по математике для научных сотрудников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. - М.: Наука, 1968. - 720с.

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

105. Лаврентьев, М.А. Методы теории функции комплексного переменного / М.А. Лаврентьев, Б.М. Шабат. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит, 1987. - 688с.

106. Цыпкин, Я.З. Адаптация и обучение в автоматических системах / Я.З. Цыпкин. - М.: Наука, 1968.

107. Tapia, R.A. Nonparametric Probability Density Estimation / R.A. Tapia, J.R. Thompson. - Baltimore: The Johns Harpkins University Press, 1978.

108. Хайкин, Саймон. Нейронные сети: полный курс, 2-е изд., испр.; пер. с англ. - М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2006. - 1104 с.

109. Хлытчиев, С.М. Основы автоматики и автоматизации производственных процессов: Учебник для вузов связи / С.В. Хлытчиев, А.С. Ворожцов, И.А. Захаров. – М: Радио и связь, 1985. – 288 с.

110. Герус, В.Л.. Использование решающих функций для определения координаты поезда на участке приближения / В.Л. Герус, А.Е. Тарасова // Наука и образование транспорту: материалы X междунар. науч.-практ. конф. – Самара, 2017. – Т. 1 – С.215-218.

111. Сапожников, В.В Надежность систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи / В.В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, В.И. Шаманов. - М: Маршрут, 2003. – 263 с.

112. Лисенков, В.М. Безопасность технических средств в системах управления движением поездов / В.М. Лисенков. - М.: Транспорт, 1985. – 83 с.

113. Шалягин, Д.В. Надежность и безопасность железнодорожной автоматики и телемеханики / Д.В. Шалягин, И.Б. Шубинский // Автоматика, связь и информатика. — 2005. — №2. - С. 23–26.

114. Федорчук, А.Е. Микропроцессорные технологии управления, диагностирования и технического обслуживания / А.Е. Федорчук, А.А. Сепетый // Автоматика, связь, информатика. – 2004. - №6.

115. Сепетый, А.А. Измерительно-вычислительные средства в системе автоматизации диагностирования и контроля устройств ЖАТ: учебник для вузов железнодорожного транспорта / А.А. Сепетый, В.В. Кольцов, В.С. Прищепа, Ю.В. Снитко, А.Е. Федорчук, В.Н. Иванченко, Е.А. Гоман. - Ростов н/Д: РГУПС, 2009. – 406 с.

116. Сапожников, В.В. Методы построения безопасных микроэлектронных систем железнодорожной автоматики / В.В. Сапожников, Х.А. Христов, Д.В. Гавзов; под ред. Вл. В. Сапожникова. - М.: Транспорт, 1995. – 272 с.

117. Смит, Д. Функциональная безопасность (Простое руководство по применению стандарта МЭК 61508 и связанных с ним стандартов) / Д. Смит, К. Симпсон. - М.: Технологии, 2004.- 206 с.

118. Патент RU 2651379 Устройство управления автоматической переездной сигнализацией / Герус В.Л., Тарасов Е.М., Железнов Д.В. - заявл. 11.04.2016г., опубл. Б.И. 2018г., №11.

119. Переборов, А.С. Телеуправление стрелками и сигналами: Учебник для вузов ж.-д. транспорта / А.С. Переборов, А.М. Брылеев и др. - М.: Транспорт, 1981. – 390 с.

120. Аркатов, В.С. Рельсовые цепи. Анализ и техническое обслуживание. / В.С. Аркатов, Ю.А. Кравцов, Б.М. Степенский. - М.: Транспорт, 1990. – 295 с.

121. CENELEC EN 50128: Railway Applications – Communications, signaling and processing systems - Software for Railway Control and Protection Systems. 2000. Применения на железнодорожном транспорте – Программное обеспечение для систем управления и обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте.

122. CENELEC EN 50129: Railway Applications - Safety-related Electronic Systems for Signaling. 2000. Применения на железнодорожном транспорте - Электронные системы железнодорожного управления и защиты, связанные с безопасностью.

123. IEC 62425(2007) Железные дороги. Системы связи, сигнализации и обработки данных. Безопасность электронных систем сигнализации.

124. IEC 61508: 1-6. Functional safety of electrical / electronic / programmable electronic safety – related systems. 1998 – 2000. Функциональная безопасность электрических / электронных / программируемых электронных систем безопасности.

125. Куммер, П.И. Электронные системы автоматики на зарубежных железных дорогах / П.И. Куммер, Т.В. Коптева. - М.: Транспорт, 1990. – 118 с.

126. Бестемьянов, П.Ф. Методы повышения безопасности микропроцессорных систем интервального регулирования движения поездов : дис. ... докт. техн. наук : 05.22.08 / Петр Филимонович Бестемьянов. – М., 2001. - 324 с.

127. Герус, В.Л. Использование бесконтактных датчиков Холла в безопасных интерфейсах железнодорожной автоматики / В. Л. Герус, Д. В. Железнов, Е. М. Тарасов // Наука и образование транспорту: междунар. науч.-практ. конф. - Самара, 2017. – Т. 1. - С.208-212.

128. Цымбал, А.Л. Структура выходного элемента устройств связи микроЭВМ с объектами управления и контроля / А.Л. Цымбал // Труды ОМИИТа. – 1987. – С. 64-67.

129. А.с. СССР 1017570 Устройство для включения исполнительного реле железнодорожной автоматики / Дрейман О.К., Гавзов Д.В., Бодров А.А. – МКИ В61L 23/16.

130. А.с. СССР 1588615 Мажоритарное устройство управления включением исполнительного реле железнодорожной автоматики и телемеханики / Гавзов Д.В., Илюхин М.В., Сосновская Е.Г. – МКИ В61L 19/14.

131. Наседкин, О.А. Методы повышения безопасности микропроцессорных систем железнодорожной автоматики : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08 / Олег Андреевич Наседкин. - Санкт-Петербург, 1993. - 201 с.

132. Okomura, J. Electronic Interlocking to be Tried in Japan / J. Okomura // Japanese Railway Signaling Engineering. – 1980. - №12. - P. 77-81.

133. Yagi, M.A. Fail-safe digital Data Transmission System / M.A. Yagi // Japanese Railway Signaling Engineering. – 1981. - № 2. - P. 12-16.

134. Lohman, H.I. Sicherhet von Mikrocomputern fuer die Eisenbahnsignaltechnik / H.I. Lohman // Elektronische Rechenanlagen. – 1980. - №2. - P. 58-63.

135. Герус, В.Л. Общие принципы построения и структура системы непрерывного определения координаты поезда на участке приближения к переезду [Текст] / В.Л. Герус, Е.М. Тарасов, А.Е. Тарасова // Молодежная наука в XXI веке: традиции, инновации, векторы развития: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Оренбург, 2018. – Ч. 1.

136. Кугамаи, Т. Принципы построения электронных систем управления переездами / Т. Кугамаи // Quarterly Reports of Railway Technical Research Institute. – 1987. - №1. - С. 13-14.

137. Лейперт, В. Применение электронных систем на железнодорожном транспорте / В. Лейперт // Zev-Glasers Annalen. – 1985. - №1. - С. 9-16.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

КОДЫ СТРАН

В соответствии с конвенциями о дорожном движении 1949 и 1968 годов используются следующие коды стран:

A – Австрия,
B – Бельгия,
BG – Болгария,
CDN – Канада,
CH – Швейцария,
CZ – Чешская Республика,
D – Германия,
DK – Дания,
E – Испания,
EST – Эстония,
F – Франция, FIN – Финляндия,
GB – Соединенное Королевство Великобритании и Северной Ирландии,
GR – Греция,
H – Венгрия,
HR – Хорватия,
I – Италия,
IND – Индия,
IRL – Ирландия,
L – Люксембург,
LT – Литва,
LV – Латвия,
N – Норвегия,
NL – Нидерланды,
P – Португалия,
PL – Польша,
RO – Румыния,
RUS – Российская Федерация,
S – Швеция,
SK – Словакия,
SLO – Словения,
TR – Турция,
USA – Соединенные Штаты Америки.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

**ПРОГРАММА ИССЛЕДОВАНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ КОРРЕЛЯЦИИ
ИНФОРМАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ В ШУНТОВОМ РЕЖИМЕ**

**Программа исследования коэффициентов корреляции
информативных признаков
в шунтовом режиме:**

ORIGIN := 1

Zn := 0.25

jj := 21

Zo := 0.25

j := 1..jj

f := 25

g := 0.02

E := 1

l := 2

xp := $\left| \begin{array}{l} j \leftarrow 1 \\ \text{for } a \in 0..20 \\ \quad \left| \begin{array}{l} xp_j \leftarrow \frac{a}{10} \\ j \leftarrow j + 1 \end{array} \right. \\ xp \end{array} \right.$

Rsh := 0.06

$FV(\text{mod}, \text{arg}) := \text{modexp}\left(\text{arg} \cdot \frac{\pi}{180} i\right)$

Zp := $\left| \begin{array}{l} FV(0.5, 52) \text{ if } f = 25 \\ FV(0.8, 65) \text{ if } f = 50 \\ FV(1.07, 68) \text{ if } f = 75 \\ FV(1.53, 70) \text{ if } f = 125 \\ FV(1.97, 72) \text{ if } f = 175 \\ FV(2.53, 75) \text{ if } f = 225 \\ FV(3.19, 76) \text{ if } f = 275 \\ FV(3.74, 77) \text{ if } f = 325 \\ FV(4.3, 77) \text{ if } f = 375 \\ FV(4.9, 78) \text{ if } f = 425 \\ FV(5.4, 79) \text{ if } f = 475 \\ FV(6.6, 80) \text{ if } f = 725 \end{array} \right.$

$$\gamma := \sqrt{Z_p \cdot g}$$

$$Z_v := \sqrt{\frac{Z_p}{g}}$$

Коэффициенты четырехполюсника длиной l-x:

$$A_{1j} := \cosh[\gamma \cdot (1 - xp_j)]$$

$$B_{1j} := Z_v \cdot \sinh[\gamma \cdot (1 - xp_j)]$$

$$C_{1j} := \frac{\sinh[\gamma \cdot (1 - xp_j)]}{Z_v}$$

$$D_{1j} := A_{1j}$$

Коэффициенты четырехполюсника поездного шунта:

$$A_{sh} := 1$$

$$B_{sh} := 0$$

$$C_{sh} := \frac{1}{R_{sh}}$$

$$D_{sh} := 1$$

Коэффициенты четырехполюсника длиной x:

$$A_{3j} := \cosh(\gamma \cdot xp_j)$$

$$B_{3j} := Z_v \cdot \sinh(\gamma \cdot xp_j)$$

$$C_{3j} := \frac{\sinh(\gamma \cdot xp_j)}{Z_v}$$

$$D_{3j} := A_{3j}$$

Коэффициенты обобщенной матрицы:

$$A_j := A_{1j} \cdot (A_{sh} \cdot A_{3j} + B_{sh} \cdot C_{3j}) + B_{1j} \cdot (C_{sh} \cdot A_{3j} + D_{sh} \cdot C_{3j})$$

$$B_j := A_{1j} \cdot (A_{sh} \cdot B_{3j} + B_{sh} \cdot D_{3j}) + B_{1j} \cdot (C_{sh} \cdot B_{3j} + D_{sh} \cdot D_{3j})$$

$$C_j := C_{1j} \cdot (A_{sh} \cdot A_{3j} + B_{sh} \cdot C_{3j}) + D_{1j} \cdot (C_{sh} \cdot A_{3j} + D_{sh} \cdot C_{3j})$$

$$D_j := C_{1j} \cdot (A_{sh} \cdot B_{3j} + B_{sh} \cdot D_{3j}) + D_{1j} \cdot (C_{sh} \cdot B_{3j} + D_{sh} \cdot D_{3j})$$

Математические модели комплексных амплитуд напряжений и токов на входе РЛ:

$$U1_j := \frac{E \cdot (A_j \cdot Z_n + B_j)}{A_j \cdot Z_n + B_j + C_j \cdot Z_o \cdot Z_n + D_j \cdot Z_o}$$

$$I1_j := \frac{E \cdot (C_j \cdot Z_n + D_j)}{A_j \cdot Z_n + B_j + C_j \cdot Z_o \cdot Z_n + D_j \cdot Z_o}$$

$$\varphi1_j := \arg(U1_j)$$

$$\psi1_j := \arg(I1_j)$$

Преобразование вычисленных данных:

$$\text{Sum}U1 := \frac{\left| \sum_{kk=1}^{21} U1_{kk} \right|}{21}$$

$$\text{Sum}I1 := \frac{\left| \sum_{kk=1}^{21} I1_{kk} \right|}{21}$$

$$\text{Sum}\varphi1 := \frac{\sum_{kk=1}^{21} \varphi1_{kk}}{21}$$

$$\text{Sum}\psi1 := \frac{\sum_{kk=1}^{21} \psi1_{kk}}{21}$$

$$\sigma U1 := \sqrt{\sum_{i=1}^{21} (|U1_i| - \text{Sum}U1)^2}$$

$$\sigma_{\Pi 1} := \sqrt{\sum_{i=1}^{21} (|\Pi_i| - \text{Sum}\Pi 1)^2}$$

$$\sigma_{\varphi 1} := \sqrt{\sum_{i=1}^{21} (\varphi_{1 i} - \text{Sum}\varphi 1)^2}$$

$$\sigma_{\psi 1} := \sqrt{\sum_{i=1}^{21} (\psi_{1 i} - \text{Sum}\psi 1)^2}$$

Вычисление коэффициентов корреляции:

$$r_{U1\varphi 1} := \left(\frac{1}{\sigma_{U1} \cdot \sigma_{\varphi 1}} \right) \cdot \sum_{i=1}^{21} [(|U_{1i}| - \text{Sum}U1) \cdot (\varphi_{1 i} - \text{Sum}\varphi 1)]$$

$$r_{U1\Pi 1} := \left(\frac{1}{\sigma_{U1} \cdot \sigma_{\Pi 1}} \right) \cdot \sum_{i=1}^{21} [(|U_{1i}| - \text{Sum}U1) \cdot (|\Pi_i| - \text{Sum}\Pi 1)]$$

$$r_{U1\psi 1} := \left(\frac{1}{\sigma_{U1} \cdot \sigma_{\psi 1}} \right) \cdot \sum_{i=1}^{21} [(|U_{1i}| - \text{Sum}U1) \cdot (\psi_{1 i} - \text{Sum}\psi 1)]$$

$$r_{\Pi 1\varphi 1} := \left(\frac{1}{\sigma_{\Pi 1} \cdot \sigma_{\varphi 1}} \right) \cdot \sum_{i=1}^{21} [(|\Pi_i| - \text{Sum}\Pi 1) \cdot (\varphi_{1 i} - \text{Sum}\varphi 1)]$$

$$r_{\varphi 1\psi 1} := \left(\frac{1}{\sigma_{\varphi 1} \cdot \sigma_{\psi 1}} \right) \cdot \sum_{i=1}^{21} [(\varphi_{1 i} - \text{Sum}\varphi 1) \cdot (\psi_{1 i} - \text{Sum}\psi 1)]$$

$$r_{\Pi 1\psi 1} := \left(\frac{1}{\sigma_{\Pi 1} \cdot \sigma_{\psi 1}} \right) \cdot \sum_{i=1}^{21} [(|\Pi_i| - \text{Sum}\Pi 1) \cdot (\psi_{1 i} - \text{Sum}\psi 1)]$$

ПРИЛОЖЕНИЕ В

ТАБЛИЦА КОЭФФИЦИЕНТОВ КОРРЕЛЯЦИИ

Таблица В.1 - Коэффициенты корреляции сочетаний информативных признаков рельсового четырехполюсника при $l = 2$ км; $f = 25$ Гц

Обозначение сочетаний в соответствии с рис. 3.4	Сочетание признаков	Коэффициент корреляции
r_{12}	U_1, φ_1	-0.284
r_{13}	U_1, I_1	-0.995
r_{14}	U_1, ψ_1	-1
r_{23}	φ_1, I_1	0.343
r_{24}	φ_1, ψ_1	0.288
r_{34}	I_1, ψ_1	0.997

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

**ПРОГРАММА ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ПЕРВИЧНЫХ
ИНФОРМАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ - КОМПЛЕКСНЫХ АМПЛИТУД
НАПРЯЖЕНИЯ И ТОКА НА ВХОДЕ РЕЛЬСОВОЙ ЛИНИИ**

