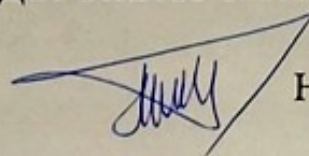


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ  
ГОСУДАРСТВЕННАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНЕЦКИЙ ИНСТИТУТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА»



На правах рукописи

УДК 004.942

**Трунаев Андрей Михайлович**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ФОРМИРОВАНИЯ  
ИЗВЕЩЕНИЯ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ  
ПРОЦЕССОМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ  
ПЕРЕЕЗДОВ**

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

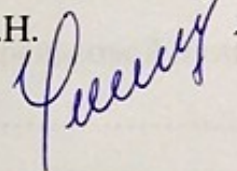
**Диссертация**

на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

Чепцов М.Н.



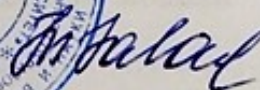
Идентичность всех экземпляров

ПОДТВЕРЖДАЮ

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 01.024.04

канд. тех. наук, доцент



Т.В. Завадская

Донецк – 2020

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
РАЗДЕЛ 1 АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗВЕЩЕНИЯ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕЕЗДОВ.....	11
1.1. Характеристики железнодорожных переездов.....	11
1.2. Железнодорожный переезд как объект управления .....	15
1.3. Методы и средства формирования извещения о приближении подвижного состава.....	17
1.4 Выводы по разделу 1.....	39
РАЗДЕЛ 2 СИНТЕЗ МОДЕЛЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ПЕРЕЕЗДОМ .....	41
2.1. Анализ вибрационных характеристик рельсовой линии.....	41
2.2. Математическая модель обработки сигнала виброускорения рельса...	48
2.3. Структурно-функциональная модель управления железнодорожным переездом.....	50
2.4 Выводы по разделу 2.....	58
РАЗДЕЛ 3 МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПЕРЕЕЗДА.....	59
3.1 Исследование динамических свойств математической модели виброускорения рельса.....	59
3.2 Экспериментальное исследование отклика рельсовой линии на единичное импульсное воздействие.....	61
3.3 Модель идентификации подвижной единицы по признакам виброускорения.....	67
3.4 Проверка адекватности математической модели виброускорения рельсовой линии.....	70
3.5 Моделирование процесса функционирования железнодорожных переездов с учетом виброускорения рельсовой линии .....	74

3.6 Выводы по разделу 3.....	81
РАЗДЕЛ 4 СТРУКТУРА ТЕХНИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ПЕРЕЕЗДОМ.....	82
4.1 Обоснование выбора элементной базы системы управления железнодорожным переездом.....	82
4.2 Разработка схем управления функционирования железнодорожного переезда.....	86
4.3 Разработка структуры технической реализации подключения средств формирования извещения.....	101
4.4 Выводы по разделу 4.....	121
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	122
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	124
ПРИЛОЖЕНИЕ А Копии документов о внедрении результатов исследований.....	138

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** Место пересечения железнодорожных путей и автомобильных дорог в одном уровне, является сложным и опасным элементом транспортной сети. В настоящее время в 98% случаев аварий на переездах происходят по вине водителей. На практике время включения заградительной сигнализации для автотранспорта не зависит от скорости движения подвижного состава по участку извещения, что увеличивает время простоя автотранспорта. Как следствие, нервозность водителей и проезд переездных заградительных устройств в закрытом состоянии, что влечет за собой увеличение аварий на переездах (в среднем по восемь зарегистрированных нарушений правил дорожного движения в год на каждый переезд). В связи с этим, особую значимость приобретают вопросы обеспечения безопасности движения автотранспорта и поездов на переездах.

В системах автоматической переездной сигнализации (АПС) применяются различные методы формирования сигнала о приближении подвижного состава. Согласно требованиям безопасности, методам контроля автоматики и телемеханики на железнодорожных переездах, формирование извещения на переезд определяется строго оговоренными условиями. При этом ни один из методов не учитывает возможность управления заградительными устройствами железнодорожного переезда на основании текущей скорости подвижной единицы на участке извещения. Таким образом, существующие методы и средства формирования извещения не являются универсальными и гибкими.

Перечисленные проблемы обуславливают актуальность постановки и решения задачи совершенствования методов и средств формирования извещения в системах автоматического управления процессом функционирования железнодорожных переездов с учетом текущей скорости и местоположения поезда. Разработка и реализация усовершенствованных методов и средств формирования извещения позволит уменьшить аварийность на железнодорожных

переездах с соблюдением требований техники безопасности на железнодорожном транспорте.

**Степень разработанности темы исследования.** Вопросами подачи извещения на переезд посвящены работы отечественных и зарубежных ученых.

Вопросами разработки новых методов подачи извещения занимались такие ученые, как Мохонько В. П., Герус В.Л., Федухин. А.В., Никитин А. Б.

Отечественные ученые в своих работах рассмотрели вопросы подачи извещения с применением современных методов автоматического управления переездами. Разработана методика, на основании полинома Колмогорова – Габора самонастройки уравнения вычисления координаты поезда, основанная на коррекции ошибок вычисления местоположения, сравнением вычисленного значения координаты с реальной, с последующей минимизацией результирующей ошибки. По разработанной методике селекции и исследования первичных признаков рельсовых цепей, получены результаты, позволяющие минимизировать погрешность определения координаты подвижной единицы с точностью до 47 м.

Несмотря на значительный вклад ученых и практиков, работающих по направлению формирования информации о приближении поезда к переезду, вопрос включения заградительных устройств с учетом скорости и координаты поезда на участке извещения требует дальнейших исследований.

**Цель и задачи исследований.** Цель работы – совершенствование методов и средств формирования извещения в системах автоматического управления процессом функционирования железнодорожных переездов на основе виброускорения рельсовой линии, что позволяет уменьшить время простоя автотранспорта.

Для достижения цели поставлены и решены следующие задачи:

1. Выполнить анализ методов формирования извещения в системах автоматической переездной сигнализации и обосновать выбор способа определения скорости и местоположения поезда на участке извещения по виброускорению рельсовой линии.

2. Разработать математическую модель управления заградительными устройствами железнодорожного переезда на основании местоположения и скорость поезда на участке извещения по виброускорению рельсовой линии.

3. Провести имитационное компьютерное моделирование математической модели, определяющей вертикальные колебания рельса при воздействии подвижной динамической нагрузки.

4. Разработать структуру технических средств системы автоматического управления железнодорожным переездом, учитывающую местоположение и скорость поезда на участке извещения, на основе современных средств микропроцессорной техники.

**Объект исследования** – процесс функционирования системы автоматического управления железнодорожных переездов.

**Предмет исследования** – методы и средства формирования сигнала извещения в системах автоматического управления железнодорожных переездов.

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

1. Получила дальнейшее развитие динамическая модель вертикальных колебаний рельса как балки на упругом основании Фусса-Винклера под воздействием подвижной динамической силы, отражающая взаимосвязь движущейся переменной нагрузки к колебаниям сечения рельса, позволяющая определять расстояние до подвижного железнодорожного состава.

2. Получил дальнейшее развитие метод формирования извещения в системах автоматического управления процессом функционирования железнодорожных переездов, который учитывает местоположение и скорость поезда на участке извещения на основании виброускорения рельсовой линии.

3. Впервые предложена математическая модель определения фактического времени приближения поезда к железнодорожному переезду на участке извещения.

**Теоретическая и практическая значимость работы.**

Теоретическая значимость результатов исследования заключается в раскрытии особенностей работы системы автоматической переездной

сигнализации, учитывающая местоположение и скорость поезда на участке извещения по виброускорению рельсовой линии, на основании современных средств промышленной автоматизации.

**Практическая значимость результатов исследования** заключается в:

- разработке алгоритма функционирования модернизированной системы управления заградительными устройствами на основании усовершенствованного метода подачи извещения приближения поезда к переезду;

- разработке структуры технических средств системы подачи извещения автоматической переездной сигнализации;

- обосновании рекомендаций по улучшению эффективности функционирования автоматической переездной сигнализацией, принятых к внедрению на ГП «Донецкая железная дорога».

**Реализация выводов и рекомендаций работы подтверждается:**

- внедрением результатов исследования диссертационной работы в виде рекомендаций по улучшению эффективности функционирования автоматической переездной сигнализацией на ГП «Донецкая железная дорога» (справка о внедрении № 2005/1210 от 22.07.19 г. выдана службой сигнализации и связи ГП «Донецкая железная дорога»)

- внедрением в учебный процесс ГООВПО «ДОНЕЦКИЙ ИНСТИТУТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА» (справка №529/01-02 от 19.07.19 г. принята к внедрению в учебный процесс при проведении занятий по дисциплинам «Автоматика телемеханика на перегонах», «Микропроцессорные информационные управляющие системы автоматики и телемеханики», для студентов направления подготовки 23.05.05 «Системы обеспечения движения поездов», что отражено в учебных программах вышеуказанных дисциплин).

**Методология и методы исследования.** Для решения поставленных задач использованы: методы математического моделирования; системный подход к анализу динамических процессов системы; корреляционный анализ данных; методы регрессионного анализа данных; методы эмпирического исследования и анализа результатов эксперимента; методология имитационного компьютерного

моделирования; теоретические методы исследования и анализа научных трудов отечественных и зарубежных авторов, посвященные проблемам управления заградительными устройствами.

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

1. На основании экспериментальных исследований и методов математического моделирования установлено, что местоположение и скорость поезда на участке извещения можно определить на основании измерения виброускорения рельсовой линии.

2. Установлено, что использование усовершенствованного метода формирования извещения на основании определения местоположения и скорости поезда в системе автоматического управления процессом функционирования железнодорожных переездов позволит уменьшить время простоя автотранспорта в 2-5 раза по сравнению с существующими системами управления заградительными устройствами.

**Степень достоверности и апробации результатов.** Достоверность результатов исследования подтверждается достаточным количеством наблюдений, современными методами исследования, которые соответствуют поставленным в работе целям и задачам. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, подкреплены убедительными фактическими данными, наглядно представленными в приведенных таблицах и рисунках. Подготовка, статистический анализ и интерпретация полученных результатов проведены с использованием современных методов обработки информации и статистического анализа.

### **Апробация результатов диссертации.**

Основные положения и выводы диссертационной работы докладывались и обсуждались на: V Международной научно-практической конференции «Безопасность и электромагнитная совместимость на железнодорожном транспорте», г. Днепропетровск, 2012 г.; XXVI Международной научно-технической конференции «Перспективные компьютерные управляющие телекоммуникационные системы для железнодорожного транспорта Украины», г.



Алушта, 2012 г.; LXXV Международной научно-практической конференции «Развитие научной и инновационной деятельности на транспорте», г. Харьков, 2013 г.; XXVI Международной научно-практической конференция «Внедрение перспективных микропроцессорных систем железнодорожной автоматики и средств телекоммуникаций на базе цифровизации», г. Алушта, 2013 г.; Международной научно-практической конференции «Научно-технические аспекты комплексного развития транспортной отрасли», Донецк 2015 г.; II Международной научно-практической конференции «Научно-технические аспекты комплексного развития транспортной отрасли», Донецк, 2016 г.; III Международной научно-практической конференция «Научно-технические аспекты комплексного развития железнодорожного транспорта», г. Донецк, 2017 г.; IV Международной научно-практической конференция: «Актуальные проблемы развития транспортно-промышленного комплекса: Инфраструктурный, управленческий и образовательный аспекты», Донецк, 2017 г.; II Международной научно-практической конференции «Транспорт и логистика: инновационное развитие в условиях глобализации технологических и экономических связей». Ростов-на-Дону, 2018 г.; XV Международной научно-практической конференции: «Актуальные проблемы развития транспортно-промышленного комплекса: инфраструктурный, управленческий и образовательный аспекты», Донецк, 2018 г.; V Международной научно-практической конференции «Научно-технические аспекты комплексного развития железнодорожного транспорта», Донецк, 2019 г.; XVI Международной научно-практической конференции: «Актуальные проблемы развития транспортно-промышленного комплекса: инфраструктурный, управленческий и образовательный аспекты», Донецк, 2019 г.

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

**Публикации.** Основные научные результаты диссертации опубликованы в 18 научных работах, в том числе: 3 работы в изданиях, входящих в перечень специализированных научных изданий, утвержденный ВАК ДНР; 1 работа в издании, входящем в перечень специализированных научных изданий, утвержденный ВАК Украины; 14 – по материалам конференций.

**Соответствие темы и содержания диссертации паспорту специальности.**

Тема и содержание диссертации «Совершенствование методов и средств формирования извещения в системах автоматического управления процессом функционирования железнодорожных поездов» соответствуют требованиям паспорта специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям) (технические науки)», в частности: п.4 «Теоретические основы и методы математического моделирования организационно-технологических систем и комплексов, функциональных задач и объектов управления и их алгоритмизация»; п.5 «Теоретические основы, средства и методы промышленной технологии создания АСУТП, АСУП, АСТПП и др.»; п.15 «Теоретические основы, методы и алгоритмы интеллектуализации решения прикладных задач при построении АСУ широкого назначения (АСУТП, АСУП, АСТПП и др.)»; п.17 «Использование методов автоматизированного проектирования для повышения эффективности разработки и модернизации АСУ»; п.18 «Средства и методы проектирования технического, математического, лингвистического и других видов обеспечения АСУ»; п.19 «Разработка методов обеспечения совместимости и интеграции АСУ, АСУТП, АСУП, АСТПП и других систем и средств управления».

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 разделов, заключения, списка литературы из 125 источников, 1 приложения на 2-х страницах, содержит 44 рисунка и 4 таблицы. Общий объем текста диссертации – 139 страницы.

## РАЗДЕЛ 1

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗВЕЩЕНИЯ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕЕЗДОВ

## 1.1 Характеристики железнодорожных переездов

Железнодорожный переезд – пересечение железнодорожного пути с автомобильными дорогами, в одном уровне, оборудованное устройствами, обеспечивающими безопасное проследование, как подвижных единиц, так и автомобильного транспорта. Переезды являются объектами повышенной опасности, поэтому от участников движения требуется четкое соблюдение установленных правил [1].

Железнодорожные переезды разделены по категориям.

К 1-й категории относятся переезды расположенные в местах пересечения железнодорожного пути с автомобильными дорогами I и II категорий, с городскими улицами и дорогами, по которым осуществляются регулярные рейсы общественного транспорта, при пересечении четырех и более главных путей на станции.

Ко 2-й категории относятся переезды расположенные в местах пересечения железнодорожного пути с автомобильными дорогами III категории, с дорогами по которым осуществляются регулярные рейсы общественного транспорта, с интенсивностью движения в часы пик менее 8 единиц в час, с городскими улицами по которым не осуществляется движение троллейбусов, автобусов с интенсивностью движения более 50 тыс. единиц в сутки, при пересечении трех главных путей на станции.

К 3-й категории относятся переезды расположенные в местах пересечения железнодорожного пути с автомобильными дорогами с интенсивностью движения 10 тыс. единиц в сутки и удовлетворительной видимостью. При неудовлетворительной видимости более 1 тыс. единиц в сутки.

К 4-й категории относятся переезды расположенные в местах пересечения железнодорожного пути с автомобильными дорогами, с низкой интенсивностью движения.

Переезды первых двух категорий, стараются заменить путепроводами. Переезды первых 2-х категорий и частично 3-й обслуживаются дежурными по переездам. Переезды расположенные в пределах станции, на которой выполняется большой объем маневровой работы, так же обслуживаются дежурными [2].

В зависимости от интенсивности движения и скорости передвижения автомобильного и железнодорожного транспорта переезды оборудуются устройствами ограждения.

Устройства ограждения на железнодорожном транспорте — это комплекс технических средств и схемных решений, направленных на обеспечение безопасного движения подвижного состава, автомобильного и другого транспорта, сохранности грузов, пассажиров и жизни людей [3].

К ограждающим устройствам, которые используются на железнодорожных переездах, относятся переездные светофоры, автоматические шлагбаумы, устройства заграждения переездов, противотаранные устройства.

Автоматические шлагбаумы и заградительные устройства как комплекс устройств ограждения переездов в зависимости от области применения следует подразделять на три варианта применения [4]:

- автоматическая переездная сигнализация (АПС) с основными шлагбаумами с перекрытием от 1/2 до 2/3 ширины проезжей части с правой стороны по ходу движения транспортных средств;
- АПС с основными и дополнительными шлагбаумами, целиком перекрывающими проезжую часть;
- АПС с основными шлагбаумами с перекрытием от 1/2 до 2/3 ширины проезжей части с правой стороны по ходу движения транспортных средств и дополнительными механическими заградительными устройствами (УЗП), целиком перекрывающими проезжую часть.

Железнодорожные переезды обязательно должны оборудоваться световой и звуковой сигнализацией.

УЗП является техническим средством повышения безопасности на переезде в дополнение к АПС со шлагбаумами как заградительное устройство, исключающее выезд автотранспорта на переезд при закрытом положении шлагбаумов и включенной световой и звуковой сигнализации.

В соответствии с требованиями правил технической эксплуатации (ПТЭ):

- АПС должна начинать подачу сигнала остановки в сторону автомобильной дороги, а шлагбаумы принимать закрытое положение за время, необходимое для заблаговременного освобождения переезда транспортными средствами до подхода поезда к переезду;

- регулируемые переезды должны в обязательном порядке оборудоваться световой, звуковой сигнализацией, а в отдельных случаях – автоматическими шлагбаумами и заградительными устройствами;

- автоматическая переездная сигнализация должна продолжать действовать, а автоматические шлагбаумы должны оставаться в закрытом положении до полного освобождения переезда поездом.

На всех железнодорожных переездах железнодорожный транспорт имеет преимущество в движении перед остальными видами транспорта.

Переездной автошлагбаум является основной частью комплекса устройств для ограждения железнодорожных переездов в одном уровне с автомобильными магистралями и дорогами городского транспорта. Автошлагбаум не считается техническим средством, всецело исключающим возможность выезда на железнодорожный переезд автотранспорта, после закрытия переезда. В следствии этого автошлагбаум, наряду со световой и звуковой сигнализацией считается механической сигнализацией, предупреждающей транспортные средства о запрете выезда на переезд, при приближении поезда [5].

Переездной шлагбаум выполняет следующие функции:

- устойчивое удержание заградительного бруса в закрытом положении;

- создание необходимого усилия для подъема заградительного бруса шлагбаума из закрытого положения в открытое положение и обратно;
- устойчивое удержание заградительного бруса в открытом положении с нормированным усилием;
- при переводе шлагбаума из открытого положения в закрытое положение и обратно обеспечивает возможность остановки заградительного бруса при возникновении препятствия, а после его устранения, заградительный брус должен закончить свое движение;
- обеспечивает в закрытом положении поворот в горизонтальной плоскости на угол до  $90^\circ$ , в случае наезда на него автотранспорта со стороны проезда;
- обеспечивает непрерывный контроль положения и состояния заградительного бруса шлагбаума, включая контроль его целостности;
- обеспечивает исправное, работоспособное или защитное состояние независимо от времени суток, погодных условий и других внешних дестабилизирующих факторов.

Устройство поворота заградительного бруса в горизонтальной плоскости должно обеспечивать автоматический возврат бруса в рабочее положение после выезда автотранспорта.

Заградительный брус должен быть надежно зафиксирован, чтобы исключить возможность открытия от ветровой нагрузки.

Конструктивно шлагбаум должен иметь механизм гашения кинетической энергии движущихся масс шлагбаума в конце перевода заградительного бруса, который должен гарантировать перевод без ударов, колебаний.

Конструкция узлов шарнирных и резьбовых соединений должна обладать свойствами естественных замков, исключая возможность выпадения болтов, валиков, пальцев и др. в условиях эксплуатации, даже в случае повреждения и излома фиксирующих устройств.

При использовании электродвигателей переменного тока в шлагбаумах, должны соблюдаться следующие требования:

- электропитание устройств переездной автоматики должно обеспечиваться как приёмников 1-й категории;

- перевод заградительного бруса шлагбаума в закрытое положение должен осуществляться под действием собственного веса;

- электроприводы шлагбаумов должны иметь возможность ручного управления переводом в закрытое и открытое положение.

Заградительный брус автоматического шлагбаума должен перекрывать от 1/2 до 2/3 ширины проезжей части с правой стороны по ходу движения автотранспорта. При этом с левой стороны должна остаться не перекрытая заградительным брусом проезжая часть шириной не менее 3 м.

Светофоры со шлагбаумами при длине бруса до 4 м устанавливаются на расстояние не менее 6 м, а при длине бруса шлагбаума 6 и 8 м – на расстояние не менее 8 и 10 м соответственно от крайнего рельса.

При установке переездного светофора и шлагбаума на разных основаниях, шлагбаумы устанавливаются за светофором со стороны автодороги.

## 1.2 Железнодорожный переезд как объект управления.

Важным этапом в разработке системы управления является анализ железнодорожного переезда как объекта управления, т.е. выявление всех существенных входных, выходных и возмущающих переменных, где  $Y(t)$  – управляемая величина;  $F(t)$  – внешнее возмущающее воздействие;  $U(t)$  – управляющее воздействие (Рисунок 1.1)[6, 7].

С учетом реальных условий железнодорожного переезда, все существенные факторы, влияющие на процесс его работы, разбиваются на следующие группы [8]:

1. Контролируемые возмущения – это те возмущения, которые можно измерить, но невозможно или недопустимо стабилизировать: скорость и расстояние до поезда.

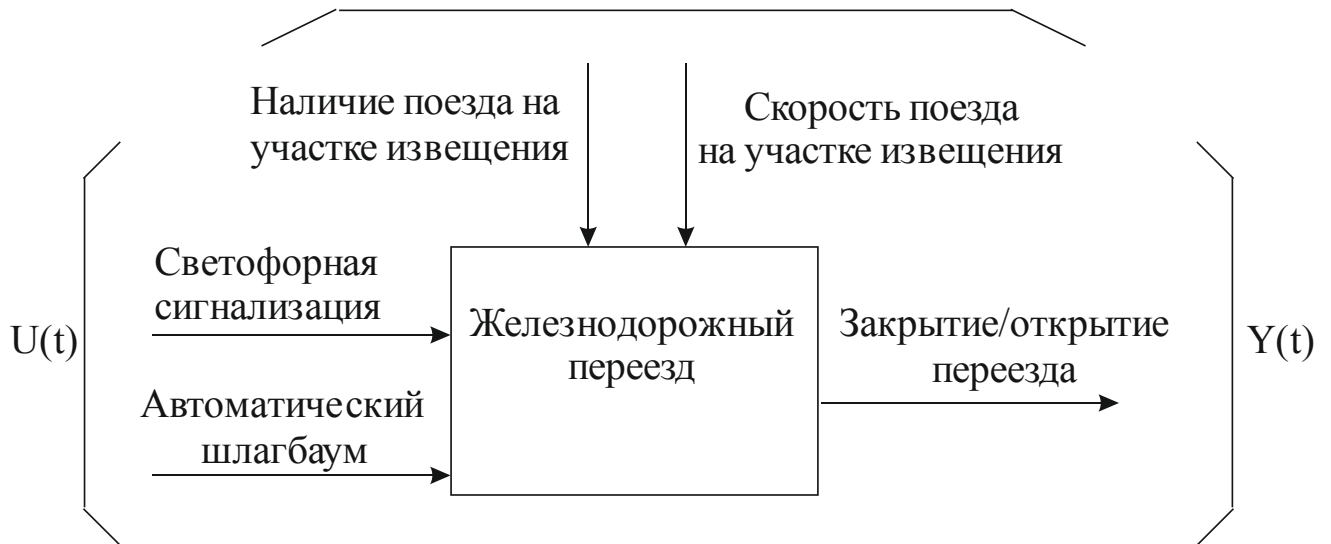


Рисунок 1.1 – Железнодорожный переезд как объект управления

2. Неконтролируемые возмущения – возмущения, которые невозможно или нецелесообразно измерять непосредственно. Примером таких возмущений может быть: количество вагонов в составе, наличие автотранспорта на в зоне железнодорожного переезда и т.п. Выявление возможных неконтролируемых возмущений – важный этап в исследовании процесса и разработке системы управления.

3. Регулируемые переменные – переменные, на которые возможно воздействовать при помощи управляющих переменных с целью достижения заданного режима работы переезда. В качестве таких переменных можно выделить следующие: состояние железнодорожного переезда (открыт или закрыт).

4. Управляющие переменные – переменные, которыми манипулируют, чтобы сохранить регулируемые переменные внутри допустимой области при действии возмущений или установить оптимальные значения регулируемых переменных. К ним относятся: состояние шлагбаума (открыт или закрыт) и светофоров (включен или выключен).

5. Контролируемые переменные – переменные, которые выбираются из числа регулируемых переменных. При построении замкнутых систем



автоматического управления в качестве регулируемых координат выбирают технологические параметры, изменение которых свидетельствует о нарушении нормального функционирования переезда, например, занял ли шлагбаум горизонтальное положение, целостность нити накаливания светофоров.

### 1.3 Методы и средства формирования извещения о приближении подвижного состава

Системы переездной сигнализации применяются на железных дорогах с первых лет их существования. Естественно, с совершенствованием систем автоматики, обеспечивающих безопасность движения поездов, менялись и совершенствовались устройства переездной сигнализации. Описываемые ниже методы и средства формирования извещения широко используются на сети железных дорог и подлежат внедрению в ближайшие годы.

Место пересечения железнодорожных путей и автомобильных дорог в одном уровне является сложным и опасным элементом транспортной сети. В настоящее время в 98% случаев аварий на переездах происходит по вине водителей [9, 10]. В связи с этим, особую значимость приобретают вопросы обеспечения безопасности движения поездов на переездах, и повышения пропускной способности для сокращения непроизвольных простоев автотранспорта на них [11, 12]. Время включения заградительной сигнализации, в существующих системах, зависит от максимально разрешенной скорости движения по участку. В большинстве случаев реальная скорость подвижного состава ниже, что увеличивает время простоя автотранспорта [13,14].

На большей части межстанционных перегонов сети железных дорог стран СНГ эксплуатируется числовая кодовая автоблокировка (КАБ). Информация о месте положении поезда, приближающегося к переезду формируется по сигналам рельсовых цепей. Сигнальная информация, передаваемая по рельсовой линии, представляет собой определенной длительности токовые и бестоковые кодовые комбинации КЖ, Ж и З на частоте 25 или 50 Гц, в зависимости от рода тяги.

Кодовые комбинации формируются аппаратурой впереди расположенной сигнальной установки и при свободном от поезда блок-участке воспринимаются путевым реле и расшифровываются дешифратором автоблокировки (ДА). В зависимости от их числового значения на выходе ДА срабатывают сигнальные реле Ж и З.

На участках, не оборудованных автоблокировкой, для управления автоматической переездной сигнализацией используются рельсовые цепи, которые в зависимости от электроснабжения устройств и вида тяги могут применяться различных типов. На участках с автономной тягой, при недостаточно надежных источниках электроснабжения применяются рельсовые цепи постоянного тока с непрерывным или импульсным питанием (в зависимости от длины рельсовых цепей). В этом случае резервное питание осуществляется от аккумуляторных батарей. При надежном электроснабжении на участках с автономной тягой, а также на участках с электрической тягой на постоянном токе применяются рельсовые цепи переменного тока частотой 50 Гц, как правило, с непрерывным питанием. На участках с электрической тягой переменного тока применяются рельсовые цепи переменного тока 25 Гц. Длина рельсовых цепей определяется расчетной длиной участка приближения.

На участках, оборудованных автоблокировкой, схемы переездной сигнализации должны обеспечивать:

- нормальную работу устройств автоблокировки и автоматической локомотивной сигнализации;
- на участках с двусторонним движением, включения сигнализации при подходе поезда независимо от установленного направления движения;
- на участках со специализированными под определенное направление движения путями, включение сигнализации при подходе поезда, движущегося в установленном направлении;
- включение красного сигнала на проходном светофоре ограждающей блок-участок с переездом, при включении заградительной сигнализации и

прекращении подачи кодов автоматической локомотивной сигнализации в рельсовую цепь перед переездом со стороны движения поезда;

- передачу по системе диспетчерского контроля с переезда на ближайшую станцию сообщение об исправности ламп переездных светофоров, о наличии питания переменным током по основному и резервному фидерам, а также контроль положения переездной сигнализации (переезд открыт для движения транспортных средств или закрыт).

Переездная сигнализация должна включаться, как правило при занятии поездом расчетного участка приближения. На участках с автоблокировкой для управления переездной сигнализацией используются рельсовые цепи автоблокировки, при этом специального распределения рельсовых цепей для получения расчетного участка приближения к переезду не предвидится. При несовпадении границ блок-участка с границами участка приближения сообщение подается от границы блок-участка, содержащего участок приближения, а компенсация избыточного расстояния расчетной длины участка приближения осуществляется схемой управления. Что бы расчетное время следования принимало максимально возможное время задержки при допустимых по напряжению питания и параметрам примененной аппаратуры. Это время должно быть меньше или равно времени, необходимому для компенсации избыточной длины участка приближения. Для отключения сигнализации сразу после проследования переезда поездом предполагается распределение рельсовых цепей установлением изолирующих стыков на переездах.

Для повышения безопасности движения и пропускной способности большинства переездов нужно, в первую очередь, разработка и внедрение более совершенных ограждающих устройств и систем их управления. Рассмотрим современные методы и средства формирования извещения систем переездной сигнализации. Анализ отказов КАБ свидетельствует, что около 80% из них приходится на рельсовые цепи, диоды и конденсаторы ДА и штепсельные розетки реле. Использование в этой системе электромагнитных реле с недостаточной, для

полной обработки всей информации, включая и получаемой от рельсовых цепей, логикой работы ограничивает ее функциональные возможности.

Дальнейшее совершенствование систем автоблокировки тесно связано с реализацией новых, более совершенных, алгоритмов обработки информации и особенно информации, получаемой от рельсовой цепи. Эффективная реализация этих алгоритмов возможна на микропроцессорной элементной базе. Это вызвано тем, что при увеличивающимся воздействием дестабилизирующих факторов требуется обработка большого объема информации. К дестабилизирующим факторам относятся: опасные влияния гармоник тягового и блуждающих токов, минимально-допустимые напряжения электропитания устройств и его частотные характеристики, мешающие электромагнитные воздействия тяговых средств и обогрева пассажирских вагонов и т.д.

Автоматическая переездная сигнализация с системой счета осей. Одним из таких является устройство управления автоматической переездной сигнализацией (УУ АПС СО). Устройство управления автоматической переездной сигнализацией с использованием счетчиков осей подвижного состава предназначено для всех типов переездов - с дежурным работником и без него. Устройство применяют при новом строительстве или модернизации существующей АПС для любого вида путевой блокировки и тяги. Его можно использовать как основную систему управления АПС, так и резервную.

Система УУ АПС СО предназначена для использования в качестве:

- источники управляющих воздействий на схемы непосредственного управления исполнительными объектами переездной сигнализации, производимых на основе логической обработки первичной информации о передвижении подвижного состава на участках приближения к переезду и непосредственно на переезде, без использования рельсовых цепей (РЦ);
- замены существующих устройств управления;
- источники информации о скорости движения подвижного состава на участках приближения к переезду.

Устройство управления УУ АПС СО обеспечивает возможность двустороннего движения поездов по обезличенным путям и в правильном направлении по специализированным путям.

Схема автоматической переездной сигнализации, увязана с устройствами счета осей, определяет моменты времени закрытия и открытия автошлагбаумов, включение и выключение переездной сигнализации. В настоящее время для УУ АПС СО применяют схему, выполненную по типовому альбому АПС-93 с четырьмя рельсовыми цепями тональной частоты.

Аппаратуру счета осей располагают при наличии свободного места в существующем шкафу АПС или в отдельно установленном релейном шкафу или транспортабельном модуле.

Применение системы УУ АПС СО позволяет:

- снизить эксплуатационные расходы на обслуживание устройств переездной сигнализации (ПС);
- повысить эксплуатационную надежность устройств ПС;
- снизить капитальные вложения при модернизации и новом строительстве систем автоматической переездной сигнализации;
- заменить физически и морально устаревшие устройства ПС;
- повысить пропускную способность переездов для автотранспорта;
- обеспечить необходимый уровень безопасности движения поездов.