Ввод исходных данных:

ORIGIN := 1

Zn := 0.25

l := 2

Zo := 0.25

n := 10

f := 25

p := 1..n

E := 1

jj := 21

Rsh := 0.06

j := 1..jj

FV(mod, arg) := mod exp $\left(\arg \cdot \frac{\pi}{180} i\right)$

Zp := FV(0.5, 52)

g := $\left| \begin{array}{l} p \leftarrow 1 \\ \text{for } a \in 1..40 \\ \left| \begin{array}{l} g_p \leftarrow \frac{a}{10} \\ p \leftarrow p + 1 \end{array} \right. \\ \left| g \end{array} \right.$

xp := $\left| \begin{array}{l} j \leftarrow 1 \\ \text{for } a \in 0..20 \\ \left| \begin{array}{l} xp_j \leftarrow \frac{a}{10} \\ j \leftarrow j + 1 \end{array} \right. \\ \left| xp \end{array} \right.$

$$\gamma_p := \sqrt{Z_p \cdot g_p}$$

$$Z_{vp} := \sqrt{\frac{Z_p}{g_p}}$$

Коэффициенты четырехполюсника длиной l-х:

$$A_{1p,j} := \cosh[\gamma_p \cdot (1 - xp_j)]$$

$$B_{1p,j} := Z_{vp} \cdot \sinh[\gamma_p \cdot (1 - xp_j)]$$

$$C_{1p,j} := \frac{\sinh[\gamma_p \cdot (1 - xp_j)]}{Z_{vp}}$$

$$D_{1p,j} := A_{1p,j}$$

Коэффициенты четырехполюсника поездного шунта:

$$A_{sh} := 1$$

$$B_{sh} := 0$$

$$C_{sh} := \frac{1}{R_{sh}}$$

$$D_{sh} := 1$$

Коэффициенты четырехполюсника длиной x :

$$\begin{aligned} A_{3p,j} &:= \cosh(\gamma_p \cdot xp_j) & B_{3p,j} &:= Z_{vp} \cdot \sinh(\gamma_p \cdot xp_j) \\ C_{3p,j} &:= \frac{\sinh(\gamma_p \cdot xp_j)}{Z_{vp}} & D_{3p,j} &:= A_{3p,j} \end{aligned}$$

Коэффициенты обобщенного четырехполюсника:

$$\begin{aligned} A_{p,j} &:= A_{1p,j} \cdot (A_{sh} \cdot A_{3p,j} + B_{sh} \cdot C_{3p,j}) + B_{1p,j} (C_{sh} \cdot A_{3p,j} + D_{sh} \cdot C_{3p,j}) \\ B_{p,j} &:= A_{1p,j} \cdot (A_{sh} \cdot B_{3p,j} + B_{sh} \cdot D_{3p,j}) + B_{1p,j} (C_{sh} \cdot B_{3p,j} + D_{sh} \cdot D_{3p,j}) \\ C_{p,j} &:= C_{1p,j} \cdot (A_{sh} \cdot A_{3p,j} + B_{sh} \cdot C_{3p,j}) + D_{1p,j} (C_{sh} \cdot A_{3p,j} + D_{sh} \cdot C_{3p,j}) \\ D_{p,j} &:= C_{1p,j} \cdot (A_{sh} \cdot B_{3p,j} + B_{sh} \cdot D_{3p,j}) + D_{1p,j} (C_{sh} \cdot B_{3p,j} + D_{sh} \cdot D_{3p,j}) \end{aligned}$$

Математические модели комплексных амплитуд напряжений и токов на входе четырехполюсника:

$$\begin{aligned} U_{1p,j} &:= \frac{E \cdot (A_{p,j} \cdot Z_n + B_{p,j})}{A_{p,j} \cdot Z_n + B_{p,j} + C_{p,j} \cdot Z_o \cdot Z_n + D_{p,j} \cdot Z_o} \\ I_{1p,j} &:= \frac{E \cdot (C_{p,j} \cdot Z_n + D_{p,j})}{A_{p,j} \cdot Z_n + B_{p,j} + C_{p,j} \cdot Z_o \cdot Z_n + D_{p,j} \cdot Z_o} \end{aligned}$$

Формирование массива максимальных и минимальных значений амплитуд напряжений на входе четырехполюсника:

$x := j$

$$\begin{aligned} ARGU_{1p,j} &:= \frac{\arg(U_{1p,j})}{\text{deg}} & ARG I_{1p,j} &:= \frac{\arg(I_{1p,j})}{\text{deg}} \\ MAXU_{1j} &:= \max(U_{1j}) & U_{1Smaxj} &:= |MAXU_{1j}| \\ MINU_{1j} &:= \min(U_{1j}) & U_{1Sminj} &:= |MINU_{1j}| \end{aligned}$$

Формирование массива максимальных и минимальных значений фаз напряжений на входе
четырёхполюсника:

$$\text{MAXARGU1}_j := \max(\text{ARGU1}^{\langle j \rangle}) \quad \text{argU1Smax}_j := \text{MAXARGU1}_j$$

$$\text{MINARGU1}_j := \min(\text{ARGU1}^{\langle j \rangle}) \quad \text{argU1Smin}_j := \text{MINARGU1}_j$$

Формирование массива максимальных и минимальных значений амплитуд токов на входе
четырёхполюсника:

$$\text{MAXI1}_j := \max(I1^{\langle j \rangle}) \quad I1Smax_j := |\text{MAXI1}_j|$$

$$\text{MINI1}_j := \min(I1^{\langle j \rangle}) \quad I1Smin_j := |\text{MINI1}_j|$$

Формирование массива максимальных и минимальных значений фаз токов на входе
четырёхполюсника:

$$\text{MAXARGI1}_j := \max(\text{ARGI1}^{\langle j \rangle}) \quad \text{argI1Smax}_j := \text{MAXARGI1}_j$$

$$\text{MINARGI1}_j := \min(\text{ARGI1}^{\langle j \rangle}) \quad \text{argI1Smin}_j := \text{MINARGI1}_j$$

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

**ТАБЛИЦЫ И ГРАФИКИ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТОВ
МИНИМАЛЬНЫХ И МАКСИМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ
ИНФОРМАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ**

Таблица Д.1 - Минимальные и максимальные значения напряжений на входе рельсовой линии участка приближения от координат поезда и проводимостей изоляции ($l = 2$ км; $f = 25$ Гц)

x - координаты поезда, км	$U1 \max, B$	$U1 \min, B$
0	0.842	0.603
0.1	0.836	0.603
0.2	0.829	0.604
0.3	0.821	0.604
0.4	0.813	0.604
0.5	0.803	0.605
0.6	0.792	0.604
0.7	0.78	0.604
0.8	0.766	0.602
0.9	0.75	0.6
1	0.732	0.596
1.1	0.71	0.59
1.2	0.685	0.581
1.3	0.655	0.568
1.4	0.619	0.549
1.5	0.576	0.522
1.6	0.524	0.485
1.7	0.459	0.433
1.8	0.38	0.363
1.9	0.287	0.272
2	0.187	0.172

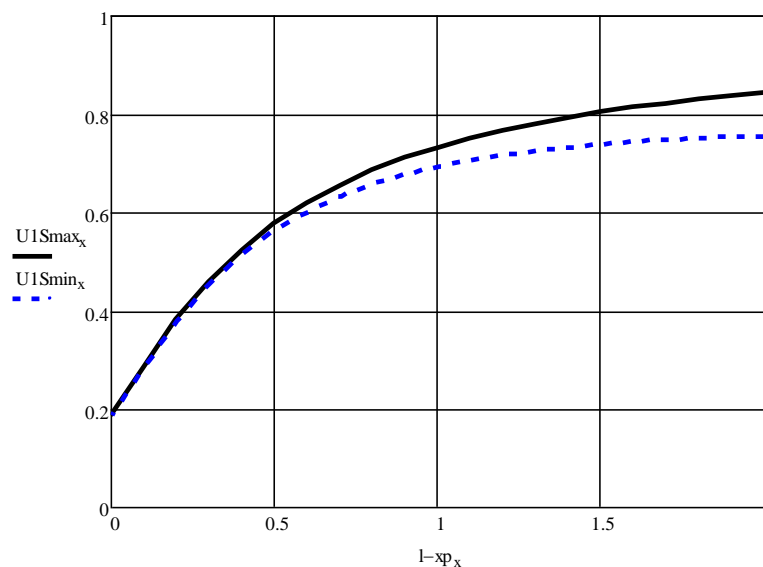


Рисунок Д.1 - Графики максимальных и минимальных значений напряжения на входе рельсовой линии в зависимости от координаты шунта и проводимости изоляции при частоте сигнального тока 25 Гц

Таблица Д.2 -Результаты исследования изменения напряжения на входе рельсовой линии участка приближения от координат поезда и проводимостей изоляции ($l = 2$ км; $f = 25$ Гц)

		x - координаты поезда, км									
		0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
g – проводимости изоляции участка приближения	0.1	0.842	0.836	0.829	0.821	0.813	0.803	0.792	0.78	0.766	0.75
	0.2	0.83	0.825	0.819	0.812	0.804	0.795	0.785	0.773	0.76	0.745
	0.3	0.819	0.814	0.809	0.803	0.795	0.787	0.778	0.767	0.754	0.74
	0.4	0.808	0.804	0.799	0.794	0.787	0.779	0.771	0.76	0.748	0.734
	0.5	0.798	0.795	0.79	0.785	0.779	0.772	0.764	0.754	0.743	0.729
	0.6	0.788	0.785	0.781	0.777	0.771	0.765	0.757	0.748	0.737	0.724
	0.7	0.779	0.776	0.773	0.769	0.764	0.758	0.751	0.742	0.732	0.72
	0.8	0.77	0.768	0.765	0.761	0.756	0.751	0.744	0.736	0.727	0.715
	0.9	0.762	0.76	0.757	0.754	0.749	0.744	0.738	0.731	0.721	0.71
	1.0	0.753	0.752	0.749	0.746	0.743	0.738	0.732	0.725	0.716	0.706
	1.1	0.746	0.744	0.742	0.739	0.736	0.732	0.726	0.72	0.711	0.701
	1.2	0.738	0.737	0.735	0.732	0.729	0.725	0.721	0.714	0.706	0.697
	1.3	0.731	0.73	0.728	0.726	0.723	0.72	0.715	0.709	0.702	0.692
	1.4	0.724	0.723	0.721	0.72	0.717	0.714	0.71	0.704	0.697	0.688
	1.5	0.717	0.716	0.715	0.713	0.711	0.708	0.704	0.699	0.692	0.684
	1.6	0.71	0.71	0.709	0.707	0.705	0.703	0.699	0.694	0.688	0.68
	1.7	0.704	0.704	0.703	0.702	0.7	0.697	0.694	0.69	0.684	0.676
	1.8	0.698	0.698	0.697	0.696	0.694	0.692	0.689	0.685	0.679	0.672
	1.9	0.692	0.692	0.691	0.691	0.689	0.687	0.684	0.68	0.675	0.668
	2.0	0.687	0.686	0.686	0.685	0.684	0.682	0.68	0.676	0.671	0.664
	2.1	0.681	0.681	0.681	0.68	0.679	0.677	0.675	0.672	0.667	0.661
	2.2	0.676	0.676	0.676	0.675	0.674	0.673	0.671	0.667	0.663	0.657
	2.3	0.671	0.671	0.671	0.67	0.669	0.668	0.666	0.663	0.659	0.653
	2.4	0.666	0.666	0.666	0.666	0.665	0.664	0.662	0.659	0.655	0.65
	2.5	0.661	0.661	0.661	0.661	0.66	0.659	0.658	0.655	0.651	0.646
	2.6	0.656	0.656	0.657	0.656	0.656	0.655	0.654	0.651	0.648	0.643

	2.7	0.652	0.652	0.652	0.652	0.652	0.651	0.65	0.647	0.644	0.639
	2.8	0.647	0.648	0.648	0.648	0.648	0.647	0.646	0.644	0.641	0.636
	2.9	0.643	0.643	0.644	0.644	0.643	0.643	0.642	0.64	0.637	0.633
	3.0	0.639	0.639	0.64	0.64	0.64	0.639	0.638	0.636	0.634	0.63
	3.1	0.635	0.635	0.636	0.636	0.636	0.635	0.634	0.633	0.63	0.626
	3.2	0.631	0.631	0.632	0.632	0.632	0.632	0.631	0.629	0.627	0.623
	3.3	0.627	0.628	0.628	0.628	0.628	0.628	0.627	0.626	0.624	0.62
	3.4	0.623	0.624	0.624	0.624	0.625	0.624	0.624	0.623	0.621	0.617
	3.5	0.62	0.62	0.621	0.621	0.621	0.621	0.62	0.619	0.617	0.614
	3.6	0.616	0.617	0.617	0.617	0.618	0.617	0.617	0.616	0.614	0.611
	3.7	0.613	0.613	0.614	0.614	0.614	0.614	0.614	0.613	0.611	0.608
	3.8	0.609	0.61	0.61	0.611	0.611	0.611	0.611	0.61	0.608	0.606
	3.9	0.606	0.607	0.607	0.607	0.608	0.608	0.607	0.607	0.605	0.603
	4.0	0.603	0.603	0.604	0.604	0.604	0.605	0.604	0.604	0.602	0.6

		x - координаты поезда, км										
		1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
g – проводимости изоляции участка приближения	0.1	0.732	0.71	0.685	0.655	0.619	0.576	0.524	0.459	0.38	0.286	0.187
	0.2	0.727	0.706	0.682	0.652	0.617	0.575	0.523	0.458	0.38	0.285	0.186
	0.3	0.722	0.702	0.678	0.65	0.615	0.573	0.521	0.458	0.379	0.285	0.186
	0.4	0.718	0.698	0.675	0.647	0.613	0.571	0.52	0.457	0.379	0.284	0.185
	0.5	0.714	0.695	0.672	0.644	0.611	0.57	0.519	0.456	0.378	0.284	0.185
	0.6	0.709	0.691	0.669	0.642	0.609	0.568	0.518	0.455	0.378	0.283	0.184
	0.7	0.705	0.687	0.666	0.639	0.607	0.567	0.517	0.455	0.377	0.283	0.184
	0.8	0.701	0.683	0.662	0.637	0.605	0.565	0.516	0.454	0.377	0.283	0.183
	0.9	0.697	0.68	0.659	0.634	0.603	0.564	0.515	0.453	0.376	0.282	0.183
	1.0	0.693	0.676	0.656	0.632	0.601	0.562	0.514	0.452	0.376	0.282	0.182
	1.1	0.689	0.673	0.653	0.629	0.599	0.561	0.513	0.452	0.375	0.281	0.182
	1.2	0.685	0.669	0.65	0.627	0.597	0.559	0.512	0.451	0.375	0.281	0.181
	1.3	0.681	0.666	0.648	0.624	0.595	0.558	0.51	0.45	0.374	0.281	0.181
	1.4	0.677	0.663	0.645	0.622	0.593	0.556	0.509	0.45	0.374	0.28	0.18
	1.5	0.673	0.659	0.642	0.62	0.591	0.555	0.508	0.449	0.373	0.28	0.18