Оснащение устройствами управления АПС СО переездов и опыт их эксплуатации подтвердили только некоторые преимущества по надежности устройств счета осей перед рельсовыми цепями. К недостаткам этой системы можно отнести отсутствие функции подачи уведомления на переезд в зависимости от скорости (ускорение) движения поезда на участках приближения и проблема передачи информации на локомотив об ограничении скорости движения при неисправности технических средств переездной автоматики. Одновременно с этим необходимо решить задачу остановки и длительной стоянки поезда на участке удаления, когда нет необходимости держать переезд закрытым в состоянии характерном для приготовления пригородного движения.

Зарубежные системы автоматической переездной сигнализации. Фирма «Pintsch Bomag» (Германия), разрабатывает системы автоматики для железнодорожных переездов, создала новую аппаратуру (RBÜT) на базе современной вычислительной техники взамен устаревшей, что использует сигнальные реле (EBÜT).

Ее центральная часть содержит три идентичных высоконадежных одноплатных 16-битных процессоров, одновременно подключенных ко всем каналам трехканальной шины и системном переключая блока (Рисунок 1.2).

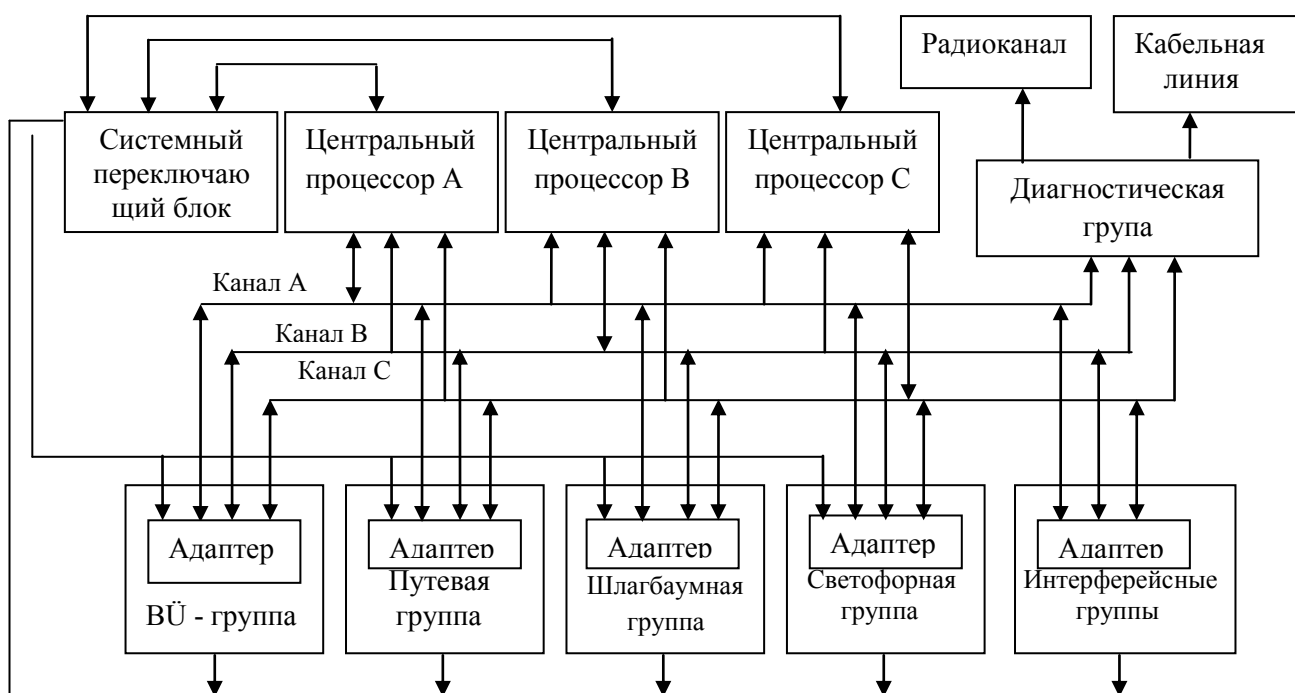


Рисунок 1.2 – Структурна схема системы RBÜT

Последний связан с периферийными группами системы, также подключенными к трехканальной шине своими адаптерами.

Каждый из трех центральных процессоров в один из каналов подключен в режиме «мастер», что обеспечивает двусторонний обмен информацией. От двух других каналов шины процессоров могут только получать информацию. Для передачи информации из центральной в периферийную часть системы используется избыточное кодирование с расстоянием Хемминга  $d = 8$ , повышает достоверность принятой информации.

Центральная трехканальная часть системы работает в режиме «2 из 3». Если отказал один из каналов, то система продолжает выполнять свои функции. При выходе из строя двух каналов она переходит в состояние защитного отказа. Периферийные группы имеют двухканальную структуру и работают в режиме «2 из 2». Такой режим обеспечивает высокий уровень надежности и безопасности работы системы.

Системный переключающий блок контролирует работоспособность всей системы и отключает один из управляющих каналов при обнаружении в нем отказов. В случае отказа двух управляющих или одного периферийного канала переключающий блок отключает всю систему. В любом случае информация о неисправности поступает в диагностическую группу для анализа и локализации повреждения.

Адаптеры периферийных групп имеют по три независимых входа, каждый из которых взаимодействует с одним из каналов общей шины. Получаемая информация анализируется в двух независимых параллельных каналах адаптера. При совпадении сигналов на их выходах приняты из центральной части системы RVÜT команды передаются для выполнения в конечные устройства (на лампы светофоров, приводы шлагбаумов и т.д.).

Программное обеспечение центральных процессоров работает в циклическом режиме. Каждый цикл состоит из последовательных фаз, таких как обработка входных данных, процесс логического решения задач (от 1 до N), диагностика, контроль тестов технических средств, выполнения независимого от потока данные тестирования технических средств, управление системой резервирования и обработка исходной информации.

Переход к каждой следующей фазе цикла возможен только после завершения предыдущей, а переход к очередному циклу, только после окончания предыдущего. Этим обеспечивается высокий уровень достоверности и работы как программных, так и технических средств.

Периферийные группы связаны с различными типами оконечных устройств и соответственно этому подразделяются на светофорные, автошлагбаумные,

путевые группы, переездной BÜ - группу, а также интерфейсные Hp/Fü, HpGleis 4-8 и BÜSTRA группы.

Светофорная группа автоматически управляет работой светофорных ламп белого и красного огня с основными и дополнительными нитями накала, а также контролирует их состояние. Когда светофорная лампа не горит, непрерывно проверяется целостность ее нити накала путем пропуска тока малой величины – «контрольного тока». При повреждении основной сразу включается дополнительная. В ряде случаев основная и дополнительная нити подключаются к различным батареям. В случае отказа одной из батарей переключение нитей происходит быстро и не отражается на показаниях светофора.

Каждая автошлагбаумная группа может обслуживать до двух пар шлагбаумов, каждая из которых управляется независимо.

Путевая группа обслуживает до четырех путей и ручные средства переключения и обменивается информацией с центральной частью системы. Интерфейсная группа HpGleis 4-8 добавляется в структуру системы при большем количестве обслуживаемых путей,

BÜ-группа выполняет ряд специфических функций, связанных с управлением акустическими сигналами и выпрямителем, а также с контролем состояния аккумуляторных батарей и центральной питающей сети.

Интерфейсная группа Hp/Fü служит для соединения системы RBÜT с постовыми устройствами ЭЦ, а интерфейсная группа BÜSTRA обеспечивает связь RBÜT с системой управления автомобильным транспортом.

В состав RBÜT входит также стационарная диагностическая группа, связанная трёхканальной шиной как с центральной так с периферийными частями системы. Она позволяет непрерывно контролировать состояние всех технических средств системы и передавать по кабельным и радиоканалам получаемую информацию в диспетчерский центр, контролирующей состояние всех средств железнодорожной автоматики на участке.

В Нидерландах для уменьшения числа аварий железнодорожные переезды оборудуют двумя типами сигнализации: Lz-с мигающими огнями или новые, Lzn-



с мигающими огнями и полушлагбаумами. Однако на наиболее оживленных железнодорожных переездах этих мер защиты оказывалось мало - водители выезжали на переезды, минуя полушлагбаумы.

Для исключения аварий, происходящих по вине водителей, была разработана новая автоматическая система переездной сигнализации (ADOB), оборудована сдвоенными полушлагбаумами с каждой стороны переезда. При ее создании наряду с повышением безопасности ставилась задача сокращения времени закрытия переездов. Для этого, в частности, ввели автоматический контроль межшлагбаумной зоны переезда после закрытия шлагбаумов.

Раньше эти функции возлагались на дежурного по переезду, что в случае пребывания постороннего транспортного средства на дорогах после его закрытия передавал на поезд, приближающийся информацию о необходимости остановки, что достигалось, в частности, закрытием светофоров стороны ограждающих переезды со стороны путей. При автоматизации этого процесса функции контроля возлагаются на сканирующее устройство, самостоятельно управляет заградительными светофорами.

Система ADOB работает следующим образом: при занятии поездом участка приближения срабатывают путевые реле, включающие акустический и световой (желтый мигающий) предупредительные сигналы. При этом шлагбаумы на железнодорожном переезде еще открыты, а автодорожный светофор загорается желтым светом, предупреждая водителей о предстоящем закрытии перегона и требуя снижения скорости движения.

Через 4 секунды желтый сигнал меняется на красный мигающий, сохраняющийся до открытия железнодорожного переезда. Затем через 1 с закрываются пешеходные шлагбаумы, а еще через 3 с начинают опускаться въездные полушлагбаумы. Они опускаются чуть позже, чтобы автомобили, въехали на переезд, успели оставить до его закрытия. В момент, когда выездные полушлагбаумы перейдут из вертикального положения в наклонное под углом  $45^\circ$ , включается сканирующее устройство, проверяющее свободу между шлагбаумного пространства.

Сканирующее устройство, которое включается на 18-й секунде после начала закрытия переезда, отключается на 30-й секунде, перед въездом поезда на переезд. Иначе поезд может быть воспринят им как инородное тело.

Если обнаружено препятствие за это время освобождает переезд, то сигнализация, предупреждающая машиниста о необходимости остановки, автоматически отключается. В противном случае поезд останавливается, а сигналы предупреждения продолжают гореть в течение 5 минут, чтобы помешать движению следующего поезда.

После отключения сканирующего устройства контроль за безопасностью на переезде берут на себя путевые индуктивные шлейфы.

Поскольку многие железнодорожные переезды оборудованы системой автоматики RBÜT, то имеется возможность дополнить ее до уровня ADOB путем оборудования электрическими рельсовыми цепями для включения/выключения индуктивных путевых шлейфов, установки интерфейсов для сканирующего устройства и программного обеспечения для специфической временной диаграммы работы ADOB. Кроме того, необходимо заменить светофоры с двухнитевыми лампами на светодиодные, установить осветительные элементы на шлагбаумные брусья и реверсивный шлагбаумный привод.

Рассмотрим системы управления заградительными устройствами применяемые на отечественных железных дорогах для выявления причин, приводящих к непроизвольным простоям автотранспорта.

Микропроцессорная автоматическая переездная сигнализация МП-АПС. Данная система используется для повышения безопасности на железнодорожном переезде. На рисунке 1.3 приведена структурная схема системы АПС-МП [15].

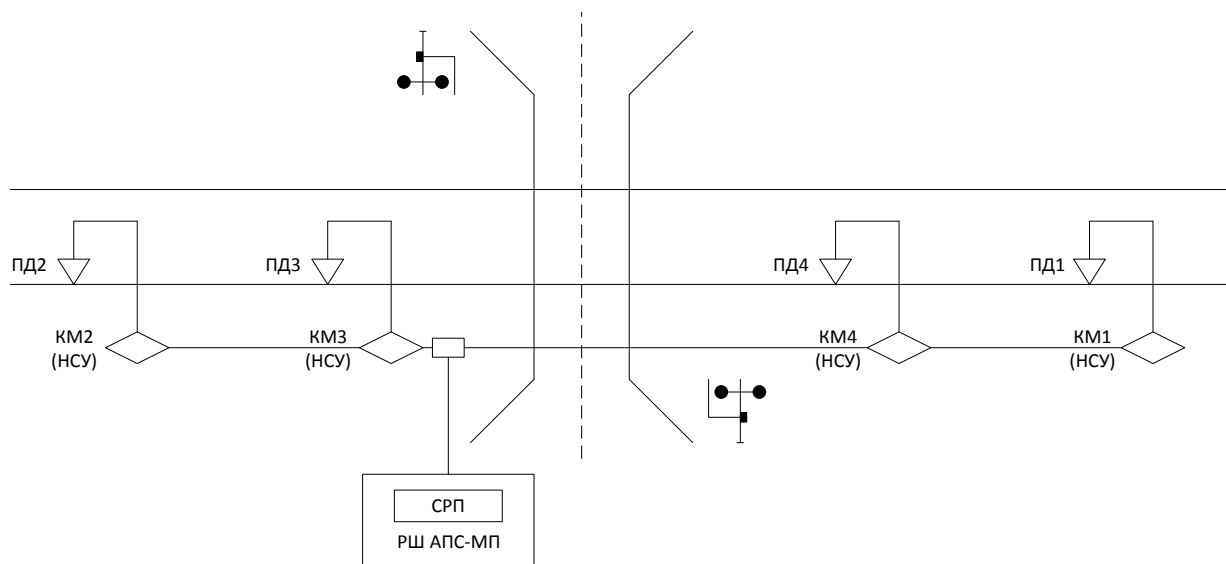


Рисунок 1.3 – Структурная схема системы АПС-МП

Принцип действия системы АПС-МП основан на фиксации и отслеживании продвижения подвижного состава методом подсчета числа его осей, проходящих по зоне контроля путевого датчика входного (с учетом направления движения) счетного пункта, и последующим сравнением с результатами счета на другом выходном счетном пункте. Для работы устройств переездной сигнализации организуются два контролируемых участка пути, имеющих общую зону. На основе данных о состоянии контролируемых участков соответствующими схемами регистрации подвижного состава в четном или нечетном направлении формируются сигналы управления оборудованием переезда. При совпадении числа осей на входном и выходном счетных пунктах и при условии исправности аппаратуры счета осей формируется сигнал свободы участка пути переезда, система переходит в исходное состояние с готовностью реагировать на очередной поезд.

Микропроцессорная автоматическая переездная сигнализация позволяет управлять автоматической светофорной сигнализацией. Информировать машиниста железнодорожного подвижного состава и водителей автотранспорта о возможности проследования через переезд. Контролирует состояния технических средств.

Для обеспечения требований по функциональной безопасности аппаратура АПС выполнена двухканальной. Оба канала аппаратуры функционируют независимо друг от друга. Прикладное программное обеспечение в каналах контроллера по определённым алгоритмам определяет достоверность информации в каналах, наличие неисправности аппаратной части.

Ее использование позволило не только уйти от тональных рельсовых цепей и повысить эксплуатационную надежность АПС, но и сократить объемы оборудования и выполняемых работ на переезде. Одновременно был решен вопрос усиления электроснабжения за счет применения устройств бесперебойного питания.

Основными недостатками системы АПС-МП являются: отсутствие объективного контроля путевого пространства переезда и возможности передачи сигнала аварийной остановки подвижного состава в кабину машиниста, отсутствие оптимизации момента закрытия переезда в зависимости от скорости движения поезда, потребность в дополнительных кабельных линиях передачи данных с пунктов счета осей подвижного состава в схемы СРП.

Существуют следующие варианты реализации системы АПС-МП:

Система АПС-МП с напольными счетными устройствами (НСУ). Микропроцессорная автоматическая переездная сигнализации на основе применения аппаратуры счета осей подвижного состава СКП «Урал».

Система АПС-МПП – это микропроцессорная автоматическая переездная сигнализация с резервированием основных элементов. Резервируемые устройства АПС-МП имеют в своем составе два комплекта счетно-решающей аппаратуры, так же предусматривается дублирование цепей управления переездными светофорами и акустическими устройствами извещения, в том числе комплекта реле мигающих показаний.

Система АПС-МП с универсальным устройством ограждения переездов (УЗПУ) предназначена для ограждения регулируемых переездов, как с дежурным работником, так и без него с целью повышения безопасности движения поездов и исключения несанкционированного въезда транспортных средств в зону

огражденного переезда. Контроль прохождения поезда осуществляется системой счета осей. Алгоритм, заложенный в работу АПС-МП с УЗПУ, соответствует работе АПС с УЗП.

Система автоматического управления переездной сигнализацией МАПС. Система МАПС — микропроцессорная автоматическая система управления переездной сигнализацией.