1.6	0.67	0.656	0.639	0.617	0.589	0.553	0.507	0.448	0.373	0.28	0.179
1.7	0.666	0.653	0.636	0.615	0.587	0.552	0.506	0.448	0.372	0.279	0.179
1.8	0.662	0.65	0.634	0.613	0.586	0.551	0.505	0.447	0.372	0.279	0.179
1.9	0.659	0.647	0.631	0.61	0.584	0.549	0.504	0.446	0.372	0.279	0.178
2.0	0.655	0.644	0.628	0.608	0.582	0.548	0.503	0.446	0.371	0.278	0.178
2.1	0.652	0.641	0.626	0.606	0.58	0.546	0.502	0.445	0.371	0.278	0.178
2.2	0.649	0.638	0.623	0.604	0.578	0.545	0.501	0.444	0.37	0.278	0.177
2.3	0.645	0.635	0.62	0.602	0.577	0.544	0.5	0.444	0.37	0.277	0.177
2.4	0.642	0.632	0.618	0.599	0.575	0.542	0.499	0.443	0.369	0.277	0.177
2.5	0.639	0.629	0.615	0.597	0.573	0.541	0.498	0.442	0.369	0.277	0.176
2.6	0.636	0.626	0.613	0.595	0.571	0.54	0.497	0.442	0.369	0.277	0.176
2.7	0.633	0.623	0.611	0.593	0.57	0.538	0.497	0.441	0.368	0.276	0.176
2.8	0.63	0.621	0.608	0.591	0.568	0.537	0.496	0.44	0.368	0.276	0.175
2.9	0.627	0.618	0.606	0.589	0.566	0.536	0.495	0.44	0.367	0.276	0.175
3.0	0.624	0.615	0.603	0.587	0.565	0.535	0.494	0.439	0.367	0.275	0.175
3.1	0.621	0.613	0.601	0.585	0.563	0.533	0.493	0.438	0.367	0.275	0.174
3.2	0.618	0.61	0.599	0.583	0.561	0.532	0.492	0.438	0.366	0.275	0.174
3.3	0.615	0.607	0.596	0.581	0.56	0.531	0.491	0.437	0.366	0.275	0.174
3.4	0.612	0.605	0.594	0.579	0.558	0.529	0.49	0.437	0.366	0.274	0.174
3.5	0.609	0.602	0.592	0.577	0.557	0.528	0.489	0.436	0.365	0.274	0.173
3.6	0.607	0.6	0.59	0.575	0.555	0.527	0.488	0.435	0.365	0.274	0.173
3.7	0.604	0.597	0.588	0.573	0.554	0.526	0.487	0.435	0.364	0.274	0.173
3.8	0.601	0.595	0.585	0.572	0.552	0.525	0.486	0.434	0.364	0.273	0.173
3.9	0.599	0.593	0.583	0.57	0.55	0.523	0.486	0.434	0.364	0.273	0.172
4.0	0.596	0.59	0.581	0.568	0.549	0.522	0.485	0.433	0.363	0.273	0.172

Таблица Д.3 - Минимальные и максимальные значения фазы напряжений на входе рельсовой линии участка приближения от координат поезда и проводимостей изоляции ($l = 2$ км; $f = 25$ Гц)

x - координаты поезда, км	argU1 max, В	argU1 min, В
0	10.847	8.827
0.1	10.91	9.154
0.2	10.996	9.507
0.3	11.113	9.887
0.4	11.268	10.3
0.5	11.471	10.748
0.6	11.734	11.235
0.7	12.321	11.766
0.8	12.991	12.346
0.9	13.729	12.982
1	14.546	13.679
1.1	15.45	14.478
1.2	16.448	15.439
1.3	17.545	16.58
1.4	18.731	17.906
1.5	19.974	19.397
1.6	21.173	20.97
1.7	22.372	22.053
1.8	22.86	21.861
1.9	19.959	18.173
2	3.081	1.576

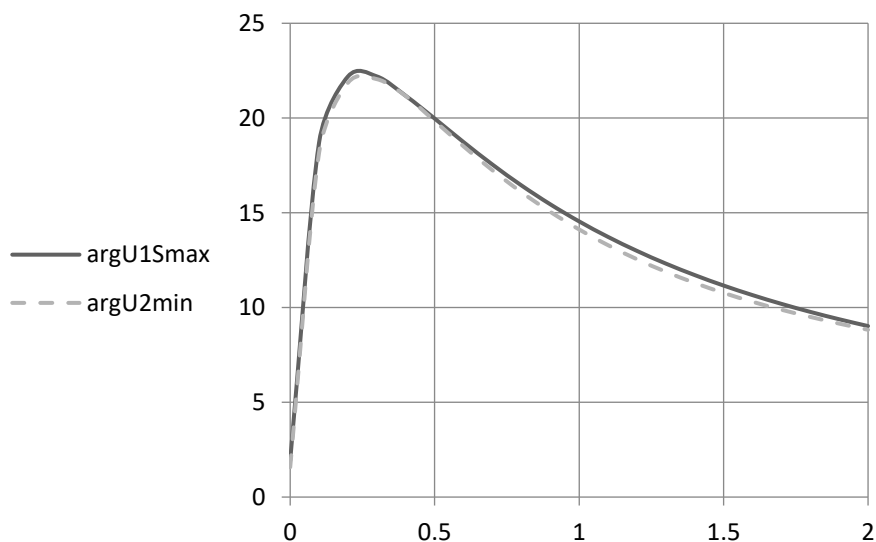


Рисунок Д.2 - Графики максимальных и минимальных значений фазы напряжения на входе рельсовой линии в зависимости от координаты шунта и проводимости изоляции при частоте сигнального тока 25 Гц

Таблица Д.4 - Результаты исследования изменения фазы напряжения на входе рельсовой линии участка приближения от координат поезда и проводимостей изоляции ($l = 2$ км; $f = 25$ Гц)

		x - координаты поезда, км									
		0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
g – проводимости изоляции участка приближения	0.1	9.023	9.383	9.772	10.196	10.657	11.161	11.714	12.321	12.991	13.729
	0.2	8.952	9.31	9.699	10.122	10.583	11.089	11.643	12.253	12.925	13.667
	0.3	8.898	9.253	9.639	10.06	10.52	11.025	11.579	12.19	12.864	13.609
	0.4	8.861	9.21	9.592	10.009	10.466	10.969	11.522	12.133	12.808	13.555
	0.5	8.837	9.18	9.556	9.968	10.421	10.921	11.472	12.081	12.755	13.503
	0.6	8.827	9.162	9.53	9.936	10.384	10.879	11.427	12.034	12.707	13.455
	0.7	8.828	9.154	9.514	9.913	10.355	10.844	11.388	11.991	12.663	13.41
	0.8	8.838	9.155	9.507	9.897	10.332	10.816	11.354	11.953	12.622	13.368
	0.9	8.858	9.165	9.507	9.889	10.316	10.792	11.325	11.92	12.585	13.328
	1.0	8.886	9.182	9.514	9.887	10.305	10.774	11.3	11.89	12.551	13.292
	1.1	8.92	9.205	9.527	9.891	10.3	10.761	11.28	11.864	12.52	13.258
	1.2	8.96	9.235	9.546	9.9	10.3	10.753	11.264	11.841	12.492	13.226
	1.3	9.006	9.269	9.571	9.914	10.305	10.748	11.252	11.822	12.467	13.197
	1.4	9.056	9.309	9.599	9.932	10.313	10.748	11.243	11.806	12.445	13.17
	1.5	9.11	9.352	9.632	9.955	10.326	10.751	11.237	11.792	12.425	13.145
	1.6	9.168	9.4	9.669	9.981	10.342	10.757	11.235	11.782	12.408	13.122
	1.7	9.229	9.45	9.709	10.011	10.361	10.767	11.235	11.774	12.393	13.101
	1.8	9.292	9.503	9.751	10.043	10.383	10.78	11.239	11.769	12.381	13.083
	1.9	9.357	9.558	9.797	10.078	10.408	10.795	11.245	11.766	12.37	13.066
	2.0	9.425	9.616	9.845	10.116	10.436	10.812	11.253	11.766	12.362	13.051
	2.1	9.493	9.675	9.894	10.156	10.466	10.832	11.263	11.767	12.355	13.037
	2.2	9.563	9.736	9.946	10.197	10.498	10.854	11.276	11.771	12.35	13.025
	2.3	9.634	9.799	9.999	10.241	10.532	10.879	11.29	11.776	12.348	13.015
	2.4	9.706	9.862	10.053	10.286	10.567	10.904	11.307	11.784	12.346	13.006
	2.5	9.778	9.926	10.109	10.332	10.604	10.932	11.325	11.793	12.347	12.999
	2.6	9.851	9.991	10.165	10.38	10.643	10.961	11.344	11.803	12.348	12.993

	2.7	9.923	10.056	10.223	10.429	10.682	10.991	11.365	11.815	12.352	12.988
	2.8	9.996	10.122	10.281	10.479	10.723	11.023	11.388	11.828	12.356	12.985
	2.9	10.069	10.189	10.34	10.529	10.765	11.056	11.412	11.843	12.362	12.983
	3.0	10.142	10.255	10.399	10.581	10.808	11.09	11.436	11.859	12.369	12.982
	3.1	10.215	10.321	10.458	10.632	10.852	11.125	11.462	11.876	12.377	12.982
	3.2	10.287	10.388	10.518	10.685	10.896	11.161	11.49	11.894	12.387	12.983
	3.3	10.359	10.454	10.578	10.738	10.941	11.198	11.518	11.913	12.397	12.985
	3.4	10.43	10.52	10.638	10.791	10.987	11.235	11.546	11.933	12.409	12.988
	3.5	10.501	10.586	10.698	10.844	11.033	11.273	11.576	11.954	12.421	12.992
	3.6	10.572	10.651	10.758	10.898	11.079	11.312	11.606	11.976	12.434	12.997
	3.7	10.642	10.717	10.818	10.951	11.126	11.351	11.638	11.999	12.448	13.003
	3.8	10.711	10.782	10.877	11.005	11.173	11.391	11.669	12.022	12.463	13.01
	3.9	10.78	10.846	10.937	11.059	11.22	11.431	11.702	12.046	12.479	13.017
	4.0	10.847	10.91	10.996	11.113	11.268	11.471	11.734	12.071	12.495	13.026

		x - координаты поезда, км										
		1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
g – проводимости изоляции участка приближения	0.1	14.546	15.45	16.448	17.545	18.731	19.974	21.171	22.053	21.861	18.173	1.576
	0.2	14.489	15.399	16.404	17.509	18.705	19.96	21.172	22.072	21.902	18.237	1.609
	0.3	14.435	15.349	16.361	17.473	18.68	19.946	21.173	22.09	21.942	18.299	1.644
	0.4	14.383	15.302	16.319	17.439	18.654	19.932	21.173	22.108	21.981	18.361	1.681
	0.5	14.334	15.256	16.278	17.405	18.629	19.917	21.172	22.125	22.019	18.422	1.719
	0.6	14.287	15.212	16.239	17.371	18.604	19.903	21.171	22.141	22.056	18.481	1.759
	0.7	14.242	15.17	16.2	17.339	18.579	19.888	21.17	22.156	22.092	18.54	1.8
	0.8	14.2	15.129	16.163	17.307	18.554	19.874	21.168	22.17	22.127	18.598	1.841
	0.9	14.16	15.09	16.127	17.275	18.53	19.859	21.166	22.184	22.161	18.654	1.883
	1.0	14.122	15.053	16.092	17.244	18.506	19.844	21.163	22.197	22.194	18.709	1.926
	1.1	14.087	15.017	16.058	17.214	18.482	19.829	21.16	22.21	22.226	18.764	1.968
	1.2	14.053	14.982	16.025	17.185	18.458	19.814	21.157	22.222	22.257	18.817	2.011
	1.3	14.021	14.949	15.993	17.156	18.435	19.799	21.153	22.233	22.288	18.869	2.054
	1.4	13.99	14.918	15.962	17.128	18.412	19.784	21.149	22.244	22.317	18.92	2.097
	1.5	13.962	14.888	15.932	17.1	18.389	19.769	21.144	22.254	22.346	18.97	2.139

1.6	13.935	14.859	15.902	17.073	18.366	19.753	21.14	22.263	22.374	19.019	2.182
1.7	13.91	14.831	15.874	17.046	18.344	19.738	21.135	22.272	22.401	19.068	2.224
1.8	13.887	14.805	15.847	17.02	18.322	19.723	21.13	22.281	22.427	19.115	2.266
1.9	13.865	14.78	15.821	16.995	18.3	19.708	21.124	22.289	22.453	19.161	2.307
2.0	13.845	14.756	15.795	16.97	18.279	19.692	21.118	22.296	22.477	19.206	2.348
2.1	13.826	14.733	15.77	16.946	18.258	19.677	21.112	22.303	22.502	19.251	2.389
2.2	13.808	14.711	15.746	16.922	18.237	19.662	21.106	22.31	22.525	19.294	2.429
2.3	13.792	14.69	15.723	16.899	18.216	19.647	21.1	22.316	22.548	19.337	2.469
2.4	13.777	14.671	15.701	16.876	18.196	19.632	21.093	22.322	22.571	19.379	2.509
2.5	13.763	14.652	15.68	16.854	18.175	19.617	21.087	22.327	22.592	19.42	2.548
2.6	13.75	14.635	15.659	16.833	18.156	19.601	21.08	22.333	22.613	19.461	2.586
2.7	13.739	14.618	15.639	16.812	18.136	19.586	21.073	22.337	22.634	19.5	2.625
2.8	13.729	14.602	15.62	16.791	18.117	19.571	21.066	22.342	22.654	19.539	2.662
2.9	13.72	14.588	15.601	16.771	18.098	19.556	21.058	22.346	22.674	19.578	2.7
3.0	13.711	14.574	15.583	16.751	18.079	19.542	21.051	22.349	22.693	19.615	2.736
3.1	13.704	14.561	15.566	16.732	18.06	19.527	21.043	22.353	22.712	19.652	2.773
3.2	13.698	14.548	15.549	16.713	18.042	19.512	21.035	22.356	22.73	19.689	2.809
3.3	13.693	14.537	15.533	16.695	18.024	19.497	21.028	22.359	22.747	19.724	2.844
3.4	13.689	14.526	15.518	16.677	18.006	19.483	21.02	22.362	22.765	19.76	2.879
3.5	13.685	14.516	15.503	16.66	17.989	19.468	21.012	22.364	22.782	19.794	2.914
3.6	13.682	14.507	15.489	16.643	17.972	19.454	21.004	22.366	22.798	19.828	2.948
3.7	13.681	14.499	15.476	16.626	17.955	19.44	20.995	22.368	22.814	19.862	2.982
3.8	13.68	14.491	15.463	16.61	17.938	19.425	20.987	22.37	22.83	19.894	3.015
3.9	13.679	14.484	15.451	16.595	17.922	19.411	20.979	22.371	22.845	19.927	3.048
4.0	13.68	14.478	15.439	16.58	17.906	19.397	20.97	22.372	22.86	19.959	3.081

Таблица Д.5 - Минимальные и максимальные значения тока на входе рельсовой линии участка приближения от координат поезда и проводимостей изоляции ($l = 2$ км; $f = 25$ Гц)

x - координаты поезда, км	I_{max} , В	I_{min} , В
0	1.692	0.857
0.1	1.693	0.889
0.2	1.693	0.924
0.3	1.694	0.962
0.4	1.696	1.005
0.5	1.7	1.051
0.6	1.705	1.103
0.7	1.714	1.161
0.8	1.728	1.226
0.9	1.747	1.298
1	1.775	1.379
1.1	1.813	1.471
1.2	1.865	1.576
1.3	1.935	1.697
1.4	2.026	1.835
1.5	2.145	1.996
1.6	2.297	2.182
1.7	2.487	2.399
1.8	2.72	2.65
1.9	2.995	2.938
2	3.313	3.252

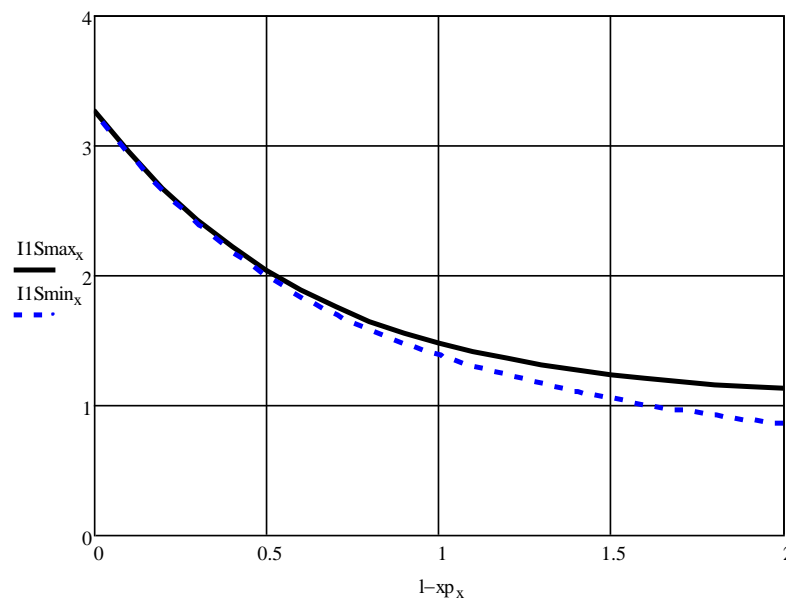


Рисунок Д.3 - Графики максимальных и минимальных значений тока на входе рельсовой линии в зависимости от координаты шунта и проводимости изоляции при частоте сигнального тока 25 Гц