Система автоматического управления переездной сигнализацией является функциональным аналогом релейной АПС, только реализованной на новой элементной базе [16].

Целью разработки данной системы, является повышение безопасности движения поездов и транспортных средств на переездах, сокращение расходов на оборудование и обслуживание систем железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ).

К основным функциям МАПС можно отнести управление автоматической светофорной сигнализацией, управление автоматическими или полуавтоматическими шлагбаумами на обслуживаемых переездах. На рисунке 1.4 приведена структурная схема системы МАПС. Подача извещения и контроль проследования поезда через переезд реализуются с помощью элементов электронной системы счета осей ЭССО [17, 18].

В МАПС функционально заложена способность определять направление движения поезда. Это позволяет заблаговременно открывать и закрывать переезд, без особых временных задержек, как в установленном, так и в неустановленном направлении, при минимальном количестве оборудования.

В МАПС учтены требования обеспечения безопасности движения, схемы ввода/вывода информации являются безопасными, канал связи защищен от помех, предусмотрены функции самодиагностики.

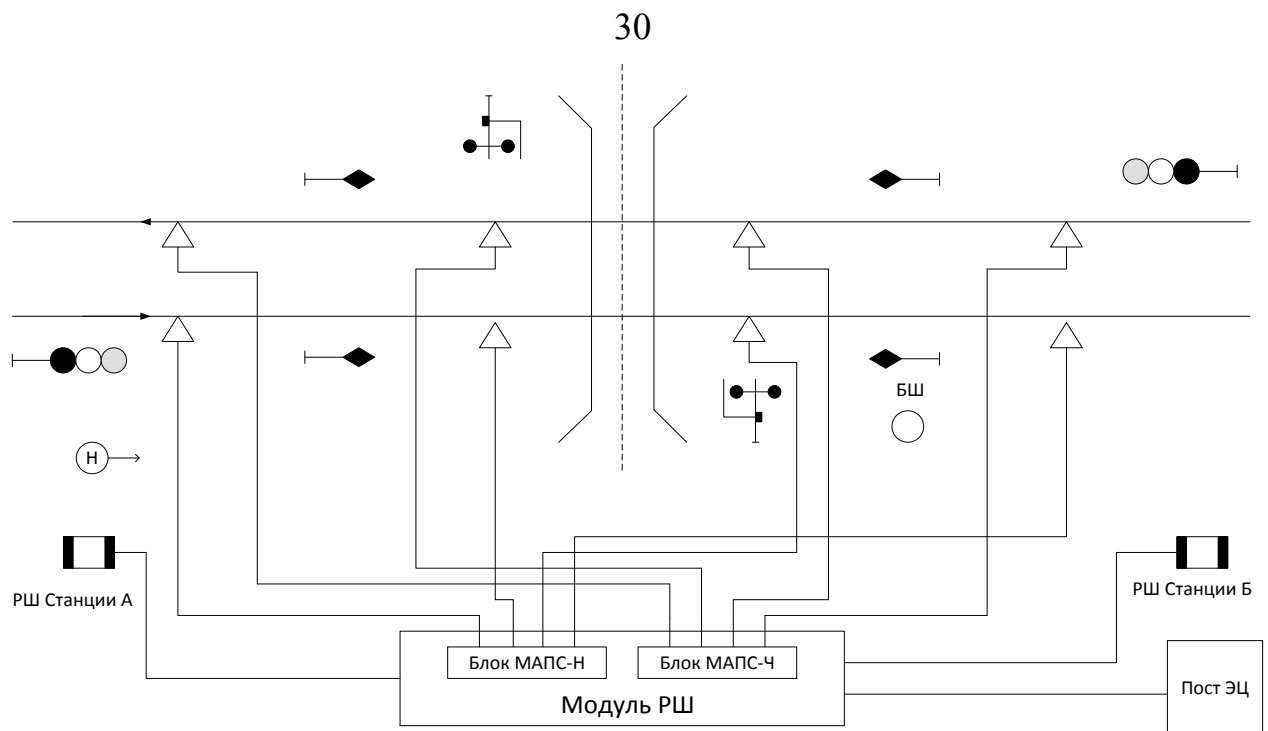


Рисунок 1.4 – Структурная схема системы МАПС

Для связи МАПС со стационарным оборудованием могут быть использованы: физическая линия систем централизации блокировки (СЦБ) магистральная линия связи, волоконно-оптическая линия связи (ВОЛС) или радиоканал.

Предусмотрен интерфейс RS232/485 с использованием открытого протокола ModBus, для увязки с современными цифровыми системами СЦБ.

МАПС состоит из напольных устройств, для контроля участков извещения к переезду и переездной аппаратуры, расположенной в релейном шкафу автоматической переездной сигнализации.

Напольные устройства – это рельсовые датчики с комплектами креплений, а также напольные электронные модули.

Переездная часть МАПС включает в себя: модуль контроллеров МАПС; модуль сопряжения со счетными пунктами системы ЭССО; программное обеспечение МАПС; линейный приемопередатчик для обмена информацией с ДСП; схемы электропитания.

МАПС позволяет осуществлять управление огнями переездных светофоров, приводами шлагбаумов и устройств заграждения, а также акустической сигнализацией.

МАПС относится к классу малообслуживаемых. Она производит непрерывное самотестирование, контроль исправности входных, выходных цепей и линий связи. Любая неисправность элементов МАПС или сбой в работе переводит ее в состояние защитного отказа и закрытие переезда.

К преимуществам МАПС можно отнести: сокращение затрат при строительстве, монтаже и обслуживании, а также сокращение эксплуатационных расходов и убытков от вандализма, благодаря использованию счетных пунктов системы.

Система микропроцессорной автоматической переездной сигнализации для переездов без дежурного работника АПС МП-Н. Устройства системы АПС МП-Н разработаны для применения на переездах без дежурного работника, расположенных на однопутных перегонах, оборудованных устройствами релейной полуавтоматической блокировки. Устройства АПС МП-Н не предназначены для применения на переездах, в участки приближения к которым входят станционные пути.

На рисунке 1.5 приведена структурная схема системы АПС МП-Н. Устройства системы АПС МП-Н обеспечивают включение светофорной сигнализации при вступлении поезда на участок приближения к переезду, и выключение сигнализации – после прохода хвоста поезда за переезд. В устройствах системы АПС МП-Н контроль свободности участков приближения и путевого участка переезда обеспечивается устройствами счёта осей системы. Устройства АПС МП-Н осуществляют повторное включение переездной сигнализации при длительном занятии поездом участка удаления, при этом отсчёт длительности расчетного интервала времени от момента освобождения путевого участка переезда до момента повторного включения АПС производится счётно-решающими приборами СРП1 и СРП2 [19].

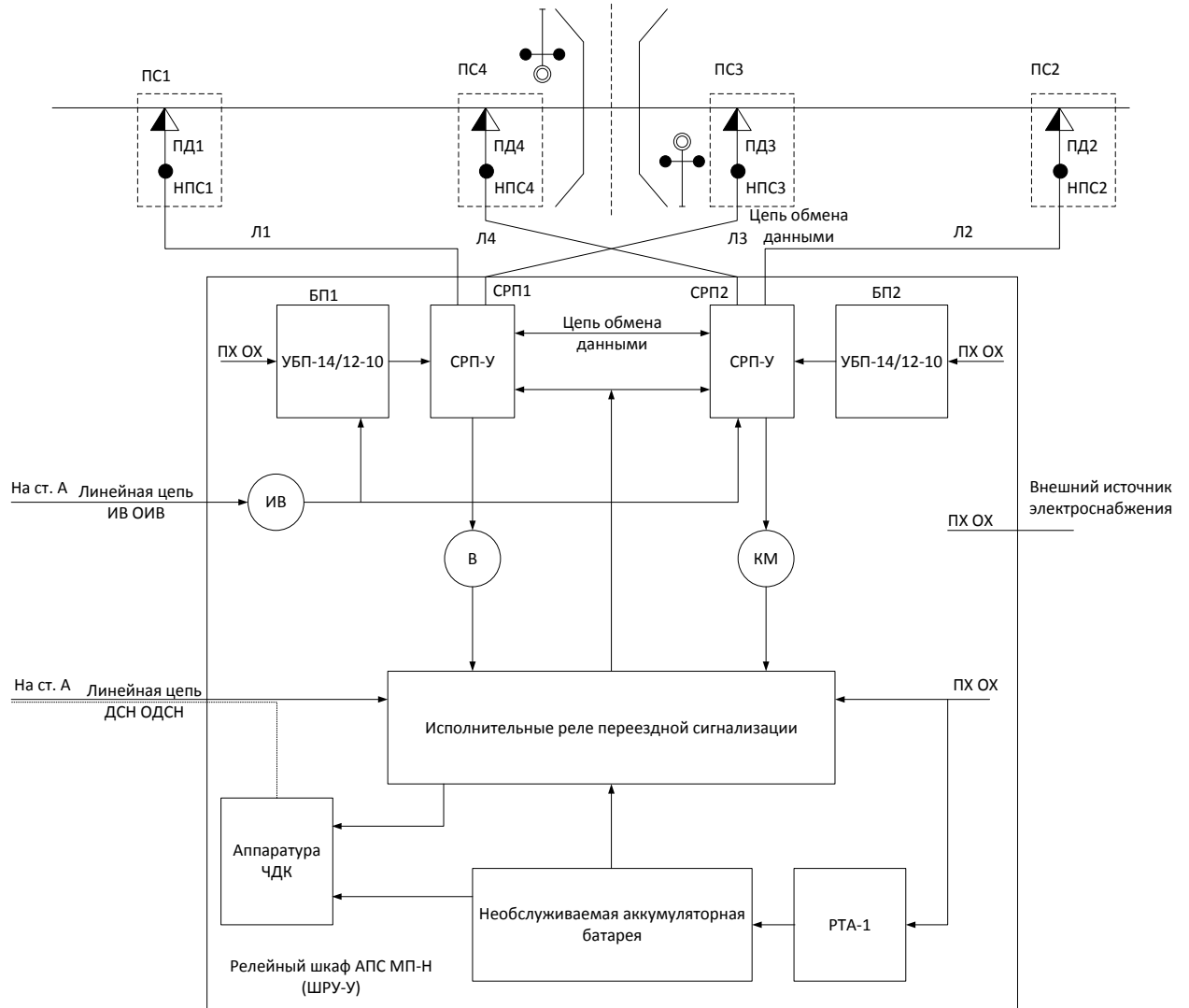


Рисунок 1.5 – Структурная схема системы АПС МП-Н

Пункты счёта осей предназначены для получения информации о количестве осей подвижного состава, находящихся в пределах участков приближения к переезду. Пункты счёта осей размещаются на границах участков приближения и путевого участка переезда. Пункт счёта включает в себя путевой датчик ПД типа ДПЭП или ДПЭП-М и блок напольного преобразователя сигналов типа НПС.

Путевой датчик предназначен для формирования электрического сигнала в момент прохода над датчиком оси подвижного состава. Электрический сигнал датчика содержит признак направления движения оси. ПД закрепляется на подошве рельса с помощью специализированного крепления, и электрически соединяется с блоком НПС с помощью специализированного кабеля, являющегося составной частью датчика.



Блок НПС предназначен для преобразования сигналов датчика и передачи их в прибор СРП по сигнально-блокировочному кабелю. НПС располагается в кабельной муфте в непосредственной близости от места установки датчика. Сигнально-блокировочные кабели между пунктами счёта и приборами СРП предназначены для передачи сигналов от пунктов счёта на счётно-решающие приборы, а также для подачи напряжения электропитания к приборам пунктов счёта.

Счётно-решающие приборы типа СРП-У осуществляют: приём и обработку сигналов от пунктов счёта; управление работой включающего реле В; управление работой реле мигающих показаний переездных светофоров - М; контроль исправности цепей мигающих показаний переездных светофоров; управление работой реле контроля мигающих показаний переездных светофоров – КМ.

Контрольно-информационная система «Благовест 1.0».

Система «Благовест 1.0» имеет базовую комплектацию (без дополнительных функций) и является наиболее бюджетной системой серии «Благовест». В модификации для однопутного пути с двусторонним движением система «Благовест 1.0» (Рисунок. 1.6) содержит в своем составе два счетных пункта (СП), которые размещаются на удалении от переезда, что обеспечивает достаточное время для своевременного оповещения участников движения на переезде [20].

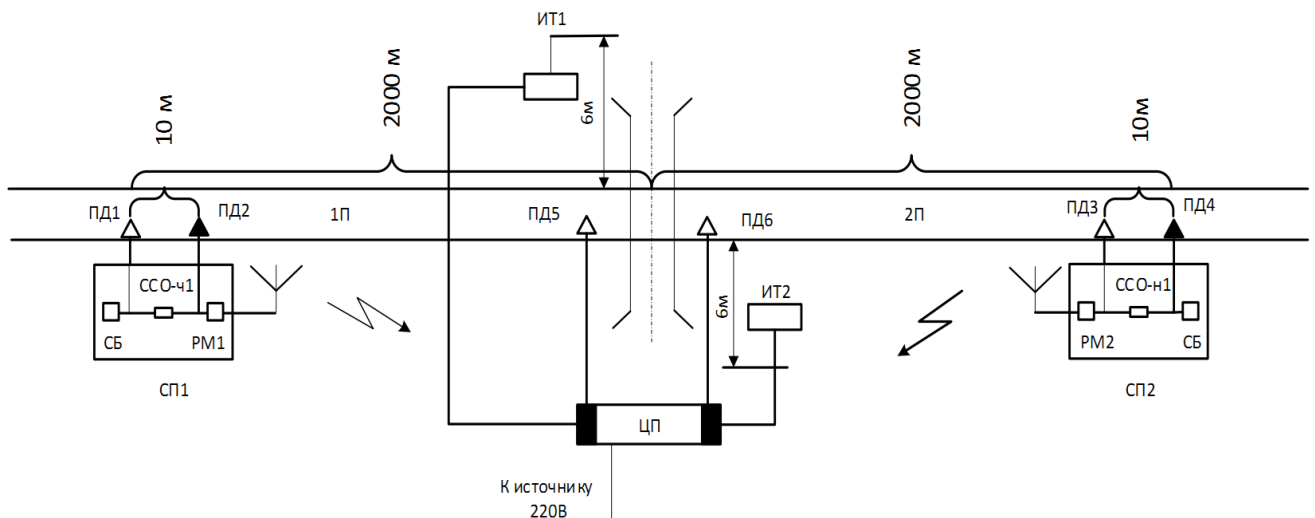


Рисунок 1.6 – Структурная схема системы «Благовест 1.0»

СП включает в себя два путевых датчика (ПД), схему счета осей (ССО), радиомодем (РМ) для передачи информации на центральный пункт (ЦП) по радиоканалу. Для повышения устойчивости от электромагнитных помех СП имеет автономное электропитание от аккумуляторной батареи с подзарядкой от солнечной батареи (СБ) или питание от источника переменного тока 220В (в зависимости от условий размещения оборудования).

Центральный блок (ЦБ) управляет работой двух светодиодных информационных табло (ИТ) (Рисунок 1.7): по одному с каждой стороны переезда. ИТ используются для информирования водителей транспортных средств и пешеходов на переезде о приближении поезда, времени, оставшегося до его проследования через переезд, скорости и направлении движения. ИТ должны устанавливаться над переездом с каждой стороны в зоне прямой видимости для водителей АТС [21].

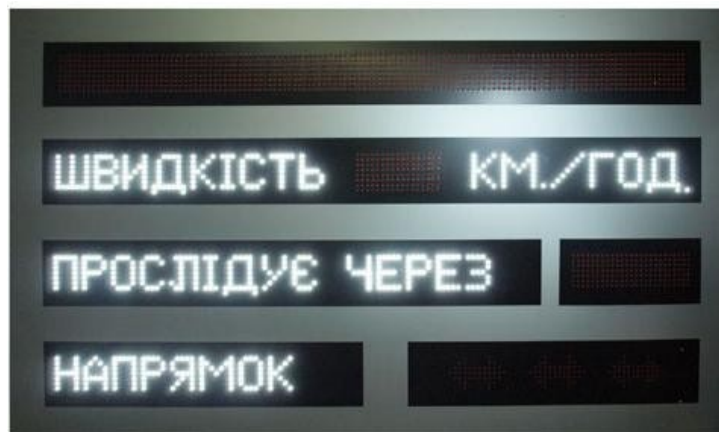


Рисунок 1.7 – Вид информационного табло системы

ИТ выполняется с учетом требований влагозащиты ip67 и построено на базе сверхъярких светодиодов марки Cree, что позволяет достичь максимальной видимости на значительном расстоянии даже при дневном освещении.

Центральный пункт обеспечивает:

- прием данных по радиоканалу связи от СП;
- обработку информации, получаемой от СП;
- передачу информации по проводному каналу связи на ИТ.

Примечание. Данные о скорости движения поезда и оставшемся времени проследования его через переезд, отображаемые на ИТ, постоянно корректируются в реальном времени с учетом неравномерности движения поезда.

ЦП располагается или в типовом напольном шкафу в зоне переезда совместно с оборудованием системы железнодорожной автоматики, или в индивидуальном специальном шкафу, или в корпусе ИТ.

Счетный пункт обеспечивает:

- отслеживание продвижения поезда методом подсчета числа осей, проходящих в зоне контроля путевых датчиков;
- определение скорости и ускорения движения поезда;
- определение направления движения поезда;
- передачу информации по радиоканалу связи на ЦП.

СП располагается в металлическом шкафу на типовой мачте, используемой для напольных светофоров, на которой также устанавливаются антенна и панели солнечной батареи (в зависимости от вида электропитания).

В системе используются путевые датчики прохождения колеса отечественного производства ДПД-03 ООО «ДСКТБ СКАТ» (Рисунок 1.8). Эти датчики имеют ряд преимуществ, проверены в разных условиях эксплуатации на магистральном транспорте в Украине и при этом обладают приемлемой стоимостью. Датчики имеют несколько чувствительных элементов, которые выдают циклограмму прохода колеса (Рисунок 1.9), что позволяет фиксировать скорость подвижного состава и направление его движения, а также осуществлять контроль целостности цепей питания датчика

Также в системе используется устройство обработки сигналов, которое обеспечивает стабилизацию сигнала с датчиков и формирует устойчивость к электромагнитным помехам от проходящего электротранспорта.



Рисунок 1.8 – Путь датчик контроля прохождения колеса поезда

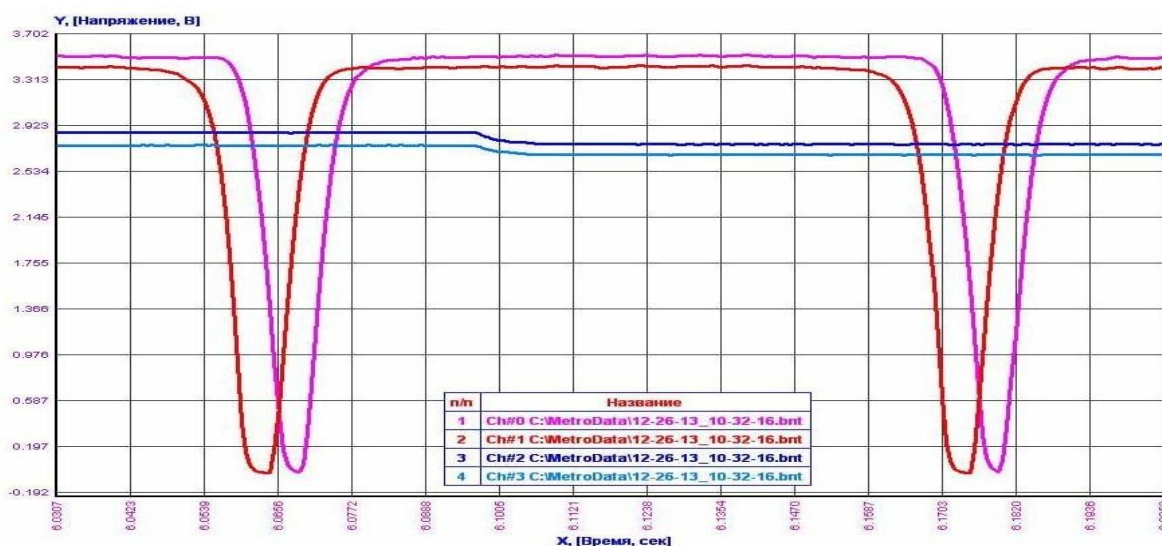


Рисунок 1.9 – Циклограмма сигнала на выходе датчика при прохождении колеса поезда

Связь между ЦП и СП организована на базе РМ типа Xbee PRO S2bc (Рисунок 1.10) с дальностью действия до 3000 м в комплексе с антенной 25+дБм, модуль работает в свободном диапазоне частот 2,4-2,4835 ГГц (Рисунок 1.11). Такой выбор позволяет использовать 128- битное AES-шифрование при передаче данных и привязку к Mac-адресам устройств.

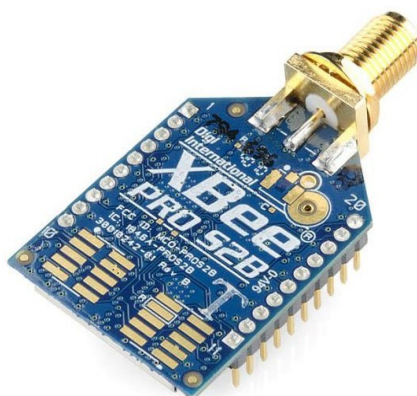


Рисунок 1.10 – Радиомодуль Xbee PRO S2b



Рисунок 1.11 – Антенна 2.4GHz 25dbi

Таким образом, существующие системы формирования извещения на переезд о приближении поезда разделяются:

- дискретные (датчик фиксирующий въезд подвижной единицы на участок извещения находится на определенном расстоянии, которое засвистит от максимально разрешенной скорости движения) (Рисунок 1.12а);

- координатные (специальное устройство, находящееся на участке извещения, определяет скорость приближающегося поезда к переезду и вычисляет момент времени включения заградительных устройств) (Рисунок 1.12б).

Достоинствами дискретных способов извещения являются: простота, надежность работы. К недостаткам можно отнести: наличие кабеля к устройствам

извещения (в большинстве случаев), увеличенное время простоя автотранспорта, как следствие, возможные аварии на переездах.

Достоинствами координатных способов извещения являются: уменьшенное время простоя автотранспорта, как следствие, уменьшение нервозности автовладельцев [22]. Недостатки координатных способов извещения: наличие кабеля или специальной аппаратуры для передачи по радиоканалу о скорости поезда приближающегося переезду.

Из этого следует, что усовершенствование системы извещения на переезд координатным способом, основанным на новых принципах определения приближающегося поезда, является актуальным [23, 24].

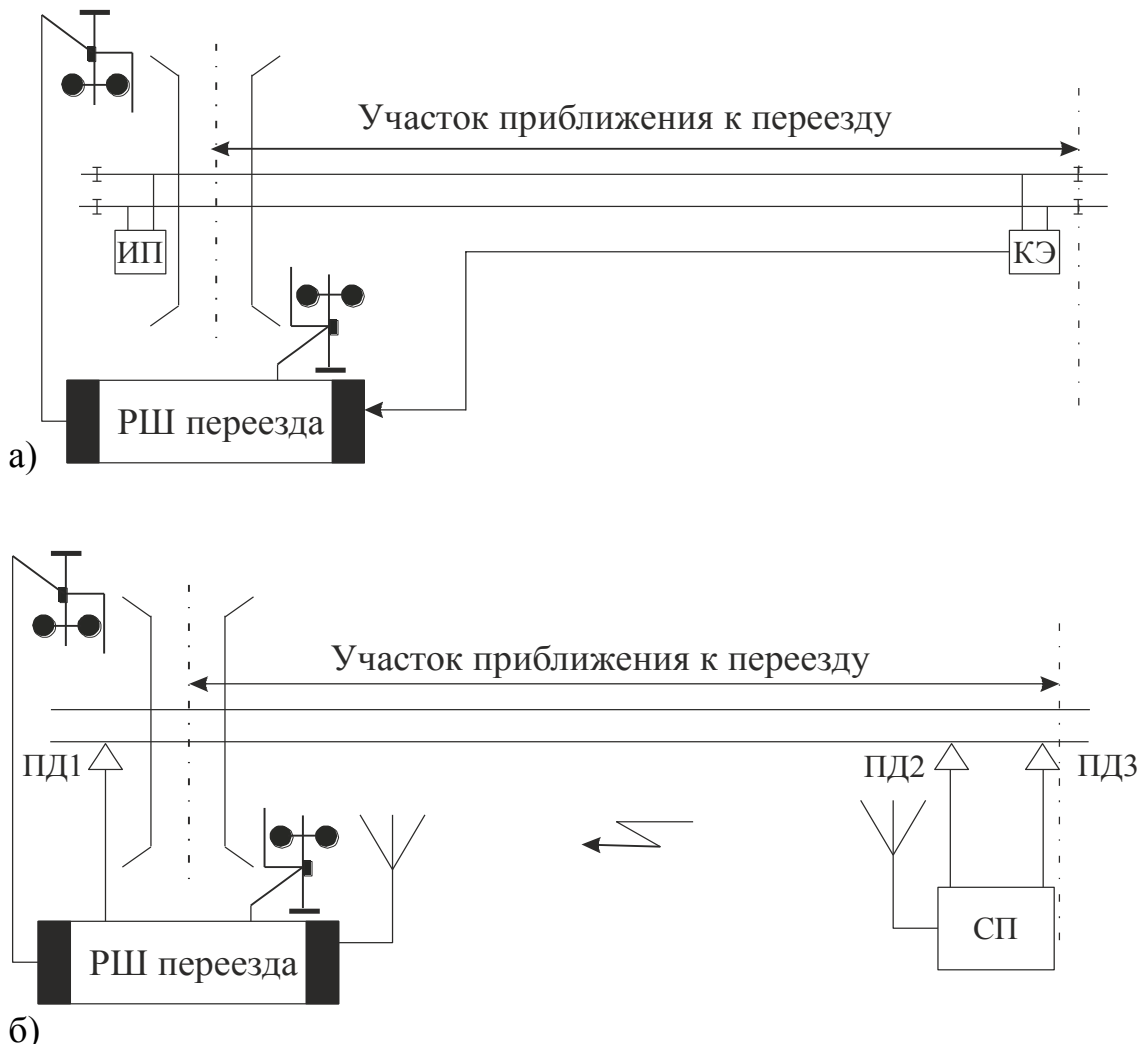


Рисунок 1.12 – Методы формирования и передачи информации о приближении поезда: а) дискретный; б) координатный.

В работе [25] были проведены исследования по определению координаты поезда по информативности признаков амплитуд напряжений и токов на входе рельсовой линии. Разработана методика, на основании полинома Колмогорова – Габора самонастройки уравнения вычисления координаты поезда, основанная на коррекции ошибок вычисления местоположения, сравнением вычисленного значения координаты с реальной, с последующей минимизацией результирующей ошибки. По разработанной методике селекции и исследования первичных признаков рельсовых цепей, получены результаты, позволяющие минимизировать погрешность определения координаты подвижной единицы с точностью до 47 м.

В работах [26, 27] разработано и исследовано устройство оповещения о приближении поезда к месту проведения работ на пути «Сигнализатор-П». Работа прибора основана на принципе, который определяет виброакустические колебания рельсовой линии. Анализируя изменения математического ожидания и изменения дисперсии, по специально разработанным алгоритмам, определенных полос спектра, аппаратура подает звуковое извещение работающему на пути персоналу.

Однако в алгоритмах, предложенных автором не рассматривалось определение координаты поезда и его скорости, что является актуальным для современных систем интервального регулирования движения поездов на железнодорожном транспорте.

При движении поезда возникают вынужденные колебания рельсовой линии [28, 29, 30, 31, 32], которые можно использовать как источник информации о приближающемся поезде. Тогда в качестве контролируемого параметра можно использовать виброускорение, которое фиксируется с помощью акселерометра, прикрепленного к боковой поверхности, либо подошве рельса [33].

#### 1.4 Выводы по разделу 1

Проведенный анализ систем подачи извещения на переезд о приближении поезда показал, что существующие методы и принципы управления процессом

функционирования заградительных устройств не контролируют нахождение поезда на всем участке извещения, что приводит к не произвольным простоям автотранспорта. Кроме того, увеличенное время простоя приводит к нервозности водителей, как следствие проезд переезда при закрытом шлагбауме, повышение количества аварий на переездах с участием автотранспорта.

Основная часть эксплуатируемых систем подачи извещения контролируют факт проезд поезда в точки пути, передают сигнал на переезд без учета скорости поезда. Перспективная часть систем, рассчитывает время приближения поезда к переезду по скорости поезда в контрольной точке пути. Но она не учитывает дальнейшую динамику движения, что тоже сказывается на увеличенном простое автотранспорта.

Таким образом, целью работы является совершенствование методов и средств формирования извещения в системах автоматического управления процессом функционирования железнодорожных переездов на основе виброускорения рельсовой линии, что позволит уменьшить время простоя автотранспорта. Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. Выполнить анализ методов формирования извещения в системах автоматической переездной сигнализации и обосновать выбор способа определения скорости и местоположения поезда на участке извещения по виброускорению рельсовой линии.

2. Разработать математическую модель управления заградительными устройствами железнодорожного переезда на основании местоположения и скорость поезда на участке извещения по виброускорению рельсовой линии.

3. Провести имитационное компьютерное моделирование математической модели, определяющей вертикальные колебания рельса при воздействии подвижной динамической нагрузки.

4. Разработать структуру технических средств системы автоматического управления железнодорожным переездом, учитывающую местоположение и скорость поезда на участке извещения, на основе современных средств микропроцессорной техники.



## СИНТЕЗ МОДЕЛЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ПЕРЕЕЗДОМ

### 2.1 Анализ вибрационных характеристик рельсовой линии.

Для обнаружения и измерения параметров движения подвижных единиц в системах железнодорожной автоматики применяются датчики различных типов. Каждый из них, обладает своими достоинствами и недостатками, которые определяют сферу применения и накладывают ограничения [34, 35, 36].

В зависимости от способа контроля датчики подразделяются на два вида: непрерывные (рельсовые цепи), и точечные (всевозможные педали). Каждый из датчиков использует определенный параметр (признак) контроля подвижной единицы, который определяет его принцип действия.

Так в рельсовых цепях (РЦ) в качестве признака выступает ток, протекающий по рельсовой линии. Отличительными особенностями РЦ как датчиков является контроль состояния участка пути с заранее определенной длиной и контроль целостности рельсовой линии (Рисунок 2.1), где ИП – источник питания, КЭ – контрольный элемент.

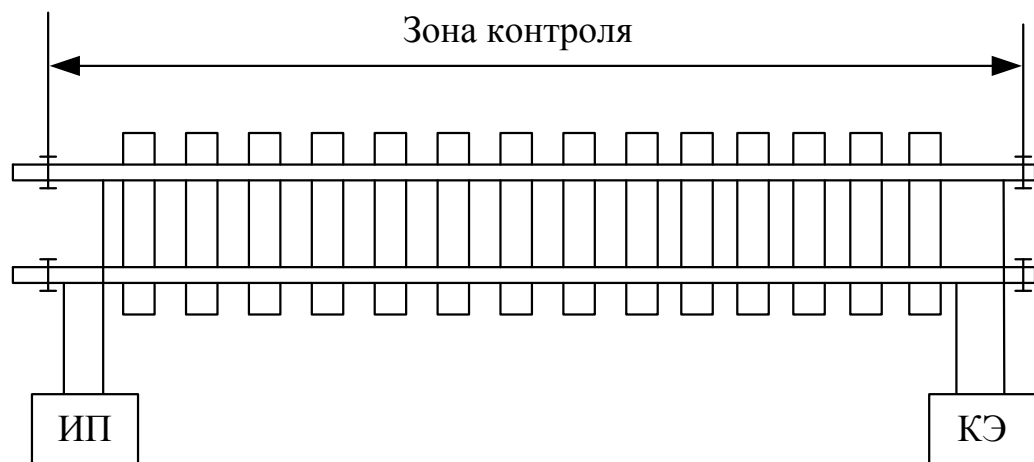


Рисунок 2.1 – Контроль участка пути непрерывным датчиком (РЦ)

В то же время в точечных датчиках в качестве признака, в основном, используется изменение магнитной индукции. Контроль наличия поезда на определенном участке производится путем организации нескольких счетных пунктов (СП). Особенности применения точечных датчиков является контроль проследования колесных пар и отсутствие контроля целостности рельсовой линии (Рисунок 2.2).