Таблица Д.6 - Результаты исследования изменения тока на входе рельсовой линии участка приближения от координат поезда и проводимостей изоляции ($l = 2$ км; $f = 25$ Гц)

		x - координаты поезда, км									
		0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
g – проводимости изоляции участка приближения	0.1	0.857	0.889	0.924	0.962	1.005	1.051	1.103	1.161	1.226	1.298
	0.2	0.886	0.916	0.949	0.986	1.026	1.071	1.121	1.177	1.24	1.31
	0.3	0.916	0.944	0.975	1.009	1.048	1.091	1.139	1.193	1.254	1.323
	0.4	0.947	0.972	1.001	1.033	1.07	1.111	1.157	1.209	1.268	1.335
	0.5	0.977	1.001	1.027	1.058	1.092	1.131	1.175	1.225	1.282	1.348
	0.6	1.007	1.029	1.054	1.082	1.114	1.151	1.193	1.242	1.297	1.36
	0.7	1.037	1.057	1.08	1.106	1.136	1.171	1.212	1.258	1.311	1.373
	0.8	1.066	1.084	1.105	1.13	1.158	1.191	1.23	1.274	1.326	1.386
	0.9	1.095	1.111	1.131	1.153	1.18	1.211	1.248	1.291	1.34	1.398
	1.0	1.123	1.138	1.156	1.177	1.202	1.231	1.266	1.307	1.355	1.411
	1.1	1.151	1.164	1.18	1.2	1.223	1.251	1.284	1.323	1.369	1.424
	1.2	1.178	1.19	1.204	1.222	1.244	1.27	1.301	1.339	1.383	1.436
	1.3	1.204	1.215	1.228	1.245	1.265	1.289	1.319	1.355	1.397	1.449
	1.4	1.229	1.239	1.251	1.266	1.285	1.308	1.336	1.37	1.412	1.461
	1.5	1.254	1.262	1.274	1.288	1.305	1.327	1.353	1.386	1.425	1.473
	1.6	1.278	1.285	1.296	1.308	1.325	1.345	1.37	1.401	1.439	1.486
	1.7	1.301	1.308	1.317	1.329	1.344	1.363	1.387	1.416	1.453	1.498
	1.8	1.324	1.33	1.338	1.349	1.363	1.381	1.403	1.432	1.467	1.51
	1.9	1.346	1.351	1.359	1.369	1.382	1.398	1.42	1.446	1.48	1.522
	2.0	1.367	1.372	1.379	1.388	1.4	1.415	1.435	1.461	1.493	1.534
	2.1	1.388	1.392	1.398	1.406	1.418	1.432	1.451	1.476	1.506	1.546
	2.2	1.408	1.412	1.417	1.425	1.435	1.449	1.467	1.49	1.519	1.557
	2.3	1.428	1.431	1.436	1.443	1.452	1.465	1.482	1.504	1.532	1.569
	2.4	1.447	1.45	1.454	1.46	1.469	1.481	1.497	1.518	1.545	1.58
	2.5	1.465	1.468	1.472	1.477	1.485	1.497	1.512	1.531	1.558	1.592
	2.6	1.483	1.485	1.489	1.494	1.502	1.512	1.526	1.545	1.57	1.603

	2.7	1.501	1.503	1.506	1.51	1.517	1.527	1.54	1.558	1.582	1.614
	2.8	1.518	1.52	1.522	1.527	1.533	1.542	1.554	1.571	1.594	1.625
	2.9	1.535	1.536	1.538	1.542	1.548	1.556	1.568	1.584	1.606	1.636
	3.0	1.551	1.552	1.554	1.558	1.563	1.571	1.582	1.597	1.618	1.646
	3.1	1.567	1.568	1.569	1.573	1.577	1.585	1.595	1.61	1.63	1.657
	3.2	1.582	1.583	1.585	1.587	1.592	1.598	1.608	1.622	1.641	1.667
	3.3	1.597	1.598	1.599	1.602	1.606	1.612	1.621	1.634	1.653	1.678
	3.4	1.612	1.612	1.614	1.616	1.619	1.625	1.634	1.646	1.664	1.688
	3.5	1.626	1.627	1.628	1.629	1.633	1.638	1.646	1.658	1.675	1.698
	3.6	1.641	1.641	1.641	1.643	1.646	1.651	1.658	1.67	1.686	1.708
	3.7	1.654	1.654	1.655	1.656	1.659	1.663	1.67	1.681	1.696	1.718
	3.8	1.668	1.668	1.668	1.669	1.671	1.676	1.682	1.692	1.707	1.728
	3.9	1.681	1.681	1.681	1.682	1.684	1.688	1.694	1.703	1.717	1.738
	4.0	1.694	1.693	1.693	1.694	1.696	1.7	1.705	1.714	1.728	1.747

		x - координаты поезда, км										
		1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
g – проводимости изоляции участка приближения	0.1	1.379	1.471	1.576	1.697	1.835	1.996	2.182	2.399	2.649	2.936	3.252
	0.2	1.39	1.481	1.584	1.703	1.841	2	2.185	2.401	2.652	2.938	3.255
	0.3	1.401	1.49	1.592	1.71	1.846	2.004	2.189	2.404	2.654	2.94	3.257
	0.4	1.412	1.499	1.6	1.716	1.851	2.009	2.192	2.407	2.657	2.943	3.26
	0.5	1.423	1.509	1.608	1.723	1.857	2.013	2.196	2.41	2.659	2.945	3.262
	0.6	1.434	1.518	1.616	1.729	1.862	2.017	2.199	2.413	2.661	2.947	3.264
	0.7	1.445	1.527	1.623	1.736	1.867	2.021	2.202	2.415	2.664	2.949	3.266
	0.8	1.455	1.537	1.631	1.742	1.872	2.025	2.206	2.418	2.666	2.951	3.268
	0.9	1.466	1.546	1.639	1.749	1.877	2.029	2.209	2.42	2.668	2.953	3.27
	1.0	1.477	1.555	1.647	1.755	1.883	2.034	2.212	2.423	2.67	2.955	3.272
	1.1	1.488	1.565	1.655	1.761	1.888	2.038	2.215	2.425	2.672	2.957	3.274
	1.2	1.499	1.574	1.662	1.768	1.893	2.042	2.218	2.428	2.674	2.959	3.276
	1.3	1.51	1.583	1.67	1.774	1.898	2.046	2.221	2.43	2.676	2.96	3.278
	1.4	1.521	1.592	1.678	1.78	1.903	2.05	2.225	2.433	2.678	2.962	3.28
	1.5	1.531	1.601	1.686	1.787	1.908	2.053	2.228	2.435	2.68	2.964	3.281

1.6	1.542	1.611	1.693	1.793	1.913	2.057	2.231	2.437	2.682	2.965	3.283
1.7	1.553	1.62	1.701	1.799	1.918	2.061	2.234	2.44	2.684	2.967	3.284
1.8	1.563	1.629	1.708	1.805	1.923	2.065	2.237	2.442	2.685	2.968	3.286
1.9	1.574	1.638	1.716	1.811	1.928	2.069	2.24	2.444	2.687	2.97	3.287
2.0	1.584	1.647	1.723	1.818	1.933	2.073	2.242	2.446	2.689	2.972	3.289
2.1	1.595	1.655	1.731	1.824	1.938	2.077	2.245	2.449	2.691	2.973	3.29
2.2	1.605	1.664	1.738	1.83	1.943	2.08	2.248	2.451	2.692	2.974	3.292
2.3	1.615	1.673	1.746	1.836	1.947	2.084	2.251	2.453	2.694	2.976	3.293
2.4	1.625	1.682	1.753	1.842	1.952	2.088	2.254	2.455	2.696	2.977	3.294
2.5	1.635	1.69	1.76	1.848	1.957	2.092	2.257	2.457	2.697	2.979	3.296
2.6	1.645	1.699	1.768	1.854	1.962	2.095	2.26	2.459	2.699	2.98	3.297
2.7	1.655	1.708	1.775	1.86	1.967	2.099	2.262	2.461	2.701	2.981	3.298
2.8	1.665	1.716	1.782	1.866	1.971	2.103	2.265	2.464	2.702	2.983	3.3
2.9	1.674	1.725	1.789	1.872	1.976	2.106	2.268	2.466	2.704	2.984	3.301
3.0	1.684	1.733	1.796	1.878	1.981	2.11	2.271	2.468	2.705	2.985	3.302
3.1	1.693	1.741	1.803	1.884	1.985	2.114	2.273	2.47	2.707	2.986	3.303
3.2	1.703	1.749	1.81	1.889	1.99	2.117	2.276	2.472	2.708	2.988	3.304
3.3	1.712	1.758	1.817	1.895	1.995	2.121	2.279	2.474	2.71	2.989	3.305
3.4	1.721	1.766	1.824	1.901	1.999	2.124	2.281	2.476	2.711	2.99	3.306
3.5	1.73	1.774	1.831	1.907	2.004	2.128	2.284	2.478	2.713	2.991	3.308
3.6	1.74	1.782	1.838	1.912	2.008	2.131	2.287	2.479	2.714	2.992	3.309
3.7	1.749	1.79	1.845	1.918	2.013	2.135	2.289	2.481	2.716	2.994	3.31
3.8	1.757	1.798	1.852	1.924	2.017	2.138	2.292	2.483	2.717	2.995	3.311
3.9	1.766	1.805	1.858	1.929	2.022	2.142	2.295	2.485	2.719	2.996	3.312
4.0	1.775	1.813	1.865	1.935	2.026	2.145	2.297	2.487	2.72	2.997	3.313

Таблица Д.7 - Минимальные и максимальные значения фазы тока на входе рельсовой линии участка приближения от координат поезда и проводимостей изоляции ($l = 2$ км; $f = 25$ Гц)

x - координаты поезда, км	$\arg I_1 \max, \text{В}$	$\arg I_1 \min, \text{В}$
0	-15.544	-38.046
0.1	-15.648	-37.823
0.2	-15.783	-37.536
0.3	-15.955	-37.184
0.4	-16.171	-36.762
0.5	-16.436	-36.264
0.6	-16.756	-35.681
0.7	-17.133	-35
0.8	-17.563	-34.207
0.9	-18.036	-33.284
1	-18.527	-32.208
1.1	-18.996	-30.951
1.2	-19.376	-29.478
1.3	-19.573	-27.743
1.4	-19.458	-25.688
1.5	-18.861	-23.236
1.6	-17.579	-20.288
1.7	-15.373	-16.714
1.8	-11.981	-12.346
1.9	-6.976	-7.145
2	-0.363	-0.64

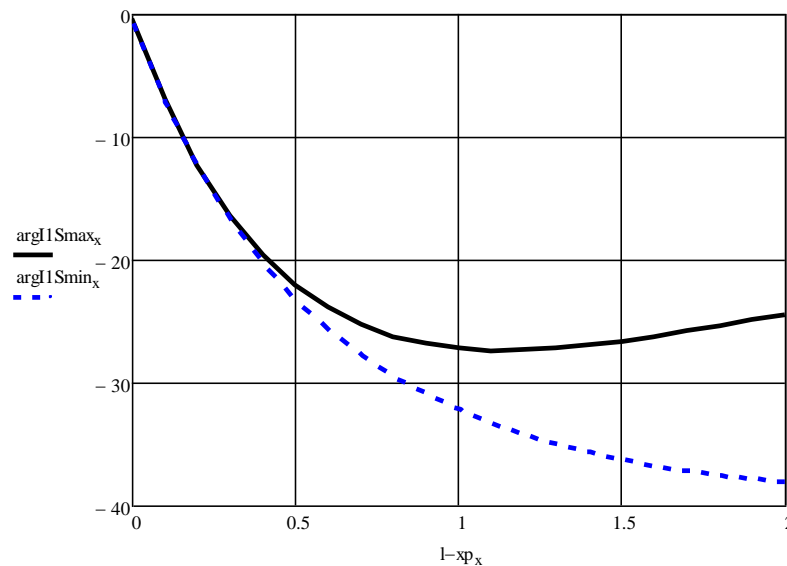


Рисунок Д.4 - Графики максимальных и минимальных значений фазы тока на входе рельсовой линии в зависимости от координаты шунта и проводимости изоляции при частоте сигнального тока 25 Гц

Таблица Д.8 - Результаты исследования изменения фазы тока на входе рельсовой линии участка приближения от координат поезда и проводимостей изоляции ($l = 2$ км; $f = 25$ Гц)

		x - координаты поезда, км									
		0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
g – проводимости изоляции участка приближения	0.1	-38.046	-37.823	-37.536	-37.184	-36.762	-36.264	-35.681	-35	-34.207	-33.284
	0.2	-35.663	-35.635	-35.543	-35.382	-35.148	-34.832	-34.424	-33.911	-33.277	-32.503
	0.3	-33.575	-33.696	-33.756	-33.75	-33.671	-33.509	-33.253	-32.887	-32.395	-31.757
	0.4	-31.744	-31.975	-32.153	-32.27	-32.318	-32.286	-32.16	-31.924	-31.559	-31.044
	0.5	-30.135	-30.446	-30.713	-30.927	-31.079	-31.154	-31.139	-31.017	-30.766	-30.363
	0.6	-28.717	-29.085	-29.418	-29.708	-29.942	-30.107	-30.187	-30.163	-30.013	-29.712
	0.7	-27.463	-27.87	-28.251	-28.598	-28.898	-29.137	-29.297	-29.358	-29.298	-29.09
	0.8	-26.352	-26.783	-27.198	-27.587	-27.938	-28.237	-28.465	-28.6	-28.62	-28.494
	0.9	-25.364	-25.808	-26.244	-26.664	-27.055	-27.402	-27.686	-27.885	-27.975	-27.924
	1.0	-24.481	-24.93	-25.379	-25.82	-26.241	-26.626	-26.957	-27.211	-27.362	-27.379
	1.1	-23.691	-24.138	-24.593	-25.047	-25.489	-25.904	-26.273	-26.574	-26.779	-26.857
	1.2	-22.98	-23.421	-23.876	-24.337	-24.794	-25.231	-25.632	-25.972	-26.225	-26.357
	1.3	-22.339	-22.771	-23.222	-23.685	-24.15	-24.604	-25.029	-25.403	-25.697	-25.878
	1.4	-21.76	-22.179	-22.622	-23.083	-23.553	-24.018	-24.463	-24.864	-25.194	-25.419
	1.5	-21.233	-21.638	-22.071	-22.527	-22.998	-23.471	-23.93	-24.354	-24.715	-24.978
	1.6	-20.754	-21.144	-21.565	-22.013	-22.481	-22.958	-23.428	-23.871	-24.258	-24.556
	1.7	-20.316	-20.69	-21.098	-21.537	-22	-22.478	-22.955	-23.412	-23.822	-24.151
	1.8	-19.915	-20.273	-20.667	-21.094	-21.551	-22.027	-22.508	-22.977	-23.406	-23.761
	1.9	-19.546	-19.887	-20.267	-20.683	-21.131	-21.603	-22.087	-22.563	-23.008	-23.387
	2.0	-19.206	-19.531	-19.896	-20.299	-20.738	-21.204	-21.688	-22.17	-22.628	-23.028
	2.1	-18.892	-19.201	-19.551	-19.941	-20.369	-20.829	-21.31	-21.797	-22.265	-22.683
	2.2	-18.601	-18.895	-19.229	-19.606	-20.023	-20.475	-20.952	-21.441	-21.917	-22.35
	2.3	-18.33	-18.609	-18.929	-19.292	-19.697	-20.14	-20.613	-21.101	-21.584	-22.031
	2.4	-18.079	-18.343	-18.648	-18.998	-19.391	-19.824	-20.291	-20.778	-21.265	-21.723
	2.5	-17.843	-18.093	-18.385	-18.721	-19.102	-19.525	-19.985	-20.469	-20.959	-21.426
	2.6	-17.623	-17.86	-18.138	-18.46	-18.829	-19.242	-19.694	-20.175	-20.666	-21.141