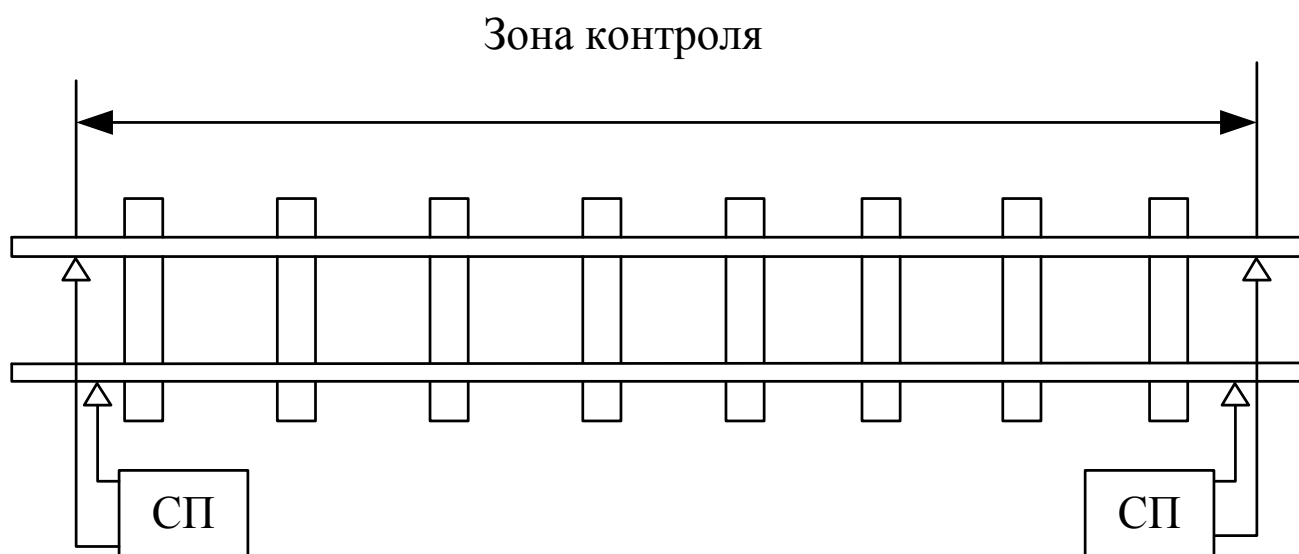


Рисунок 2.2 – Контроль участка пути точечными датчиками (педалями)

На магистральном транспорте основными датчиками наличия подвижной единицы являются рельсовые цепи. Однако они обладают такими недостатками, как сложность настройки, зависимость от погодных условий, значительное потребление электрической энергии. Точечные датчики лишены данных недостатков, но вследствие отсутствия функции контроля целостности рельсовой линии их применение на магистральном транспорте весьма ограничено. В связи с этим возникает необходимость в применении датчика, объединяющего достоинства обоих видов и по возможности исключающего их недостатки [37].

Рассмотрим в качестве признака вибрацию, которая возникает при движении поезда по рельсовой линии [38, 39, 40, 41]. Одним из устройств, способных контролировать ее наличие является акселерометр [42]. При этом

возможна организация контроля движения поезда, путем установки акселерометров на определенном расстоянии вдоль рельсовой линии (Рисунок 2.3).

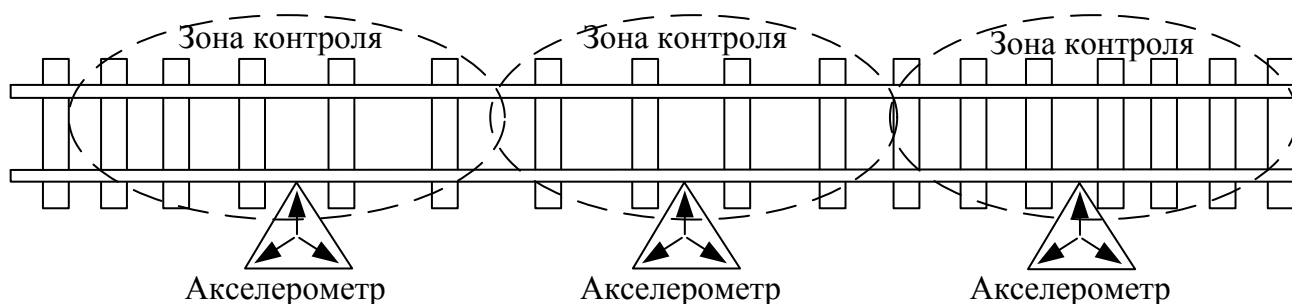


Рисунок 2.3 – Контроль участка пути вибрационным датчиком (акселерометром)

Однако применение такого способа организации контроля состояния рельсовой линии, требует проведения эксперимента, по измерению вибрационных процессов с использованием акселерометра.

Эксперимент по контролю наличия и измерению вибрации в рельсах произведем с помощью акселерометра, на базе Freescale MMA7341L/MMA7361L XYZ датчика, имеющего аналоговый выход по напряжению и регулируемую чувствительность.

Для проведения измерений акселерометр крепится к подошве одной из рельс в межшпальном промежутке. Выходным сигналом акселерометра является величина виброускорения. Как известно [43], величина виброускорения связана с виброскоростью следующим соотношением:

$$a(t) = \frac{dV}{dt} = -\omega^2 D \sin(\omega t), \quad (2.1)$$

где:  $V$  – виброскорость;  $\omega$  – угловая циклическая частота;  $D$  – максимальное смещение.

По значению  $a(t)$  возможно определение движения поезда в некоторой зоне контроля.

Структурная схема установки для измерения вибрационных процессов в рельсовой линии приведена на рисунке 2.4.

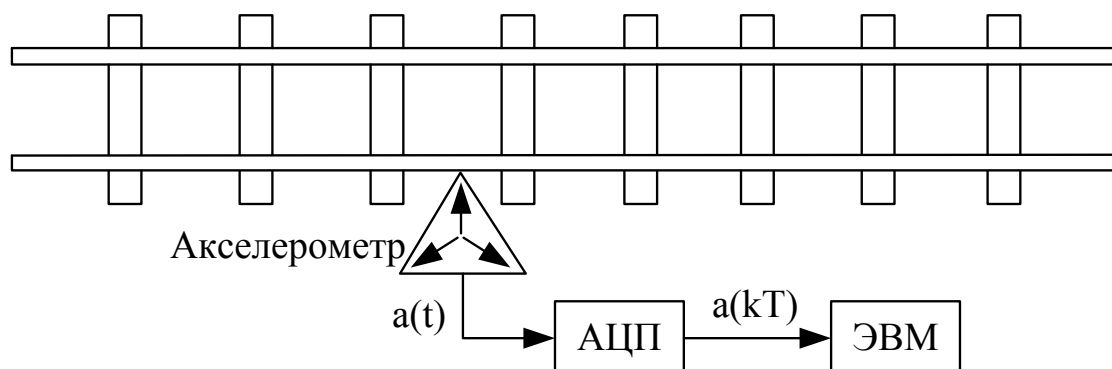


Рисунок 2.4 – Структурная схема измерений.

Аналоговый сигнал виброускорения  $a(t)$  с помощью АЦП преобразуется в дискретный и подается на линейный аудио-вход ЭВМ, с частотой дискретизации  $F_d = 11025$  Гц.

Результаты измерения виброускорения были записаны в виде файлов с расширением wav с помощью программы Adobe Audition. На рисунке 2.5 представлен график дискретных значений виброускорения с количеством отсчетов времени  $N$ , при движении состава в 59 вагонов со скоростью 25-30 км/ч.

В соответствии с рисунком, наличие поезда в зоне действия датчика отмечается значительным увеличением амплитуды виброускорения. Таким образом, контроль наличия поезда в зоне действия датчика фиксируется по амплитудному признаку

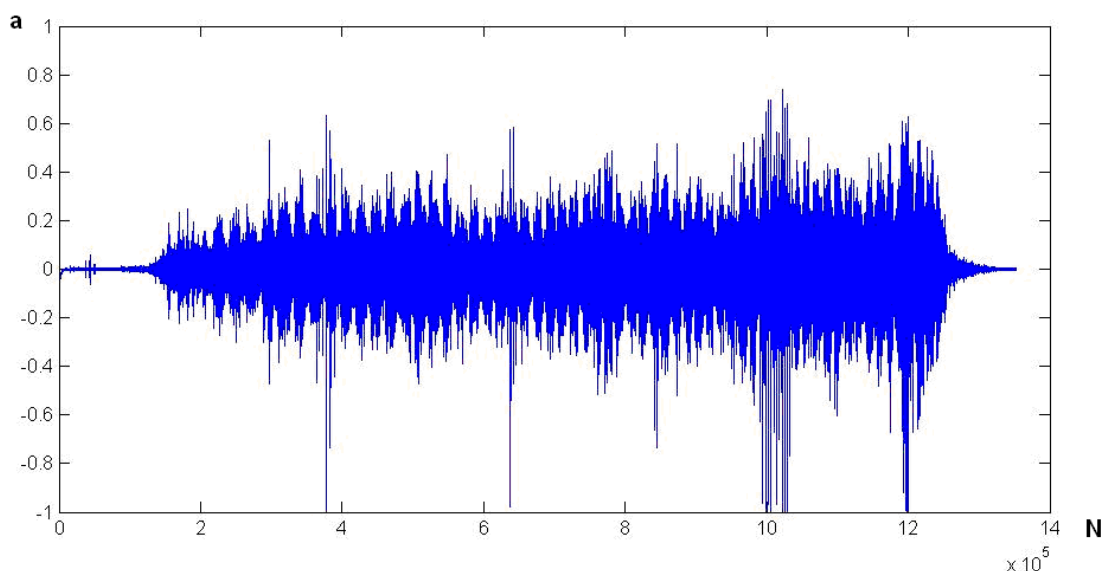


Рисунок 2.5 – График зависимости величины виброускорения

На практике, для анализа сигналов очень часто используются такие понятия как энергия или мощность сигнала. В данном случае энергия и мощность интересуют не как физические величины, а как средство сравнения различных сигналов, поэтому следует использовать определения энергии и средней мощности, принятые в теории сигналов. В соответствии с [44] усредненная мощность сигнала определяется по следующей формуле:

$$P_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) dt, \quad (2.2)$$

где:  $a$  – амплитуда сигнала;  $T$  – период интегрирования.

Для сигнала, снятого в дискретные моменты времени вышеприведенная формула примет вид:

$$P_{cp}^k = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T (a_{T(k-1)+i})^2, \quad (2.3)$$

где:  $T$  – период усреднения;  $i = [1...T]$ ;  $k = [1...N/T]$ .

Определим мощность сигнала, приведенного на рисунке 4 при периоде усреднения равном 6012 отсчетов (0,5 с) (Рисунок 2.6).

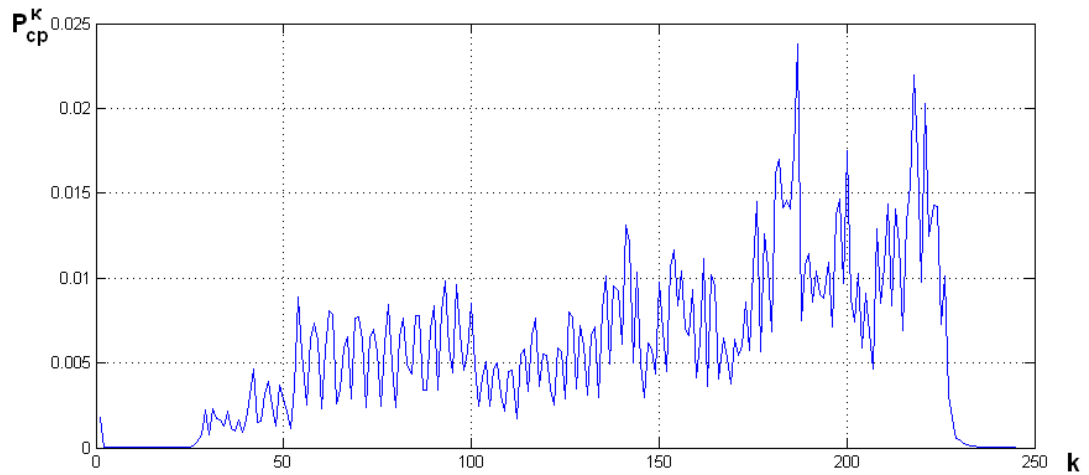


Рисунок 2.6 – График зависимости мощности виброускорения при периоде усреднения 0,5 с

Для перехода к абсолютному значению ускорения заменим в выражении (2.3), квадрат величины ускорения на его абсолютное значение:

$$a_{\text{ср}}^k = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T |a_{T(k-1)+i}|. \quad (2.4)$$

Определим среднее абсолютное значение сигнала, приведенного на рисунке 4 при периоде усреднения равном 0,5 сек. (Рисунок 2.7).

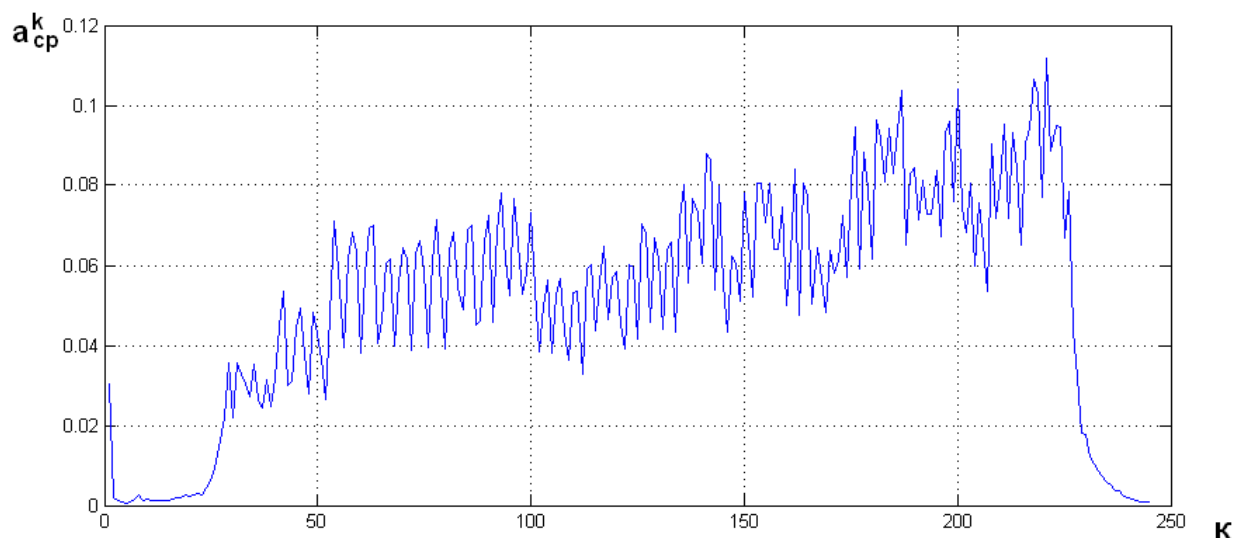


Рисунок 2.7 – График зависимости средне-абсолютного значения виброускорения при периоде интегрирования 1 с

Как видно из рисунков 2.5-2.7, в сигнале от вибродатчика (акселерометра), присутствует значительная нелинейность. Это обуславливается тем что, при нахождении колесных пар непосредственно над датчиком фиксируется усиление вибрации, а при нахождении базы вагона над датчиком ее ослабление.

По характеру изменения функции  $a_{cp}^k$ , возможно не только контролировать наличие поезда в зоне действия датчика, но и определять количество прошедших вагонов. Так при проходе состава с пятнадцатью вагонами и локомотивом получены данные приведенные на рисунке 2.7.