	2.7	-17.417	-17.64	-17.905	-18.215	-18.571	-18.973	-19.417	-19.893	-20.385	-20.865
	2.8	-17.223	-17.434	-17.686	-17.983	-18.326	-18.718	-19.153	-19.624	-20.115	-20.6
	2.9	-17.04	-17.239	-17.479	-17.763	-18.095	-18.475	-18.901	-19.366	-19.855	-20.344
	3.0	-16.867	-17.055	-17.283	-17.555	-17.875	-18.244	-18.661	-19.119	-19.606	-20.097
	3.1	-16.704	-16.881	-17.098	-17.358	-17.666	-18.024	-18.432	-18.883	-19.366	-19.858
	3.2	-16.549	-16.717	-16.922	-17.171	-17.468	-17.815	-18.212	-18.656	-19.135	-19.628
	3.3	-16.402	-16.56	-16.755	-16.993	-17.279	-17.615	-18.002	-18.438	-18.912	-19.405
	3.4	-16.262	-16.411	-16.596	-16.824	-17.098	-17.424	-17.802	-18.229	-18.698	-19.19
	3.5	-16.129	-16.269	-16.445	-16.662	-16.926	-17.241	-17.609	-18.029	-18.492	-18.981
	3.6	-16.001	-16.134	-16.301	-16.508	-16.762	-17.066	-17.425	-17.836	-18.293	-18.78
	3.7	-15.88	-16.004	-16.163	-16.361	-16.604	-16.899	-17.247	-17.65	-18.101	-18.585
	3.8	-15.763	-15.881	-16.031	-16.22	-16.454	-16.738	-17.077	-17.471	-17.915	-18.396
	3.9	-15.651	-15.762	-15.904	-16.085	-16.309	-16.584	-16.914	-17.299	-17.736	-18.213
	4.0	-15.544	-15.648	-15.783	-15.955	-16.171	-16.436	-16.756	-17.133	-17.563	-18.036

		x - координаты поезда, км										
		1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
g – проводимости изоляции участка приближения	0.1	-32.208	-30.951	-29.478	-27.743	-25.688	-23.236	-20.288	-16.714	-12.346	-6.976	-0.363
	0.2	-31.566	-30.436	-29.077	-27.444	-25.476	-23.097	-20.208	-16.677	-12.338	-6.981	-0.369
	0.3	-30.948	-29.937	-28.687	-27.15	-25.267	-22.96	-20.128	-16.641	-12.329	-6.987	-0.375
	0.4	-30.353	-29.453	-28.306	-26.863	-25.062	-22.825	-20.05	-16.604	-12.321	-6.992	-0.382
	0.5	-29.781	-28.986	-27.936	-26.582	-24.861	-22.692	-19.972	-16.568	-12.313	-6.998	-0.389
	0.6	-29.23	-28.532	-27.575	-26.307	-24.663	-22.56	-19.894	-16.532	-12.304	-7.003	-0.397
	0.7	-28.7	-28.094	-27.224	-26.038	-24.468	-22.43	-19.818	-16.497	-12.296	-7.009	-0.404
	0.8	-28.19	-27.668	-26.882	-25.774	-24.276	-22.301	-19.742	-16.461	-12.288	-7.015	-0.412
	0.9	-27.699	-27.256	-26.548	-25.516	-24.087	-22.174	-19.667	-16.426	-12.28	-7.021	-0.42
	1.0	-27.225	-26.857	-26.223	-25.263	-23.901	-22.049	-19.592	-16.391	-12.271	-7.027	-0.428
	1.1	-26.769	-26.47	-25.906	-25.015	-23.719	-21.924	-19.518	-16.355	-12.263	-7.032	-0.437
	1.2	-26.329	-26.095	-25.598	-24.772	-23.539	-21.802	-19.444	-16.32	-12.255	-7.038	-0.445
	1.3	-25.906	-25.731	-25.296	-24.534	-23.362	-21.68	-19.371	-16.285	-12.246	-7.043	-0.453
	1.4	-25.497	-25.378	-25.003	-24.301	-23.187	-21.561	-19.298	-16.251	-12.237	-7.049	-0.461
	1.5	-25.102	-25.035	-24.716	-24.072	-23.015	-21.442	-19.226	-16.216	-12.229	-7.054	-0.469

1.6	-24.722	-24.703	-24.437	-23.848	-22.846	-21.325	-19.155	-16.181	-12.22	-7.059	-0.477
1.7	-24.355	-24.381	-24.164	-23.628	-22.68	-21.209	-19.084	-16.146	-12.211	-7.064	-0.485
1.8	-24	-24.068	-23.898	-23.413	-22.516	-21.094	-19.013	-16.112	-12.202	-7.069	-0.493
1.9	-23.657	-23.764	-23.639	-23.202	-22.354	-20.981	-18.943	-16.077	-12.193	-7.074	-0.5
2.0	-23.326	-23.468	-23.386	-22.995	-22.195	-20.869	-18.874	-16.043	-12.184	-7.079	-0.508
2.1	-23.007	-23.182	-23.138	-22.791	-22.039	-20.758	-18.805	-16.009	-12.174	-7.083	-0.516
2.2	-22.697	-22.903	-22.897	-22.592	-21.884	-20.648	-18.736	-15.975	-12.165	-7.087	-0.523
2.3	-22.398	-22.632	-22.661	-22.397	-21.732	-20.54	-18.668	-15.94	-12.156	-7.092	-0.53
2.4	-22.109	-22.369	-22.431	-22.205	-21.582	-20.432	-18.6	-15.906	-12.146	-7.096	-0.538
2.5	-21.829	-22.113	-22.206	-22.017	-21.435	-20.326	-18.533	-15.872	-12.136	-7.1	-0.545
2.6	-21.558	-21.864	-21.986	-21.832	-21.289	-20.221	-18.466	-15.838	-12.126	-7.104	-0.552
2.7	-21.296	-21.622	-21.771	-21.651	-21.146	-20.117	-18.4	-15.805	-12.117	-7.107	-0.559
2.8	-21.042	-21.386	-21.561	-21.473	-21.005	-20.014	-18.334	-15.771	-12.107	-7.111	-0.566
2.9	-20.796	-21.157	-21.356	-21.298	-20.865	-19.913	-18.269	-15.737	-12.097	-7.114	-0.572
3.0	-20.557	-20.934	-21.155	-21.127	-20.728	-19.812	-18.204	-15.704	-12.087	-7.118	-0.579
3.1	-20.326	-20.717	-20.959	-20.959	-20.593	-19.712	-18.14	-15.67	-12.076	-7.121	-0.586
3.2	-20.101	-20.505	-20.768	-20.793	-20.459	-19.614	-18.076	-15.637	-12.066	-7.124	-0.592
3.3	-19.884	-20.299	-20.58	-20.631	-20.328	-19.516	-18.012	-15.603	-12.056	-7.127	-0.598
3.4	-19.672	-20.098	-20.397	-20.472	-20.198	-19.42	-17.949	-15.57	-12.045	-7.13	-0.605
3.5	-19.467	-19.903	-20.217	-20.315	-20.071	-19.324	-17.886	-15.537	-12.035	-7.132	-0.611
3.6	-19.268	-19.712	-20.042	-20.162	-19.944	-19.23	-17.824	-15.504	-12.024	-7.135	-0.617
3.7	-19.075	-19.526	-19.87	-20.011	-19.82	-19.136	-17.762	-15.471	-12.014	-7.138	-0.623
3.8	-18.887	-19.345	-19.702	-19.862	-19.698	-19.044	-17.701	-15.438	-12.003	-7.14	-0.629
3.9	-18.705	-19.168	-19.537	-19.716	-19.577	-18.952	-17.64	-15.405	-11.992	-7.142	-0.634
4.0	-18.527	-18.996	-19.376	-19.573	-19.458	-18.861	-17.579	-15.373	-11.981	-7.145	-0.64

Таблица Д.9 - Минимальные и максимальные значения напряжений на входе рельсовой линии участка приближения от координат поезда и проводимостей изоляции ($l = 2$ км; $f = 50$ Гц)

x - координаты поезда, км	$U1 \text{ max, В}$	$U1 \text{ min, В}$
0	0.916	0.662
0.1	0.912	0.663
0.2	0.908	0.664
0.3	0.903	0.666
0.4	0.898	0.667
0.5	0.892	0.669
0.6	0.886	0.671
0.7	0.878	0.673
0.8	0.869	0.675
0.9	0.858	0.676
1	0.845	0.677
1.1	0.83	0.677
1.2	0.81	0.675
1.3	0.786	0.67
1.4	0.754	0.659
1.5	0.713	0.639
1.6	0.658	0.606
1.7	0.583	0.55
1.8	0.479	0.462
1.9	0.34	0.328
2	0.19	0.177

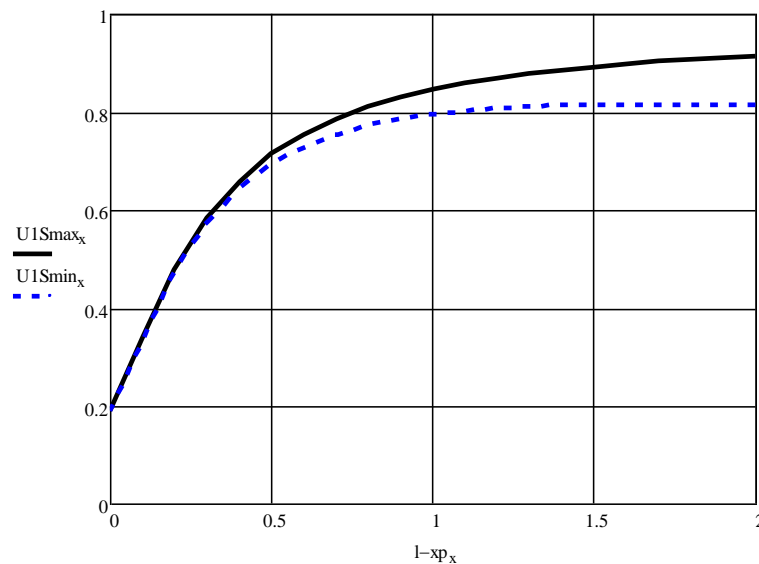


Рисунок Д.5 - Графики максимальных и минимальных значений напряжения на входе рельсовой линии в зависимости от координаты шунта и проводимости изоляции при частоте сигнального тока 50 Гц

Таблица Д.10 - Результаты исследования изменения напряжения на входе рельсовой линии участка приближения от координат поезда и проводимостей изоляции ($l = 2$ км; $f = 50$ Гц)

		x - координаты поезда, км									
		0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
g – проводимости изоляции участка приближения	0.1	0.914	0.911	0.907	0.903	0.898	0.892	0.886	0.878	0.869	0.858
	0.2	0.9	0.898	0.895	0.891	0.887	0.882	0.877	0.87	0.861	0.852
	0.3	0.887	0.886	0.883	0.881	0.877	0.873	0.868	0.862	0.854	0.845
	0.4	0.875	0.874	0.872	0.87	0.867	0.864	0.859	0.854	0.847	0.838
	0.5	0.864	0.863	0.862	0.86	0.858	0.855	0.851	0.846	0.84	0.832
	0.6	0.853	0.853	0.852	0.85	0.849	0.846	0.843	0.839	0.833	0.826
	0.7	0.843	0.842	0.842	0.841	0.84	0.838	0.835	0.831	0.826	0.82
	0.8	0.833	0.833	0.833	0.832	0.831	0.83	0.828	0.824	0.82	0.814
	0.9	0.823	0.824	0.824	0.824	0.823	0.822	0.82	0.818	0.814	0.808
	1.0	0.815	0.815	0.816	0.816	0.815	0.815	0.813	0.811	0.807	0.802
	1.1	0.806	0.807	0.807	0.808	0.808	0.807	0.806	0.804	0.801	0.797
	1.2	0.798	0.799	0.8	0.8	0.801	0.8	0.8	0.798	0.795	0.791
	1.3	0.791	0.791	0.792	0.793	0.793	0.794	0.793	0.792	0.79	0.786
	1.4	0.783	0.784	0.785	0.786	0.787	0.787	0.787	0.786	0.784	0.781
	1.5	0.776	0.777	0.778	0.779	0.78	0.781	0.781	0.78	0.779	0.776
	1.6	0.77	0.771	0.772	0.773	0.774	0.774	0.775	0.774	0.773	0.771
	1.7	0.763	0.764	0.766	0.767	0.768	0.769	0.769	0.769	0.768	0.766
	1.8	0.757	0.758	0.76	0.761	0.762	0.763	0.763	0.763	0.763	0.761
	1.9	0.752	0.753	0.754	0.755	0.756	0.757	0.758	0.758	0.758	0.756
	2.0	0.746	0.747	0.748	0.749	0.751	0.752	0.753	0.753	0.753	0.752
	2.1	0.741	0.742	0.743	0.744	0.745	0.747	0.748	0.748	0.748	0.747
	2.2	0.735	0.736	0.738	0.739	0.74	0.741	0.743	0.743	0.743	0.743
	2.3	0.73	0.731	0.733	0.734	0.735	0.736	0.738	0.739	0.739	0.738
	2.4	0.726	0.727	0.728	0.729	0.73	0.732	0.733	0.734	0.734	0.734
	2.5	0.721	0.722	0.723	0.724	0.726	0.727	0.728	0.729	0.73	0.73
	2.6	0.717	0.718	0.719	0.72	0.721	0.722	0.724	0.725	0.726	0.726

	2.7	0.712	0.713	0.714	0.715	0.717	0.718	0.72	0.721	0.722	0.722
	2.8	0.708	0.709	0.71	0.711	0.712	0.714	0.715	0.717	0.718	0.718
	2.9	0.704	0.705	0.706	0.707	0.708	0.71	0.711	0.713	0.714	0.714
	3.0	0.7	0.701	0.702	0.703	0.704	0.706	0.707	0.709	0.71	0.71
	3.1	0.696	0.697	0.698	0.699	0.7	0.702	0.703	0.705	0.706	0.707
	3.2	0.693	0.693	0.694	0.695	0.696	0.698	0.699	0.701	0.702	0.703
	3.3	0.689	0.69	0.69	0.691	0.693	0.694	0.696	0.697	0.699	0.7
	3.4	0.686	0.686	0.687	0.688	0.689	0.69	0.692	0.693	0.695	0.696
	3.5	0.682	0.683	0.683	0.684	0.685	0.687	0.688	0.69	0.691	0.693
	3.6	0.679	0.679	0.68	0.681	0.682	0.683	0.685	0.686	0.688	0.689
	3.7	0.676	0.676	0.677	0.678	0.679	0.68	0.681	0.683	0.685	0.686
	3.8	0.673	0.673	0.674	0.674	0.675	0.677	0.678	0.68	0.681	0.683
	3.9	0.669	0.67	0.67	0.671	0.672	0.673	0.675	0.676	0.678	0.68
	4.0	0.666	0.667	0.667	0.668	0.669	0.67	0.672	0.673	0.675	0.676

		x - координаты поезда, км										
		1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
g – проводимости изоляции участка приближения	0.1	0.845	0.83	0.81	0.786	0.754	0.713	0.658	0.583	0.479	0.338	0.19
	0.2	0.839	0.824	0.806	0.782	0.751	0.711	0.657	0.582	0.478	0.338	0.189
	0.3	0.834	0.819	0.801	0.778	0.748	0.709	0.655	0.581	0.478	0.337	0.189
	0.4	0.828	0.814	0.797	0.775	0.746	0.707	0.654	0.58	0.477	0.337	0.188
	0.5	0.822	0.809	0.793	0.771	0.743	0.705	0.652	0.579	0.477	0.337	0.188
	0.6	0.817	0.804	0.789	0.768	0.74	0.702	0.651	0.578	0.476	0.336	0.187
	0.7	0.811	0.8	0.784	0.764	0.737	0.7	0.649	0.578	0.476	0.336	0.187
	0.8	0.806	0.795	0.78	0.761	0.735	0.698	0.648	0.577	0.476	0.336	0.186
	0.9	0.801	0.79	0.776	0.758	0.732	0.696	0.646	0.576	0.475	0.336	0.186
	1.0	0.795	0.786	0.772	0.754	0.729	0.694	0.645	0.575	0.475	0.335	0.185
	1.1	0.79	0.781	0.769	0.751	0.726	0.692	0.644	0.574	0.474	0.335	0.185
	1.2	0.785	0.777	0.765	0.748	0.724	0.69	0.642	0.573	0.474	0.335	0.185
	1.3	0.781	0.772	0.761	0.744	0.721	0.688	0.641	0.572	0.473	0.335	0.184
	1.4	0.776	0.768	0.757	0.741	0.719	0.686	0.639	0.571	0.473	0.334	0.184
	1.5	0.771	0.764	0.753	0.738	0.716	0.684	0.638	0.571	0.472	0.334	0.183

1.6	0.766	0.76	0.75	0.735	0.714	0.682	0.637	0.57	0.472	0.334	0.183
1.7	0.762	0.756	0.746	0.732	0.711	0.68	0.635	0.569	0.472	0.334	0.183
1.8	0.758	0.752	0.743	0.729	0.709	0.678	0.634	0.568	0.471	0.333	0.182
1.9	0.753	0.748	0.739	0.726	0.706	0.677	0.633	0.567	0.471	0.333	0.182
2.0	0.749	0.744	0.736	0.723	0.704	0.675	0.631	0.566	0.47	0.333	0.182
2.1	0.745	0.74	0.732	0.72	0.701	0.673	0.63	0.566	0.47	0.333	0.182
2.2	0.741	0.736	0.729	0.717	0.699	0.671	0.629	0.565	0.469	0.333	0.181
2.3	0.737	0.733	0.726	0.714	0.696	0.669	0.627	0.564	0.469	0.332	0.181
2.4	0.733	0.729	0.722	0.711	0.694	0.667	0.626	0.563	0.469	0.332	0.181
2.5	0.729	0.725	0.719	0.709	0.692	0.665	0.625	0.562	0.468	0.332	0.18
2.6	0.725	0.722	0.716	0.706	0.689	0.664	0.623	0.562	0.468	0.332	0.18
2.7	0.721	0.718	0.713	0.703	0.687	0.662	0.622	0.561	0.467	0.332	0.18
2.8	0.717	0.715	0.71	0.7	0.685	0.66	0.621	0.56	0.467	0.332	0.18
2.9	0.714	0.711	0.707	0.698	0.683	0.658	0.619	0.559	0.467	0.331	0.179
3.0	0.71	0.708	0.704	0.695	0.68	0.656	0.618	0.558	0.466	0.331	0.179
3.1	0.707	0.705	0.701	0.692	0.678	0.655	0.617	0.558	0.466	0.331	0.179
3.2	0.703	0.702	0.698	0.69	0.676	0.653	0.616	0.557	0.465	0.331	0.179
3.3	0.7	0.698	0.695	0.687	0.674	0.651	0.614	0.556	0.465	0.331	0.179
3.4	0.696	0.695	0.692	0.685	0.672	0.649	0.613	0.555	0.465	0.331	0.178
3.5	0.693	0.692	0.689	0.682	0.669	0.648	0.612	0.554	0.464	0.33	0.178
3.6	0.69	0.689	0.686	0.68	0.667	0.646	0.611	0.554	0.464	0.33	0.178
3.7	0.687	0.686	0.683	0.677	0.665	0.644	0.609	0.553	0.463	0.33	0.178
3.8	0.684	0.683	0.681	0.675	0.663	0.643	0.608	0.552	0.463	0.33	0.178
3.9	0.68	0.68	0.678	0.672	0.661	0.641	0.607	0.551	0.463	0.33	0.177
4.0	0.677	0.677	0.675	0.67	0.659	0.639	0.606	0.55	0.462	0.33	0.177

Таблица Д.11 – Минимальные и максимальные значения фазы напряжений на входе рельсовой линии участка приближения от координат поезда и проводимостей изоляции ($l = 2$ км; $f = 50$ Гц)

x - координаты поезда, км	argU1 max, В	argU1 min, В
0	11.468	7.238
0.1	11.458	7.553
0.2	11.454	7.902
0.3	11.46	8.284
0.4	11.484	8.707
0.5	11.537	9.176
0.6	11.633	9.698
0.7	11.79	10.28
0.8	12.033	10.934
0.9	12.392	11.67
1	12.983	12.506
1.1	14.064	13.458
1.2	15.326	14.551
1.3	16.81	15.836
1.4	18.565	17.492
1.5	20.642	19.614
1.6	23.068	22.262
1.7	25.741	25.384
1.8	28.402	28.007
1.9	28.129	26.568
2	3.044	1.362

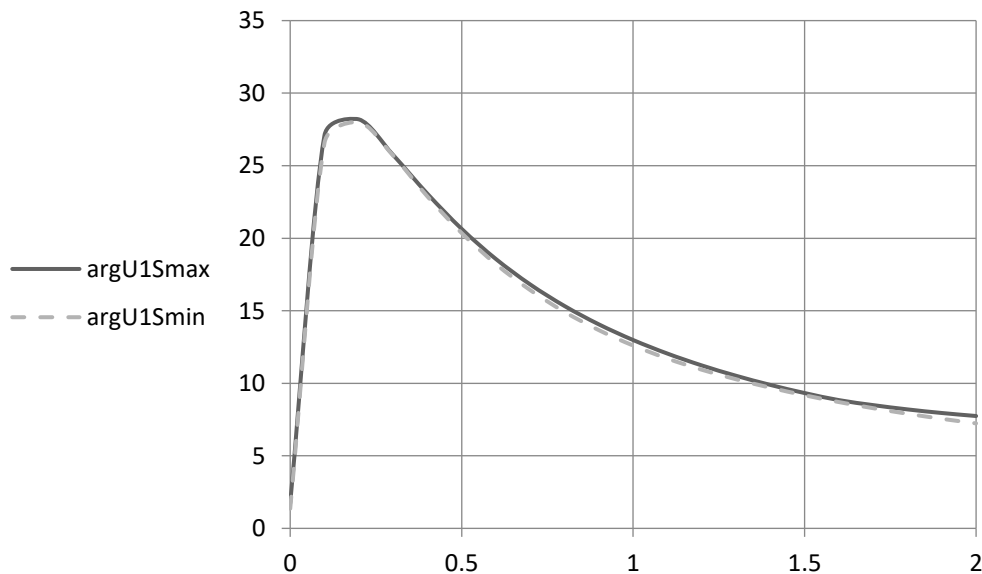


Рисунок Д.6 - Графики максимальных и минимальных значений фазы напряжения на входе рельсовой линии в зависимости от координаты шунта и проводимости изоляции при частоте сигнального тока 50 Гц

Таблица Д.12 - Результаты исследования изменения фазы напряжения на входе рельсовой линии участка приближения от координат поезда и проводимостей изоляции ($l = 2$ км; $f = 50$ Гц)

		x - координаты поезда, км									
		0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
g – проводимости изоляции участка приближения	0.1	7.282	7.612	7.976	8.38	8.828	9.328	9.889	10.52	11.234	12.048
	0.2	7.245	7.569	7.929	8.328	8.773	9.271	9.829	10.459	11.172	11.987
	0.3	7.238	7.553	7.905	8.297	8.736	9.228	9.782	10.408	11.119	11.932
	0.4	7.257	7.561	7.902	8.284	8.714	9.199	9.746	10.367	11.074	11.883
	0.5	7.299	7.589	7.917	8.288	8.707	9.182	9.721	10.334	11.035	11.841
	0.6	7.36	7.635	7.949	8.306	8.713	9.176	9.705	10.31	11.003	11.803
	0.7	7.438	7.697	7.995	8.337	8.73	9.181	9.698	10.293	10.978	11.771
	0.8	7.53	7.771	8.053	8.38	8.758	9.195	9.7	10.283	10.959	11.743
	0.9	7.633	7.857	8.122	8.433	8.796	9.218	9.709	10.28	10.945	11.721
	1.0	7.745	7.953	8.201	8.495	8.842	9.249	9.726	10.284	10.937	11.703
	1.1	7.865	8.056	8.288	8.565	8.895	9.287	9.749	10.293	10.934	11.689
	1.2	7.991	8.166	8.381	8.642	8.956	9.331	9.777	10.307	10.935	11.679
	1.3	8.122	8.281	8.48	8.724	9.022	9.381	9.812	10.327	10.941	11.673
	1.4	8.256	8.401	8.584	8.812	9.093	9.436	9.851	10.351	10.951	11.67
	1.5	8.392	8.523	8.692	8.904	9.169	9.495	9.895	10.379	10.965	11.671
	1.6	8.531	8.648	8.802	9	9.249	9.559	9.942	10.412	10.983	11.675
	1.7	8.67	8.775	8.916	9.098	9.332	9.627	9.994	10.447	11.004	11.683
	1.8	8.81	8.903	9.031	9.199	9.418	9.697	10.049	10.487	11.028	11.693
	1.9	8.949	9.032	9.147	9.303	9.507	9.771	10.107	10.529	11.055	11.706
	2.0	9.087	9.161	9.265	9.407	9.598	9.847	10.167	10.574	11.085	11.721
	2.1	9.225	9.289	9.382	9.513	9.69	9.925	10.23	10.622	11.118	11.739
	2.2	9.361	9.417	9.5	9.62	9.784	10.005	10.296	10.672	11.153	11.76
	2.3	9.496	9.544	9.618	9.727	9.879	10.086	10.363	10.724	11.19	11.782
	2.4	9.629	9.67	9.736	9.834	9.975	10.169	10.432	10.778	11.229	11.806
	2.5	9.76	9.795	9.853	9.941	10.071	10.253	10.502	10.834	11.27	11.833
	2.6	9.889	9.918	9.969	10.049	10.168	10.338	10.573	10.892	11.313	11.861

	2.7	10.016	10.04	10.084	10.155	10.265	10.423	10.646	10.951	11.357	11.891
	2.8	10.141	10.16	10.198	10.262	10.361	10.509	10.72	11.011	11.403	11.922
	2.9	10.264	10.278	10.31	10.367	10.458	10.596	10.794	11.072	11.45	11.955
	3.0	10.384	10.395	10.422	10.472	10.555	10.682	10.869	11.134	11.499	11.989
	3.1	10.502	10.51	10.532	10.576	10.651	10.769	10.945	11.198	11.549	12.025
	3.2	10.618	10.623	10.64	10.679	10.746	10.856	11.021	11.262	11.6	12.062
	3.3	10.732	10.734	10.748	10.78	10.841	10.942	11.097	11.326	11.651	12.1
	3.4	10.843	10.843	10.853	10.881	10.936	11.028	11.174	11.391	11.704	12.139
	3.5	10.953	10.95	10.957	10.981	11.029	11.114	11.251	11.457	11.757	12.179
	3.6	11.06	11.055	11.06	11.079	11.122	11.2	11.327	11.523	11.811	12.22
	3.7	11.165	11.159	11.16	11.176	11.214	11.285	11.404	11.59	11.866	12.262
	3.8	11.268	11.26	11.26	11.272	11.305	11.37	11.48	11.656	11.921	12.304
	3.9	11.369	11.36	11.358	11.367	11.395	11.454	11.557	11.723	11.977	12.348
	4.0	11.468	11.458	11.454	11.46	11.484	11.537	11.633	11.79	12.033	12.392

		x - координаты поезда, км										
		1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
g – проводимости изоляции участка приближения	0.1	12.983	14.064	15.326	16.81	18.565	20.642	23.068	25.741	28.007	26.568	1.362
	0.2	12.923	14.007	15.272	16.76	18.522	20.609	23.049	25.739	28.033	26.631	1.392
	0.3	12.868	13.953	15.22	16.713	18.481	20.576	23.028	25.737	28.057	26.693	1.426
	0.4	12.817	13.902	15.171	16.667	18.44	20.544	23.008	25.735	28.08	26.753	1.465
	0.5	12.771	13.855	15.124	16.622	18.4	20.512	22.988	25.731	28.102	26.812	1.506
	0.6	12.73	13.811	15.079	16.579	18.361	20.48	22.967	25.727	28.122	26.87	1.55
	0.7	12.692	13.77	15.037	16.538	18.323	20.449	22.946	25.722	28.142	26.926	1.596
	0.8	12.659	13.732	14.997	16.498	18.286	20.418	22.925	25.717	28.161	26.98	1.644
	0.9	12.629	13.697	14.959	16.459	18.25	20.387	22.904	25.711	28.178	27.033	1.692
	1.0	12.603	13.664	14.923	16.422	18.214	20.356	22.883	25.705	28.195	27.084	1.741
	1.1	12.58	13.635	14.889	16.386	18.179	20.326	22.862	25.698	28.21	27.134	1.791
	1.2	12.56	13.608	14.857	16.352	18.145	20.296	22.84	25.691	28.225	27.183	1.841
	1.3	12.544	13.584	14.827	16.318	18.112	20.267	22.819	25.683	28.239	27.23	1.891
	1.4	12.531	13.562	14.799	16.287	18.08	20.238	22.798	25.675	28.252	27.276	1.941
	1.5	12.521	13.542	14.772	16.256	18.049	20.209	22.776	25.667	28.264	27.32	1.991

1.6	12.513	13.525	14.747	16.227	18.018	20.181	22.755	25.658	28.276	27.363	2.04
1.7	12.508	13.51	14.724	16.199	17.988	20.153	22.733	25.649	28.287	27.405	2.089
1.8	12.506	13.497	14.703	16.172	17.959	20.125	22.712	25.639	28.297	27.446	2.137
1.9	12.506	13.486	14.683	16.146	17.93	20.098	22.69	25.63	28.306	27.486	2.185
2.0	12.508	13.477	14.665	16.121	17.903	20.071	22.669	25.62	28.315	27.525	2.232
2.1	12.513	13.469	14.648	16.098	17.876	20.045	22.648	25.609	28.324	27.562	2.279
2.2	12.519	13.464	14.633	16.076	17.85	20.019	22.627	25.599	28.331	27.599	2.325
2.3	12.528	13.46	14.619	16.054	17.824	19.993	22.605	25.588	28.339	27.634	2.37
2.4	12.538	13.458	14.607	16.034	17.799	19.968	22.584	25.577	28.345	27.669	2.415
2.5	12.551	13.458	14.596	16.015	17.775	19.943	22.563	25.566	28.352	27.703	2.459
2.6	12.565	13.459	14.586	15.997	17.752	19.918	22.542	25.555	28.358	27.736	2.502
2.7	12.581	13.462	14.578	15.98	17.729	19.894	22.521	25.543	28.363	27.769	2.545
2.8	12.598	13.466	14.57	15.963	17.707	19.87	22.501	25.531	28.368	27.8	2.587
2.9	12.617	13.472	14.564	15.948	17.686	19.847	22.48	25.52	28.372	27.831	2.628
3.0	12.637	13.479	14.559	15.934	17.665	19.823	22.46	25.508	28.377	27.861	2.669
3.1	12.658	13.487	14.556	15.92	17.645	19.801	22.439	25.496	28.381	27.89	2.709
3.2	12.681	13.496	14.553	15.908	17.626	19.779	22.419	25.484	28.384	27.919	2.748
3.3	12.705	13.507	14.551	15.896	17.607	19.757	22.399	25.471	28.387	27.947	2.787
3.4	12.73	13.518	14.551	15.885	17.589	19.735	22.379	25.459	28.39	27.975	2.826
3.5	12.757	13.531	14.551	15.875	17.571	19.714	22.359	25.447	28.393	28.002	2.863
3.6	12.784	13.545	14.552	15.866	17.554	19.693	22.339	25.434	28.395	28.029	2.901
3.7	12.812	13.56	14.555	15.857	17.538	19.673	22.32	25.422	28.397	28.054	2.937
3.8	12.841	13.575	14.558	15.849	17.522	19.653	22.3	25.409	28.399	28.08	2.973
3.9	12.871	13.592	14.562	15.842	17.507	19.633	22.281	25.397	28.401	28.105	3.009
4.0	12.902	13.61	14.567	15.836	17.492	19.614	22.262	25.384	28.402	28.129	3.044