Визуальное наблюдение количества вагонов в составе равное 15 совпало с количеством пиков на графике зависимости (без учета локомотива) рисунок 2.8. Причем на рисунке 2.8в показан график зависимости среднего значения виброускорения при применении алгоритма скользящего среднего:

$$ma = \frac{\sum_0^m a_{cp}}{m} . \quad (2.5)$$

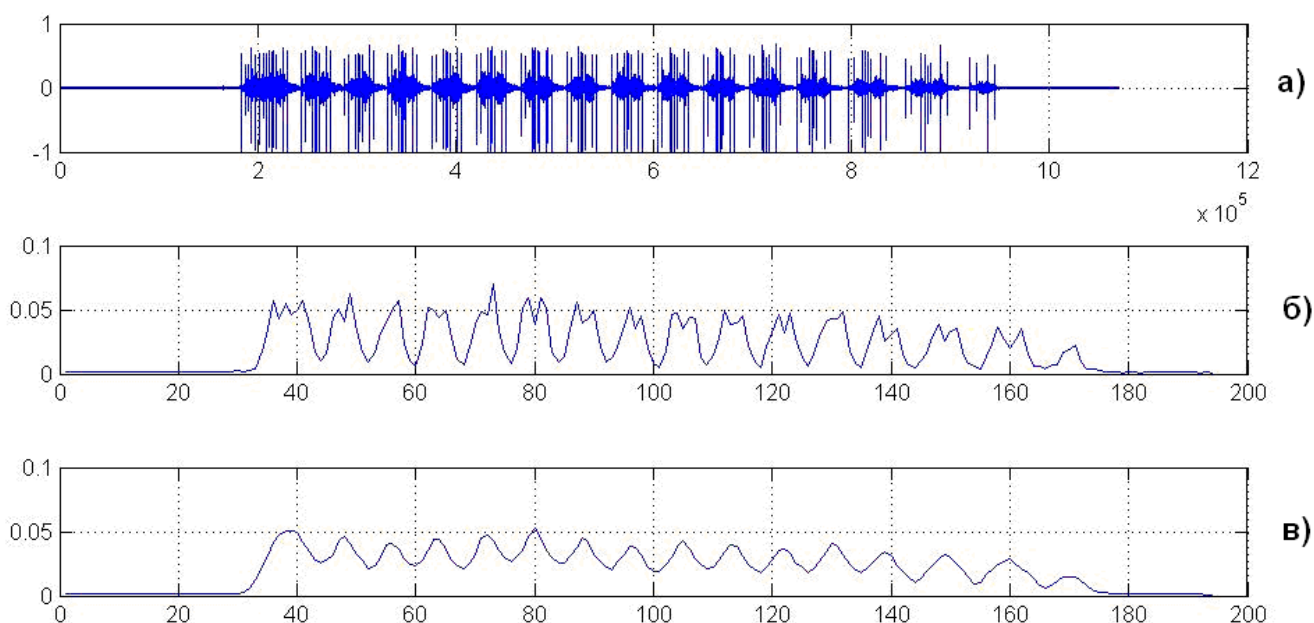


Рисунок 2.8 – Графики зависимости сигнала виброускорения и его среднего значения периоде усреднения 0,5 с: а) сигнал от датчика; б) среднее абсолютное значение сигнала; в) среднее абсолютное значение при применении алгоритма скользящего среднего

Применение данного алгоритма позволит в автоматическом режиме производить подсчет локальных минимумов и максимумов, и как следствие определять количество вагонов в составе.

Определив время между пиками на графике (Рисунок 2.8в) и зная среднюю длину вагона, была подсчитана приблизительная скорость состава 25 км/ч, которая примерно совпадает с наблюдаемой визуально.

## 2.2 Математическая модель обработки сигнала виброускорения рельса

Вопрос воздействия на рельс постоянной подвижной нагрузки изучали С. П. Тимошенко [45], Н. П. Петров [46], Г. М. Шахунянц [47]. Детально осветили в своих работах колебания рельса под действием изменяющейся во времени подвижной нагрузки Г.Б. Муравский и Б.Г. Коренева [48, 49, 50, 51]. Труд А.Я. Когана [52] является развитием и продолжением работ вышеупомянутых авторов. А.Я. Коган рассмотрел основные зависимости устойчивости пути и колебаний в горизонтальной и вертикальной поперечных плоскостях, на которые оказывает действие движущиеся нагрузки динамического характера.

Проведем анализ линейного дифференциального уравнения вертикальных колебаний рельса как балки под воздействием подвижной динамической силы на упругом основании Фусса-Винклера, которые описаны [53]

$$EI_y^0 \frac{\partial^4 z_p^0}{\partial x^4} + N^0 \frac{\partial^2 z_p^0}{\partial x^2} + m_z^0 \frac{\partial^2 z_p^0}{\partial t^2} + f_z^0 \frac{\partial z_p^0}{\partial t} + U_z^0 z_p^0 = 0, \quad (2.6)$$

где  $E$  является модулем упругости рельсовой стали,  $I_y^0$  – это момент инерции рельса относительно главной поперечной горизонтальной оси  $y$ ,  $x$  – абсцисса текущего значения рельса, которая отсчитывается от начала неподвижной системы,  $z_p^0$  – вертикальный прогиб рельса,  $N^0$  – продольная сила в рельсе (сжимающая),  $t$  – время,  $m_z^0$  – распределение по длине основания и приведенной массы рельса при вертикальных колебаниях пути,  $f_z^0$  – распределенное по длине при вертикальных колебаниях демпфирование пути,  $U_z^0$  – модуль упругости подрельсового основания в вертикальной плоскости.



Таким образом, можно перейти к новым переменным  $t$  и  $u$ , если учитывать то, что переменная нагрузка связана с подвижной системой координат, которая движется с постоянной поступательной скоростью  $V$ , где  $u$  является абсциссой текущего сечения рельса, которая отсчитывается от подвижного начала координат, совмещенного с движущейся силой (Рисунок 2.9).

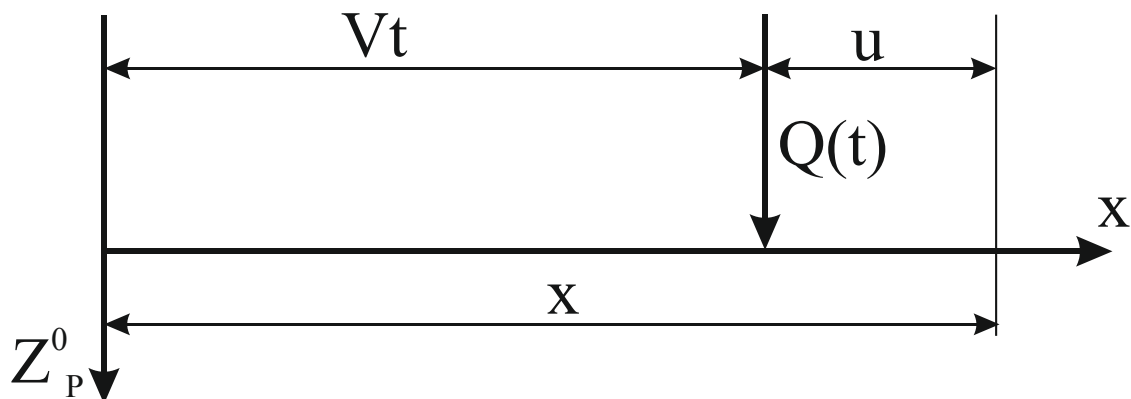


Рисунок 2.9 – Система координат для расчета колебания рельса

Основываясь на предположение, приведенное выше, имеем:  $z_p^0 = z_p^0(u, t)$ ,  $u = x - Vt$ .

Проведем анализ динамической системы, на вход которой оказывается воздействие  $Q(t)$ , на выходе снимается функция  $Z_p^0(t, u)$ ,  $u$  здесь выступает как параметр (Рисунок 2.10).

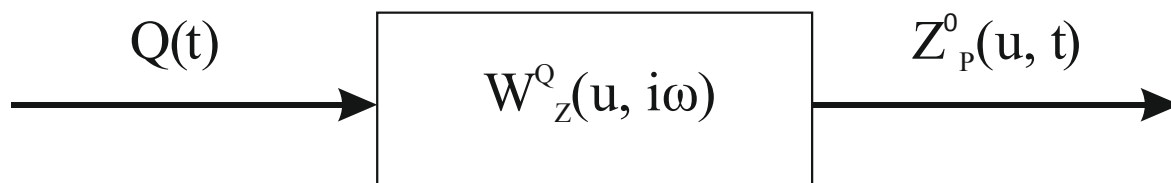


Рисунок 2.10 – Структурная схема преобразования силы в точке контакта рельса и колеса.

Приведем решение уравнения (2.6), уже опираясь на новые переменные. Сначала будем определять производные и выполнять необходимые преобразования, которые подробно описаны в [53]. Затем рассмотрим частотную характеристику данной системы

$$W_z^Q(u, i\omega) = \sum_i C_i \exp(riu), \quad (2.7)$$

$$I = 2, 4 \text{ при } u \leq 0; I = 1, 3 \text{ при } u \geq 0$$

Частотная характеристика (2.7) – это наиболее адекватная характеристика динамической системы, которая изображена на рисунке 2.10. Уравнение (2.7) является справедливым везде, за исключением точки приложения силы  $Q(t)$ , где третья производная от вертикального прогиба рельса по координате  $x$  терпит разрыв.

Таким образом, зависимости частотного и амплитудного характера, которые проявляются при движении по рельсовой линии динамических объектов, теоретически доказаны. Следующий этап – определение частотных характеристик представленной системы.

### 2.3 Структурно-функциональная модель управления железнодорожным переездом

Пересечения железнодорожных путей и автомобильных дорог в одном уровне приводят к задержкам движения автотранспорта и характеризуются продолжительными непроизводительными простоями. В свою очередь это может спровоцировать водителей на нарушение правил проезда переезда и как следствие возникновение аварий, в том числе с особо тяжкими последствиями. В настоящее время в 98% случаев аварий на переездах происходит по вине водителей [54]. Так как время включения заградительной сигнализации для автотранспорта зависит от максимально разрешенной скорости движения поездов по участку извещения, то переезды закрываются заблаговременно без учета реальной скорости следования подвижного состава. В большинстве случаев реальная скорость ниже максимально разрешенной, из-за чего увеличивает время простоя автотранспорта. Как следствие нервозность водителей и проезд переездных заградительных устройств, при их закрытом состоянии.

Согласно требованиям безопасности и методам контроля автоматики и телемеханики на железнодорожных переездах, формирование извещения на переезд определяется строго оговоренными условиями [55]. При этом, ни одно из

условий не учитывает реальную скорость движения подвижной единицы по участку извещения к переезду.

По динамике известных значений технической скорости железнодорожного транспорта определено, что средняя скорость по России на сегодняшний день составляет 47 км/ч [56]. Разрешенная максимальная скорость, на большинстве участков составляет 90-120 км/ч. Эта скорость учитывается при расчете длины участка извещения приближения поезда к переезду. Определяется ордината (точка извещения), при проследовании которой, подается сигнал на переезд о включении заградительных устройств [57]. При движении поезда с меньшей скоростью, увеличивается время нахождения поезда на участке извещения. Что приводит к увеличению времени простоя автотранспорта перед заградительными устройствами да тех пор пока поезд не покинет участок извещения.

Таким образом, существующие способы формирования извещения не являются универсальными и гибкими. А задача формирования извещения с учетом реальных скоростей и местоположения поезда, для систем автоматического управления процессом функционирования железнодорожных переездов является весьма актуальной.

При движении поезда возникают вынужденные колебания рельсовой линии, которые можно использовать как источник информации о приближающемся поезде. В работе [58] автором были разработаны алгоритмы и устройства системы оповещения о приближении поезда по виброакустическим колебаниям рельса. Проанализировав данные исследования, в качестве контролируемого параметра местоположения подвижной единицы на участке предлагается использовать реакцию рельсовой линии, которая фиксируется с помощью акселерометра прикрепленного к боковой поверхности, либо подошве рельса. В работе [59] авторы промоделировали колебания железнодорожного рельса при воздействии на него подвижной вертикальной динамической нагрузки. Было определено, что существует амплитудно-частотная зависимость величины виброускорения рельсовой линии от расстояния между источником и местом съема колебаний рельсовой линии. В статье [60] был описан эксперимент отклика рельсовой линии

на единичное импульсное воздействие, который подтвердил результаты моделирования.

Результаты выше изложенных исследований применим для формирования информации о приближающемся поезде к переезду по вынужденным колебаниям рельсовой линии. А именно по реакции рельсовой линии определим местоположение поезда на участке. По изменению расстояния определим его скорость. Что позволит определить время приближения поезда к переезду. Как только это время станет меньше типового времени закрытия заградительных устройств (рассчитывается индивидуально для каждого переезда), включаются заградительные устройства.

Разработаем структурно-функциональную модель управления переездом на основе нового метода формирования извещения (Рисунок. 2.11). В модели приняты следующие обозначения:

$G^{\text{Ш}}$  – автоматический шлагбаум;

$G^{\text{С}}$  – светофорная сигнализация;

$G^{\text{ПЕР}}$  – закрытие открытие переезда;

$G^{\text{П}}$  – вынужденные колебания рельсовой линии при движении поезда;

$L_{\phi}(i)$  – фактическое расстояние поезда до переезда при  $i$ -ом измерении;

$W(i)$  – функция управления заградительными устройствами.

При движении поезда по участку извещения, возникают вынужденные колебания рельсовой линии  $G^{\text{П}}$ , которые обрабатываются моделью определения расстояния до поезда  $L_{\phi}(i)$  по виброускорению рельсовой линии. Каждый цикл измерений обрабатывается моделью, которая решает, в какой момент времени включить заградительные устройства  $W(i)$ .

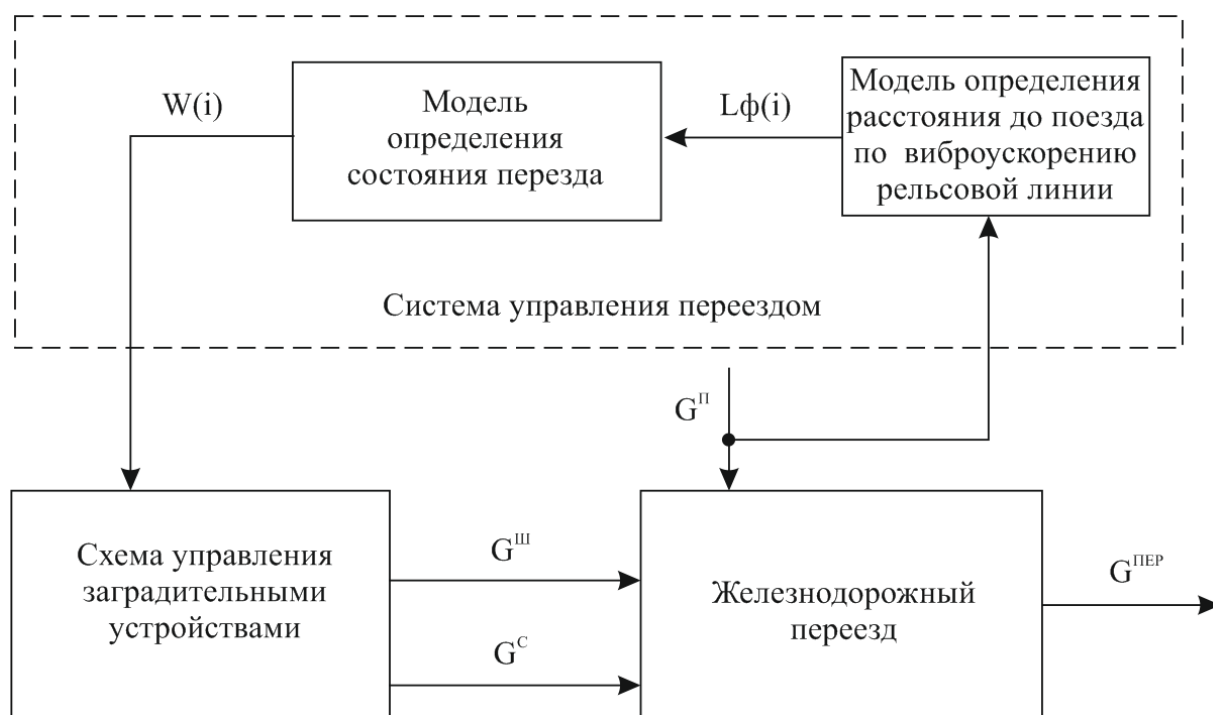


Рисунок 2.11 – Структурно-функциональная модель управления переездом.

Для структурно-функциональной модели разработаем алгоритм процесса функционирования [61] заградительных устройств переезда, который изображен на рисунке 2.12.

Рассмотрим подробно алгоритм работы заградительных устройств, учитывающий время приближения поезда к переезду в реальном масштабе времени.