Таблица Д.13 - Минимальные и максимальные значения тока на входе рельсовой линии участка приближения от координат поезда и проводимостей изоляции ($l = 2$ км; $f = 50$ Гц)

x - координаты поезда, км	I_{max} , В	I_{min} , В
0	1.454	0.649
0.1	1.457	0.658
0.2	1.46	0.669
0.3	1.462	0.682
0.4	1.464	0.712
0.5	1.466	0.751
0.6	1.468	0.794
0.7	1.47	0.843
0.8	1.472	0.898
0.9	1.476	0.962
1	1.487	1.036
1.1	1.508	1.123
1.2	1.543	1.224
1.3	1.599	1.345
1.4	1.684	1.491
1.5	1.808	1.668
1.6	1.983	1.885
1.7	2.221	2.152
1.8	2.531	2.478
1.9	2.901	2.858
2	3.292	3.241

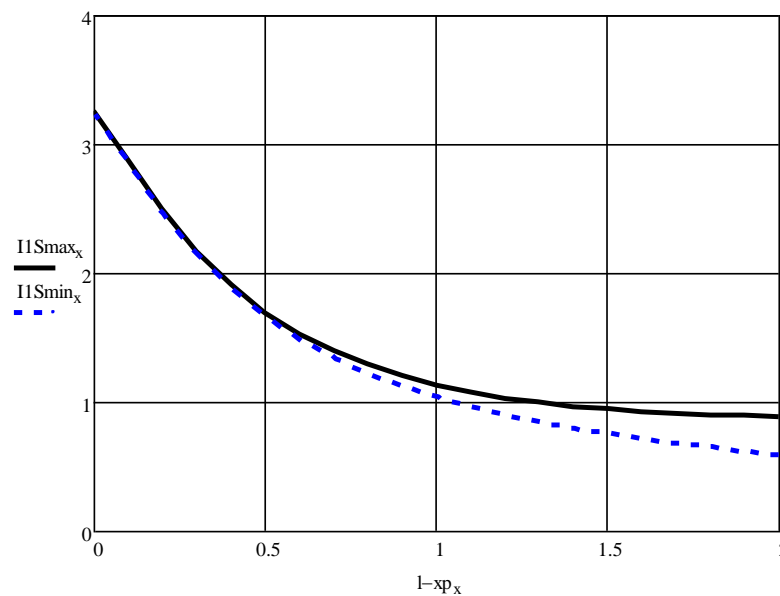


Рисунок Д.7 - Графики максимальных и минимальных значений тока на входе рельсовой линии в зависимости от координаты шунта и проводимости изоляции при частоте сигнала 50 Гц

Таблица Д.14 - Результаты исследования изменения тока на входе рельсовой линии участка приближения от координат поезда и проводимостей изоляции ($l = 2$ км; $f = 50$ Гц)

		x - координаты поезда, км									
		0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
g – проводимости изоляции участка приближения	0.1	0.596	0.62	0.648	0.678	0.712	0.751	0.794	0.843	0.898	0.962
	0.2	0.624	0.646	0.671	0.7	0.732	0.768	0.81	0.857	0.911	0.973
	0.3	0.655	0.675	0.697	0.723	0.753	0.787	0.827	0.872	0.924	0.984
	0.4	0.688	0.705	0.725	0.749	0.776	0.808	0.845	0.888	0.938	0.996
	0.5	0.721	0.736	0.754	0.775	0.8	0.829	0.864	0.904	0.952	1.009
	0.6	0.756	0.768	0.783	0.802	0.825	0.851	0.884	0.922	0.967	1.022
	0.7	0.789	0.8	0.813	0.829	0.85	0.874	0.904	0.94	0.983	1.035
	0.8	0.823	0.831	0.843	0.857	0.875	0.897	0.924	0.958	0.999	1.049
	0.9	0.856	0.863	0.872	0.884	0.9	0.92	0.945	0.976	1.015	1.062
	1.0	0.888	0.893	0.901	0.911	0.925	0.943	0.966	0.995	1.031	1.076
	1.1	0.919	0.923	0.929	0.938	0.95	0.966	0.986	1.013	1.047	1.091
	1.2	0.949	0.952	0.956	0.964	0.974	0.988	1.007	1.032	1.064	1.105
	1.3	0.978	0.98	0.983	0.989	0.998	1.011	1.028	1.051	1.08	1.119
	1.4	1.006	1.007	1.01	1.014	1.022	1.033	1.048	1.069	1.097	1.134
	1.5	1.033	1.033	1.035	1.039	1.045	1.055	1.068	1.087	1.113	1.148
	1.6	1.059	1.059	1.06	1.063	1.068	1.076	1.088	1.106	1.13	1.163
	1.7	1.084	1.083	1.084	1.086	1.09	1.097	1.108	1.124	1.146	1.177
	1.8	1.108	1.107	1.107	1.109	1.112	1.118	1.127	1.142	1.162	1.191
	1.9	1.132	1.13	1.13	1.131	1.133	1.138	1.146	1.159	1.178	1.206
	2.0	1.154	1.153	1.152	1.152	1.154	1.158	1.165	1.177	1.194	1.22
	2.1	1.176	1.174	1.173	1.173	1.174	1.177	1.183	1.194	1.21	1.234
	2.2	1.197	1.195	1.194	1.193	1.194	1.196	1.201	1.211	1.226	1.248
	2.3	1.218	1.216	1.214	1.213	1.213	1.215	1.219	1.227	1.241	1.262
	2.4	1.237	1.235	1.233	1.232	1.232	1.233	1.236	1.244	1.256	1.276
	2.5	1.256	1.254	1.252	1.251	1.25	1.25	1.253	1.26	1.271	1.289
	2.6	1.275	1.273	1.271	1.269	1.268	1.268	1.27	1.276	1.286	1.303

	2.7	1.293	1.291	1.288	1.286	1.285	1.285	1.287	1.291	1.301	1.316
	2.8	1.31	1.308	1.306	1.304	1.302	1.301	1.303	1.307	1.315	1.33
	2.9	1.327	1.325	1.323	1.32	1.319	1.318	1.318	1.322	1.329	1.343
	3.0	1.344	1.341	1.339	1.337	1.335	1.333	1.334	1.336	1.343	1.356
	3.1	1.359	1.357	1.355	1.353	1.35	1.349	1.349	1.351	1.357	1.368
	3.2	1.375	1.373	1.371	1.368	1.366	1.364	1.364	1.365	1.37	1.381
	3.3	1.39	1.388	1.386	1.383	1.381	1.379	1.378	1.379	1.384	1.393
	3.4	1.405	1.403	1.4	1.398	1.396	1.393	1.392	1.393	1.397	1.406
	3.5	1.419	1.417	1.415	1.412	1.41	1.408	1.406	1.407	1.41	1.418
	3.6	1.433	1.431	1.429	1.426	1.424	1.422	1.42	1.42	1.423	1.43
	3.7	1.446	1.445	1.443	1.44	1.438	1.435	1.433	1.433	1.435	1.442
	3.8	1.46	1.458	1.456	1.454	1.451	1.448	1.446	1.446	1.447	1.453
	3.9	1.473	1.471	1.469	1.467	1.464	1.462	1.459	1.458	1.46	1.465
	4.0	1.485	1.484	1.482	1.48	1.477	1.474	1.472	1.471	1.472	1.476

		x - координаты поезда, км										
		1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
g – проводимости изоляции участка приближения	0.1	1.036	1.123	1.224	1.345	1.491	1.668	1.885	2.152	2.478	2.855	3.24
	0.2	1.046	1.13	1.231	1.35	1.495	1.671	1.888	2.155	2.48	2.857	3.243
	0.3	1.055	1.138	1.237	1.356	1.499	1.674	1.89	2.157	2.482	2.859	3.245
	0.4	1.065	1.147	1.244	1.361	1.503	1.678	1.893	2.159	2.483	2.861	3.247
	0.5	1.076	1.156	1.251	1.367	1.508	1.681	1.895	2.161	2.485	2.863	3.25
	0.6	1.087	1.165	1.259	1.373	1.512	1.684	1.898	2.163	2.487	2.865	3.252
	0.7	1.098	1.174	1.266	1.379	1.517	1.688	1.9	2.165	2.489	2.867	3.254
	0.8	1.109	1.183	1.274	1.385	1.521	1.691	1.903	2.167	2.49	2.868	3.255
	0.9	1.121	1.193	1.281	1.391	1.526	1.695	1.906	2.169	2.492	2.87	3.257
	1.0	1.133	1.203	1.289	1.397	1.531	1.698	1.908	2.171	2.494	2.871	3.259
	1.1	1.145	1.213	1.297	1.403	1.535	1.702	1.911	2.172	2.495	2.873	3.261
	1.2	1.157	1.223	1.305	1.409	1.54	1.705	1.913	2.174	2.497	2.874	3.262
	1.3	1.169	1.233	1.314	1.416	1.545	1.709	1.916	2.176	2.498	2.876	3.264
	1.4	1.182	1.243	1.322	1.422	1.55	1.712	1.918	2.178	2.5	2.877	3.265
	1.5	1.194	1.253	1.33	1.429	1.555	1.716	1.921	2.18	2.501	2.879	3.267

1.6	1.206	1.264	1.339	1.435	1.56	1.719	1.923	2.182	2.503	2.88	3.268
1.7	1.219	1.274	1.347	1.442	1.565	1.723	1.925	2.183	2.504	2.881	3.269
1.8	1.231	1.285	1.356	1.449	1.57	1.726	1.928	2.185	2.505	2.883	3.271
1.9	1.244	1.295	1.364	1.455	1.575	1.73	1.93	2.187	2.507	2.884	3.272
2.0	1.256	1.306	1.373	1.462	1.58	1.734	1.933	2.189	2.508	2.885	3.273
2.1	1.268	1.316	1.381	1.469	1.585	1.737	1.935	2.19	2.509	2.886	3.274
2.2	1.281	1.327	1.39	1.476	1.59	1.741	1.938	2.192	2.511	2.887	3.276
2.3	1.293	1.337	1.399	1.482	1.595	1.744	1.94	2.194	2.512	2.888	3.277
2.4	1.305	1.348	1.407	1.489	1.6	1.748	1.943	2.195	2.513	2.889	3.278
2.5	1.317	1.358	1.416	1.496	1.605	1.752	1.945	2.197	2.514	2.891	3.279
2.6	1.329	1.368	1.425	1.503	1.611	1.755	1.948	2.199	2.516	2.892	3.28
2.7	1.341	1.379	1.433	1.51	1.616	1.759	1.95	2.2	2.517	2.893	3.281
2.8	1.353	1.389	1.442	1.517	1.621	1.763	1.953	2.202	2.518	2.894	3.282
2.9	1.365	1.399	1.45	1.524	1.626	1.767	1.955	2.204	2.519	2.895	3.283
3.0	1.377	1.41	1.459	1.531	1.631	1.77	1.958	2.205	2.52	2.896	3.284
3.1	1.388	1.42	1.468	1.537	1.637	1.774	1.96	2.207	2.521	2.897	3.285
3.2	1.4	1.43	1.476	1.544	1.642	1.778	1.963	2.208	2.523	2.898	3.286
3.3	1.411	1.44	1.485	1.551	1.647	1.782	1.965	2.21	2.524	2.899	3.287
3.4	1.422	1.45	1.493	1.558	1.652	1.785	1.968	2.212	2.525	2.899	3.288
3.5	1.433	1.46	1.501	1.565	1.658	1.789	1.97	2.213	2.526	2.9	3.288
3.6	1.444	1.469	1.51	1.572	1.663	1.793	1.973	2.215	2.527	2.901	3.289
3.7	1.455	1.479	1.518	1.579	1.668	1.797	1.975	2.217	2.528	2.902	3.29
3.8	1.466	1.489	1.526	1.585	1.673	1.8	1.978	2.218	2.529	2.903	3.291
3.9	1.477	1.498	1.535	1.592	1.679	1.804	1.98	2.22	2.53	2.904	3.292
4.0	1.487	1.508	1.543	1.599	1.684	1.808	1.983	2.221	2.531	2.905	3.293

Таблица Д.15 - Минимальные и максимальные значения фазы тока на входе рельсовой линии участка приближения от координат поезда и проводимостей изоляции ($l = 2$ км; $f = 50$ Гц)

x - координаты поезда, км	$\arg I_1$ max, В	$\arg I_1$ min, В
0	-20.906	-51.034
0.1	-20.923	-51.061
0.2	-20.961	-51.012
0.3	-21.03	-50.892
0.4	-21.146	-50.696
0.5	-21.327	-50.415
0.6	-21.593	-50.036
0.7	-21.97	-49.542
0.8	-22.486	-48.913
0.9	-23.161	-48.123
1	-24.008	-47.138
1.1	-25.015	-45.915
1.2	-26.126	-44.395
1.3	-27.217	-42.498
1.4	-28.07	-40.113
1.5	-28.347	-37.083
1.6	-27.575	-33.179
1.7	-25.145	-28.072
1.8	-20.33	-21.293
1.9	-12.235	-12.352
2	-0.319	-0.655

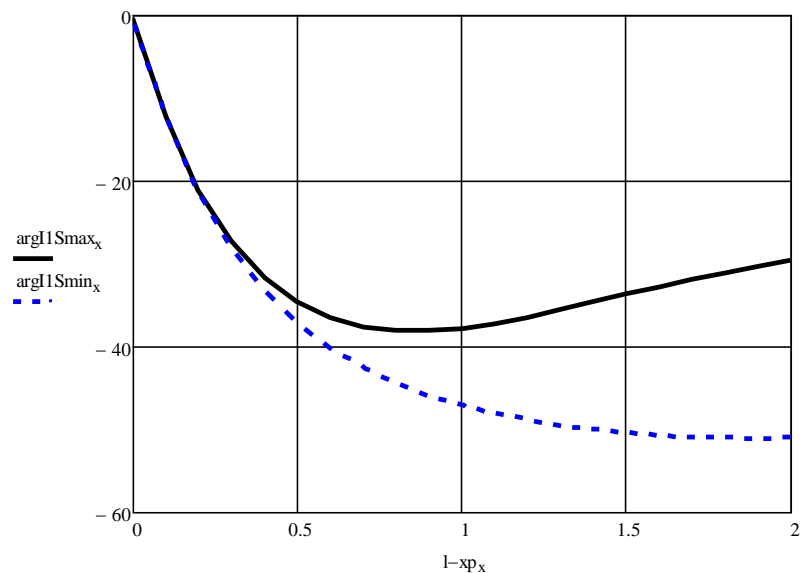


Рисунок Д.8 - Графики максимальных и минимальных значений фазы тока на входе рельсовой линии в зависимости от координаты шунта и проводимости изоляции при частоте сигнального тока 50 Гц

Таблица Д.16 - Результаты исследования изменения фазы тока на входе рельсовой линии участка приближения от координат поезда и проводимостей изоляции ($l = 2$ км; $f = 50$ Гц)

		x - координаты поезда, км									
		0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
g – проводимости изоляции участка приближения	0.1	-51.034	-51.061	-51.012	-50.892	-50.696	-50.415	-50.036	-49.542	-48.913	-48.123
	0.2	-46.716	-47.072	-47.357	-47.57	-47.704	-47.747	-47.682	-47.491	-47.151	-46.634
	0.3	-43.078	-43.652	-44.172	-44.632	-45.02	-45.321	-45.516	-45.582	-45.494	-45.221
	0.4	-40.03	-40.737	-41.412	-42.045	-42.622	-43.123	-43.527	-43.809	-43.938	-43.88
	0.5	-37.48	-38.258	-39.025	-39.773	-40.483	-41.136	-41.705	-42.164	-42.478	-42.609
	0.6	-35.344	-36.148	-36.963	-37.779	-38.58	-39.341	-40.038	-40.64	-41.11	-41.406
	0.7	-33.549	-34.348	-35.178	-36.029	-36.884	-37.722	-38.514	-39.23	-39.829	-40.268
	0.8	-32.034	-32.809	-33.631	-34.491	-35.374	-36.26	-37.121	-37.925	-38.631	-39.192
	0.9	-30.749	-31.487	-32.284	-33.135	-34.027	-34.939	-35.847	-36.717	-37.51	-38.175
	1.0	-29.652	-30.346	-31.109	-31.939	-32.822	-33.744	-34.681	-35.6	-36.461	-37.213
	1.1	-28.711	-29.357	-30.08	-30.879	-31.744	-32.663	-33.613	-34.565	-35.48	-36.304
	1.2	-27.898	-28.496	-29.175	-29.937	-30.777	-31.682	-32.635	-33.607	-34.561	-35.445
	1.3	-27.193	-27.742	-28.376	-29.099	-29.906	-30.791	-31.737	-32.719	-33.701	-34.633
	1.4	-26.576	-27.079	-27.668	-28.349	-29.121	-29.98	-30.911	-31.895	-32.895	-33.865
	1.5	-26.034	-26.492	-27.038	-27.677	-28.412	-29.24	-30.152	-31.129	-32.14	-33.138
	1.6	-25.555	-25.971	-26.474	-27.072	-27.768	-28.564	-29.452	-30.417	-31.432	-32.451
	1.7	-25.129	-25.506	-25.969	-26.526	-27.183	-27.945	-28.806	-29.755	-30.767	-31.8
	1.8	-24.749	-25.089	-25.513	-26.031	-26.65	-27.377	-28.209	-29.138	-30.142	-31.183
	1.9	-24.406	-24.713	-25.101	-25.581	-26.163	-26.854	-27.656	-28.562	-29.555	-30.599
	2.0	-24.096	-24.373	-24.727	-25.172	-25.717	-26.373	-27.143	-28.025	-29.003	-30.045
	2.1	-23.815	-24.064	-24.386	-24.797	-25.307	-25.929	-26.667	-27.522	-28.482	-29.52
	2.2	-23.558	-23.781	-24.075	-24.453	-24.93	-25.517	-26.224	-27.051	-27.992	-29.021
	2.3	-23.322	-23.521	-23.788	-24.137	-24.582	-25.136	-25.811	-26.61	-27.53	-28.547
	2.4	-23.104	-23.282	-23.524	-23.845	-24.259	-24.782	-25.425	-26.196	-27.093	-28.097
	2.5	-22.902	-23.06	-23.28	-23.575	-23.96	-24.452	-25.065	-25.807	-26.68	-27.669
	2.6	-22.714	-22.855	-23.053	-23.324	-23.682	-24.145	-24.728	-25.442	-26.29	-27.261

	2.7	-22.538	-22.663	-22.842	-23.09	-23.423	-23.858	-24.411	-25.097	-25.92	-26.873
	2.8	-22.373	-22.483	-22.645	-22.871	-23.18	-23.589	-24.114	-24.772	-25.57	-26.504
	2.9	-22.217	-22.315	-22.46	-22.667	-22.953	-23.336	-23.835	-24.465	-25.238	-26.151
	3.0	-22.07	-22.156	-22.286	-22.475	-22.74	-23.099	-23.571	-24.175	-24.922	-25.815
	3.1	-21.93	-22.005	-22.122	-22.295	-22.54	-22.876	-23.323	-23.901	-24.623	-25.494
	3.2	-21.797	-21.862	-21.967	-22.124	-22.35	-22.665	-23.088	-23.64	-24.338	-25.187
	3.3	-21.67	-21.727	-21.82	-21.963	-22.172	-22.466	-22.866	-23.394	-24.067	-24.894
	3.4	-21.549	-21.597	-21.68	-21.81	-22.003	-22.278	-22.656	-23.16	-23.808	-24.614
	3.5	-21.432	-21.474	-21.547	-21.665	-21.842	-22.099	-22.456	-22.937	-23.562	-24.345
	3.6	-21.319	-21.355	-21.42	-21.526	-21.69	-21.929	-22.266	-22.725	-23.327	-24.088
	3.7	-21.211	-21.241	-21.298	-21.394	-21.544	-21.768	-22.086	-22.523	-23.102	-23.842
	3.8	-21.106	-21.131	-21.181	-21.268	-21.406	-21.614	-21.914	-22.33	-22.888	-23.605
	3.9	-21.004	-21.025	-21.069	-21.147	-21.273	-21.467	-21.75	-22.146	-22.682	-23.379
	4.0	-20.906	-20.923	-20.961	-21.03	-21.146	-21.327	-21.593	-21.97	-22.486	-23.161

		x - координаты поезда, км										
		1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
g – проводимости изоляции участка приближения	0.1	-47.138	-45.915	-44.395	-42.498	-40.113	-37.083	-33.179	-28.072	-21.293	-12.235	-0.319
	0.2	-45.905	-44.917	-43.612	-41.906	-39.689	-36.801	-33.012	-27.991	-21.269	-12.239	-0.325
	0.3	-44.723	-43.954	-42.85	-41.328	-39.273	-36.522	-32.846	-27.91	-21.245	-12.244	-0.332
	0.4	-43.593	-43.025	-42.111	-40.763	-38.863	-36.247	-32.681	-27.83	-21.221	-12.248	-0.34
	0.5	-42.512	-42.13	-41.393	-40.211	-38.461	-35.976	-32.518	-27.75	-21.198	-12.253	-0.348
	0.6	-41.479	-41.267	-40.697	-39.671	-38.066	-35.708	-32.357	-27.671	-21.174	-12.258	-0.357
	0.7	-40.492	-40.436	-40.02	-39.144	-37.677	-35.443	-32.196	-27.592	-21.151	-12.264	-0.366
	0.8	-39.55	-39.636	-39.364	-38.629	-37.296	-35.182	-32.037	-27.514	-21.128	-12.269	-0.376
	0.9	-38.651	-38.865	-38.727	-38.127	-36.921	-34.924	-31.88	-27.436	-21.104	-12.274	-0.386
	1.0	-37.793	-38.123	-38.11	-37.635	-36.553	-34.669	-31.724	-27.358	-21.081	-12.279	-0.396
	1.1	-36.974	-37.409	-37.51	-37.156	-36.191	-34.418	-31.569	-27.28	-21.057	-12.285	-0.406
	1.2	-36.193	-36.722	-36.929	-36.687	-35.836	-34.169	-31.415	-27.203	-21.034	-12.29	-0.417
	1.3	-35.448	-36.061	-36.366	-36.23	-35.487	-33.924	-31.262	-27.126	-21.01	-12.294	-0.427
	1.4	-34.737	-35.425	-35.82	-35.783	-35.144	-33.682	-31.111	-27.049	-20.986	-12.299	-0.437

1.5	-34.058	-34.813	-35.29	-35.347	-34.807	-33.443	-30.961	-26.973	-20.962	-12.303	-0.447
1.6	-33.411	-34.224	-34.776	-34.921	-34.476	-33.206	-30.812	-26.896	-20.938	-12.308	-0.457
1.7	-32.792	-33.657	-34.278	-34.505	-34.151	-32.973	-30.665	-26.821	-20.914	-12.312	-0.467
1.8	-32.202	-33.111	-33.794	-34.1	-33.831	-32.743	-30.518	-26.745	-20.89	-12.316	-0.477
1.9	-31.637	-32.585	-33.326	-33.703	-33.518	-32.516	-30.373	-26.669	-20.866	-12.319	-0.486
2.0	-31.098	-32.08	-32.871	-33.316	-33.21	-32.291	-30.228	-26.594	-20.841	-12.323	-0.496
2.1	-30.583	-31.592	-32.431	-32.938	-32.907	-32.069	-30.085	-26.519	-20.816	-12.326	-0.505
2.2	-30.091	-31.123	-32.003	-32.569	-32.61	-31.85	-29.943	-26.444	-20.791	-12.329	-0.514
2.3	-29.619	-30.671	-31.588	-32.209	-32.318	-31.634	-29.803	-26.37	-20.767	-12.332	-0.524
2.4	-29.168	-30.236	-31.186	-31.857	-32.031	-31.421	-29.663	-26.296	-20.741	-12.334	-0.532
2.5	-28.737	-29.816	-30.795	-31.514	-31.749	-31.21	-29.524	-26.222	-20.716	-12.337	-0.541
2.6	-28.323	-29.411	-30.416	-31.178	-31.472	-31.002	-29.387	-26.148	-20.691	-12.339	-0.55
2.7	-27.927	-29.021	-30.048	-30.85	-31.2	-30.796	-29.25	-26.075	-20.666	-12.341	-0.558
2.8	-27.548	-28.644	-29.691	-30.53	-30.933	-30.593	-29.115	-26.002	-20.64	-12.343	-0.566
2.9	-27.184	-28.281	-29.345	-30.218	-30.67	-30.393	-28.981	-25.929	-20.615	-12.345	-0.575
3.0	-26.834	-27.93	-29.008	-29.912	-30.413	-30.195	-28.848	-25.856	-20.589	-12.346	-0.582
3.1	-26.499	-27.592	-28.681	-29.614	-30.159	-29.999	-28.716	-25.784	-20.563	-12.347	-0.59
3.2	-26.177	-27.265	-28.364	-29.322	-29.911	-29.806	-28.585	-25.712	-20.538	-12.349	-0.598
3.3	-25.868	-26.95	-28.056	-29.038	-29.666	-29.616	-28.455	-25.64	-20.512	-12.35	-0.606
3.4	-25.571	-26.645	-27.756	-28.759	-29.426	-29.427	-28.326	-25.568	-20.486	-12.35	-0.613
3.5	-25.285	-26.35	-27.465	-28.487	-29.19	-29.242	-28.198	-25.497	-20.46	-12.351	-0.62
3.6	-25.01	-26.065	-27.182	-28.222	-28.958	-29.058	-28.071	-25.426	-20.434	-12.352	-0.627
3.7	-24.745	-25.789	-26.907	-27.962	-28.73	-28.877	-27.946	-25.355	-20.408	-12.352	-0.634
3.8	-24.49	-25.523	-26.639	-27.708	-28.506	-28.698	-27.821	-25.285	-20.382	-12.352	-0.641
3.9	-24.245	-25.265	-26.379	-27.46	-28.286	-28.521	-27.697	-25.215	-20.356	-12.352	-0.648
4.0	-24.008	-25.015	-26.126	-27.217	-28.07	-28.347	-27.575	-25.145	-20.33	-12.352	-0.655

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

ПАТЕНТ НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 651 379** ⁽¹³⁾ **C2**

(51) МПК

[B61L 29/00 \(2006.01\)](#)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: действует (последнее изменение статуса: 27.06.2018)
Пошлина: учтена за 3 год с 12.04.2018 по 11.04.2019(21)(22) Заявка: [2016113947](#), 11.04.2016(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
11.04.2016Дата регистрации:
19.04.2018Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 11.04.2016(43) Дата публикации заявки: 16.10.2017 Бюл.
№ [29](#)(45) Опубликовано: [19.04.2018](#) Бюл. № [11](#)(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: **RU 2281219 C1, 10.08.2006. SU**
1342796 A1, 07.10.1987. RU 2342274 C2,
27.12.2008. US 2011/0095139 A1, 28.04.2011.Адрес для переписки:
443066, г. Самара, ул. Свободы, 2В,
СамГУПС, отдел защиты
интеллектуальной собственности

(72) Автор(ы):

Тарасов Евгений Михайлович (RU),
Железнов Дмитрий Валерианович (RU),
Герус Владимир Леонидович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Самарский
государственный университет путей
сообщения" (СамГУПС) (RU)

(54) Устройство управления автоматической переездной сигнализацией

(57) Реферат:

Изобретение относится к области железнодорожной автоматики для управления переездной сигнализацией. Устройство включает источник питания, первый датчик тока, вычислительно-логический блок, блок хранения коэффициентов уравнения, блок корректировки коэффициентов, блок сравнения, блок управления автоматической переездной сигнализацией, блок согласования аппаратуры питающего конца, рельсовую линию с изолирующими стыками, блок согласования аппаратуры релейного конца, второй датчик тока и приемник рельсовой цепи. Достигается повышение безопасности движения.

1 ил.

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

**АКТЫ
ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ
ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ**



Российская Федерация
Акционерное Общество
«Волжско-Уральская транспортная компания»
(АО «ВолгаУралТранс»)



УТВЕРЖДАЮ
Технический директор
АО «ВолгаУралТранс»
П.Н. Добровольский
2018г.

об использовании результатов диссертационной работы Геруса В.Л. по теме «Повышение безопасности на железнодорожных переездах на основе совершенствования управления автоматической переездной сигнализацией» в АО «ВолгаУралТранс» в период с 2017 по 2018 годы.

Настоящим актом удостоверяется, что экспериментальный образец информационно-измерительной системы с уравнением координаты поезда в вычислителе для системы управления автоматической переездной сигнализацией, разработанной и созданной Герусом В.Л. в процессе работы над кандидатской диссертацией, включен в существующий комплекс автоматической переездной сигнализации на станции Самарка. Разработанный экспериментальный образец позволил контролировать координату поездов на участке приближения и заблаговременно управлять АПС.

Использование экспериментального образца информационно-управляющей системы непрерывного определения координаты и скорости поезда с самонастраивающимся уравнением координаты позволило существенно расширить функциональные возможности системы АПС по минимизации времени закрытого состояния переезда.

Внедрение разработанного информационно-измерительного устройства в систему АПС на переезде позволило обеспечить непрерывный автоматический контроль координат поезда и архивировать измеренные значения в электронном журнале.

Заместитель Технического
директора

С.П. Добровольский

Начальник Пензенского РТК



Ю.Е. Солоп

Главный ревизор по БД

С.А. Воронин

От СамГУПС: научный
руководитель д.т.н.проф.

Е.М. Тарасов



ФИЛИАЛ АО «РОСЖЕЛДОРПРОЕКТ»
Самарский проектно-исследовательский институт
«ЖЕЛДОРПРОЕКТ ПОВОЛЖЬЯ»

УТВЕРЖДАЮ

Главный инженер филиала

С.П. Чуносков

«___» _____ 2018 г.

АКТ

об использовании результатов диссертационной работы Геруса В.Л. по теме
«Повышение безопасности на железнодорожных переездах на основе
совершенствования управления автоматической переездной сигнализацией» в
Самарском проектно-исследовательском институте «Желдорпроект Поволжья»

При выполнении проектных работ по оснащению железнодорожных переездов автоматической переездной сигнализацией (в том числе при их реконструкции, техническом перевооружении, капитальном ремонте), специалистами института производятся расчеты параметров рельсовых цепей участков приближений к переезду, определяется их длина в зависимости от максимальной скорости движения поездов, учитываются режимы их работы.

Настоящим актом подтверждается, что математические модели напряжений и токов на входе участков приближения к переезду и методика проектирования микропроцессорного устройства информационно-измерительной системы автоматической переездной сигнализации с непрерывным определением координат поезда, разработанные Герусом В.Л., в процессе работы над кандидатской диссертацией, учтены в заданиях на расширение функциональных возможностей модулей САПР проектирования устройств СЦБ и связи, применяемых в СПИИ «Желдорпроект Поволжья».

Внедрение разработанных моделей и методик в технологический процесс проектирования систем интервального управления движением поездов, включая автоматическую переездную сигнализацию, позволит расширить функциональные возможности применяемых модулей САПР, определить параметры рельсовых цепей участка приближения к переезду в современных условиях при обращении скоростных и тяжеловесных поездов, повысить эффективность проектируемых систем автоматической переездной сигнализации.

Начальник отдела СЦБ и связи

А.А. Шапорин



АКТ

об использовании результатов диссертационной работы Геруса В.Л. на тему
 «Повышение безопасности на железнодорожных переездах на основе
 совершенствования управления автоматической переездной сигнализацией» в
 учебном процессе Самарского государственного университета путей
 сообщения (СамГУПС)

Мы, нижеподписавшиеся, проректор по учебной работе и
 международным связям СамГУПС, к.т.н., доцент Гаранин М.А., заведующий
 кафедрой «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном
 транспорте» (АТС), к.т.н., доцент Гуменников В.Б., составили настоящий акт о
 том, что результаты кандидатской диссертации Геруса В.Л. внедрены в
 учебный процесс на кафедре «АТС», а именно:

1. В курсе дисциплины «Автоматика и телемеханика на перегонах», которую читает к.т.н., профессор Леушин В.Б. разработан практикум по современным системам переездной сигнализации.
2. В курсе дисциплины «Электромагнитная совместимость и средства защиты» введен раздел «Электромагнитная совместимость рельсовых цепей участка приближения к переезду и высоковольтных линий автоблокировки».
3. В курсе дисциплины «Микропроцессорные информационно-управляющие системы» поставлен комплекс лабораторных работ по моделированию и исследованию рельсовых цепей участка приближения к переезду.

Проректор по учебной работе и
 международным связям, к.т.н., доц.



Гаранин М.А.

Заведующий кафедрой «АТС», к.т.н., доц.



Гуменников В.Б.