Исходное состояние заградительных устройств переезда, в исправном состоянии, открытое [62]. Модель обработки виброускорения в режиме реального времени анализирует вынужденные колебания рельсовой линии. По амплитудно-частотным зависимостям определяет расстояние до поезда ( $L_{\phi}$  – фактическое расстояние от ординаты переезда подвижного объекта). Сравнивает с  $L_{ри}$  – расчетным расстоянием извещения (для каждого переезда индивидуально). При условии  $L_{\phi} < L_{ри}$ , рассчитывается  $t_{min}$  – минимальное время движения поезда до переезда при максимально возможной скорости и ускорении. Полученное время

сравнивается с  $t_{и}$  – const, расчетное время закрытия заградительных устройств (для каждого переезда индивидуально).

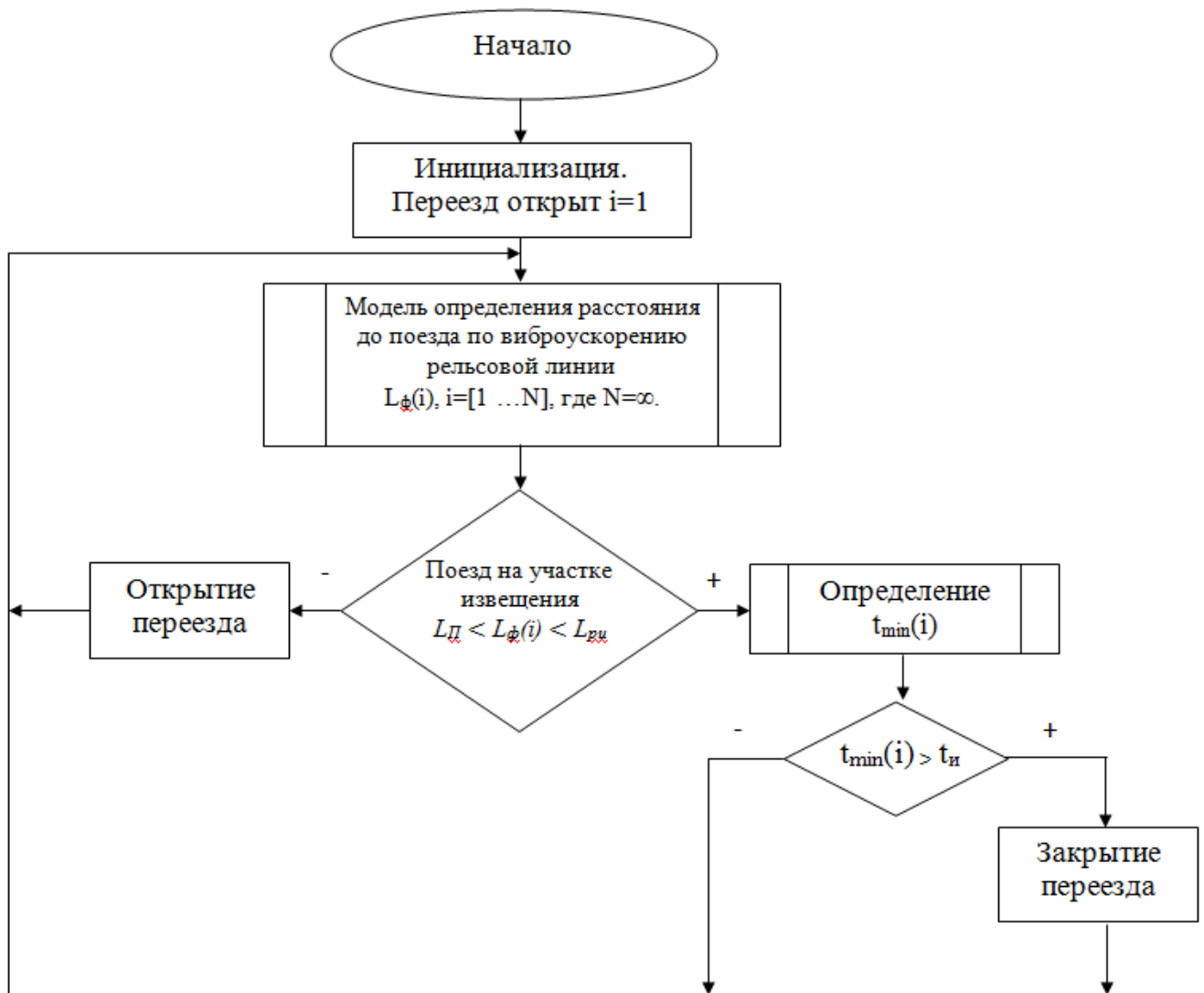


Рисунок 2.12 – Алгоритм управления заградительными устройствами переезда

Как только условие  $t_{\min} < t_{и}$  верно, переезд закрывается.

Открытие произойдет, как только поезд покинет участок извещения, т.е. условие  $L_{\Pi} < L_{\phi} < L_{рп}$  не выполняется.

Допустим, поезд движется по участку в соответствии с кривой скорости, изображенной на рисунке 2.13.

В режиме реального времени по виброускорению рельсовой линии определяются значения  $V_{\phi}(i)$  и  $L_{\phi}(i)$ , для конкретного перегона и переезда значения:  $V_{\max}$ , – максимальная скорость на участке,  $L_{рп}$  – длина участка

извещения,  $a_{\max}$  – максимально ускорение подвижной единицы, известны и являются постоянными величинами. Как только, поезд въезжает на участок извещения  $L_{\text{ри}} > L_{\text{ф}}$ , определяется  $t_{\min}$  минимальное время приближения поезда к переезду, при максимально допустимых параметрах движения для текущей скорости и координаты.

Рассмотрим более детально этот процесс. Минимальное время приближения поезда до ординаты переезда при максимальных параметрах движения определяется:

$$t_{\min}(i) = t_1(i) + t_2(i), \quad (2.8)$$

где  $t_1(i)$  – время, которое проедет поезд от точки  $L_{\text{ф}}(i)$  до точки  $L_{\text{р}}(i)$ , при максимальном ускорении  $a_{\max}$ , с текущей скорости до максимально разрешенной скорости по участку  $V_{\max}$ ;  $t_2(i)$  – время равномерного движения поезда с  $L_{\text{р}}(i)$  до  $L_{\text{п}}$ , при движении по участку с максимально разрешенной скоростью.

На рисунке 2.13 присутствуют следующие обозначения:

$L_{\text{ф}}(i)$  – координата поезда;

$V_{\text{ф}}(i)$  – скорость поезда;

$L_{\text{р}}(i)$  – определяется при известных значениях  $V_{\text{ф}}(i)$  и  $L_{\text{ф}}(i)$ ;

$V_{\max}$  – максимально разрешенная скорость поезда по перегону (для каждого перегона индивидуальна);

$L_{\text{п}}$  – координата переезда;

$a$  – ускорение поезда;

$a_{\max}$  – максимально возможное ускорение поезда;

$L_{\text{ри}}$  – расчетное расстояние извещения (для каждого переезда индивидуально).

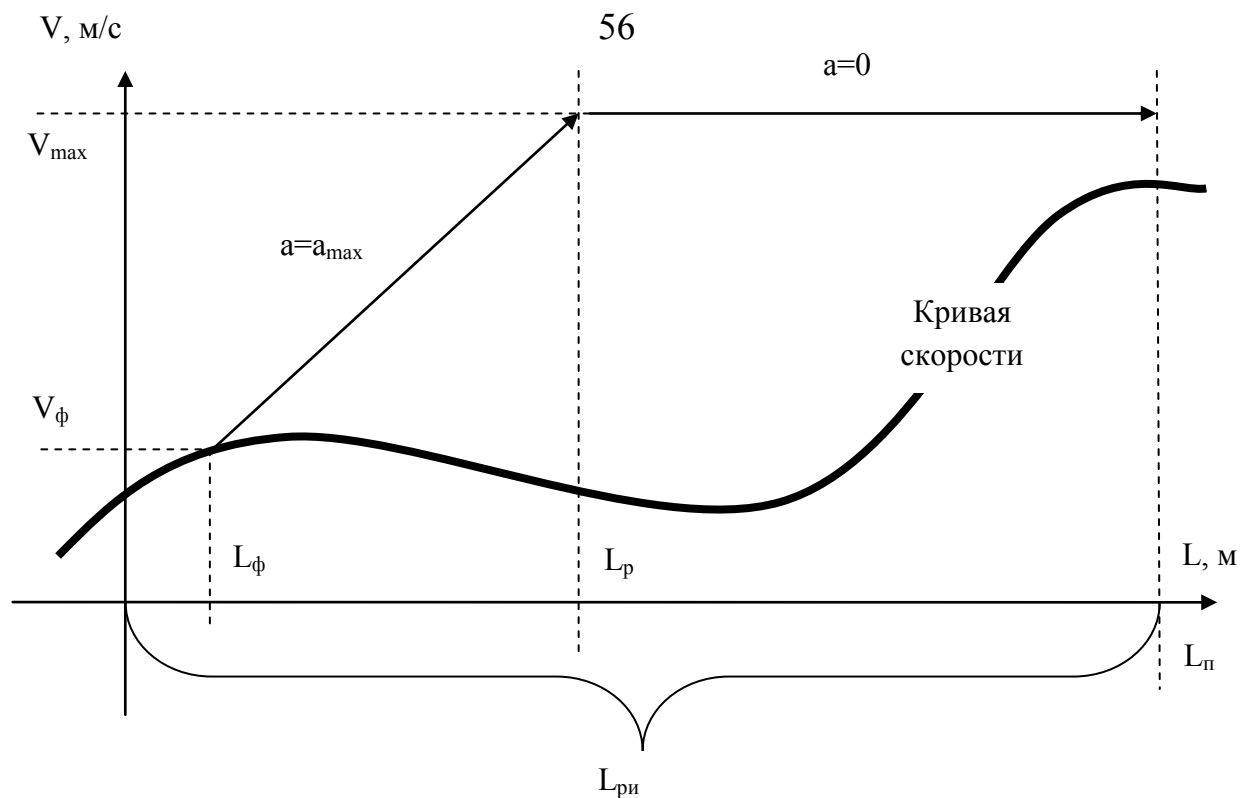


Рисунок 2.13 – График определения минимального времени приближения к переезду

Известно, что время, за которое поезд увеличит скорость с  $V_{\phi}(i)$  до  $V_{\max}$  при максимальном ускорении  $a_{\max}$  определяется по формуле [63]:

$$t_1(i) = \frac{V_{\max} - V_{\phi}(i)}{a_{\max}}. \quad (2.9)$$

Получив значение времени  $t_1$ , определим расстояние  $L_{\phi}L_p(i)$ , которое проедет поезд по формуле [2.10]:

$$L_{\phi}L_p(i) = V_{\phi}(i) * t_1(i) + \frac{a_{\max} * t_1^2(i)}{2}. \quad (2.10)$$

Получив значение отрезка  $L_{\phi}L_p(i)$  и зная фактическое расстояние до переезда  $L_{\phi}L_{\pi}(i)$  определим  $L_pL_{\pi}(i)$ :

$$L_pL_{\pi}(i) = L_{\phi}L_{\pi}(i) - L_{\phi}L_p(i). \quad (2.11)$$

При максимально разрешенной скорости движения по участку  $L_pL_{\pi}(i)$  рассчитывается время  $t_2(i)$ :

$$t_2(i) = \frac{L_pL_{\pi}(i)}{V_{\max}}. \quad (2.12)$$



Подставив формулы 2.9-2.12 в 2.8 получим (2.13), уравнение расчета минимального времени приближения текущего поезда к переезду для  $i$ -го измерения.

$$t_{\min}(i) = \frac{V_{\max} - V_{\phi}(i)}{a_{\max}} + \frac{L_p L_{\Pi}(i) - V_{\phi}(i) * \left( \frac{V_{\max} - V_{\phi}(i)}{a_{\max}} \right) + \frac{a_{\max} * \left( \frac{V_{\max} - V_{\phi}(i)}{a_{\max}} \right)^2}{2}}{V_{\max}}. \quad (2.13)$$

Уравнение 2.13 является конечным в определении минимального времени движения к переезду. Полученное значение  $t_{\min}$  необходимо сравнить с расчетным временем закрытия заградительных устройств  $t_{и}$ .

Как только это условие  $t_{\min} < t_{и}$  выполняется, включаются заградительные устройства (переезд зарывается).

На основании разработанной структурной схемы, алгоритма работы переезда и уравнения расчета минимального времени приближения текущего поезда к переезду, разработаем математическую модель функционирования заградительных устройств переезда, которая учитывает текущую координату и скорость движения поезда (2.14).

$$\left\{ \begin{array}{l} t_{\min}(i) = \frac{V_{\max} - V_{\phi}(i)}{a_{\max}} + \frac{L_p L_{\Pi}(i) - V_{\phi}(i) * \left( \frac{V_{\max} - V_{\phi}(i)}{a_{\max}} \right) + \frac{a_{\max} * \left( \frac{V_{\max} - V_{\phi}(i)}{a_{\max}} \right)^2}{2}}{V_{\max}} \\ W(i) = \begin{cases} 1, \text{ если } t_{и} > t_{\min}(i), L_{\phi}(i) < L_{\text{ри}}; \\ 0, \text{ если } L_{\Pi} > L_{\phi}(i) > L_{\text{ри}}; \end{cases} \\ V_{\phi}(i) = \frac{L_{\phi}(i) - L_{\phi}(i-1)}{\Delta t} \end{array} \right., \quad (2.14)$$

где  $L_{\phi}(i)$ ,  $L_p(i)$  – координата поезда;  $L_{\Pi}$  – координата переезда;  $V_{\max}$  – максимально разрешенная скорость поезда по перегону;  $a_{\max}$  – максимально возможное ускорение поезда;  $V_{\phi}(i)$ ,  $V_p(i)$  – скорость поезда;  $t_{и}$  – const, время закрытия заградительных устройств (для каждого переезда индивидуально);  $i=[1 \dots N]$ , где  $N=\infty$ .

Разработанная модель управления процессом функционирования железнодорожными переездами на основе новых методов формирования извещения в режиме реального времени вычисляет время приближения поезда к ординате переезда с учетом текущего местоположения и скорости. Как только

время закрытия заградительных устройств, превысит время приближения, включатся заградительные переездные устройства. Что позволит минимизировать простой автотранспорта до минимального времени, как следствие сократить аварийность на переездах [64].

## 2.4 Выводы по разделу 2

1. Анализ вибрационных характеристик рельсовой линии с применением акселерометра в качестве датчика вибрации позволит контролировать наличие подвижной единицы в зоне его действия, а также определять количество вагонов в составе и скорость движения. Следует отметить, что применяемый датчик также позволяет контролировать наличие движущегося поезда на определенном расстоянии от него. При этом процесс приближения поезда к соответствующему датчику фиксируется по увеличению среднего абсолютного значения виброускорения.

2. Проведено исследование выявления зависимостей амплитудного и частотного характера проявляющихся в движении динамических объектов по рельсовой линии. Дальнейшим процессом изучения будет нахождение частотных характеристик рассматриваемой системы. Кроме того для проверки адекватности предложенного метода потребуется экспериментальное подтверждение.

3. Разработанная модель управления процессом функционирования железнодорожными переездами на основе новых методов формирования извещения. В режиме реального времени вычисляется время приближения поезда к ординате переезда с учетом текущего местоположения и скорости. Как только время закрытия заградительных устройств, превысит время приближения, включатся заградительные переездные устройства. Что позволит минимизировать простой автотранспорта и сократить аварийность на переездах.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПЕРЕЕЗДА

### 3.1 Исследование динамических свойств математической модели виброускорения рельса

В исследованиях [65, 66, 67, 68, 69, 70] велось рассмотрение динамической математической модели для различных подвижных единиц по рельсовому основанию. Возможно провести вычисления выходного сигнала, который будет частной характеристикой рельса, по известной конкретной модели (например, передаточной функции), при определенном входном воздействии. Под входным воздействием рассматривается сигнал от подвижной единицы, которая движется с известной скоростью.

Основываясь на математической модели сигнала виброускорения рельса (2.7) рассмотрим зависимости частотного и амплитудного характера, которые проявляются при движении по рельсовой линии динамических объектов. Определим частотные характеристики исследуемой системы для реальных данных.

Рассчитаем амплитудно-частотные характеристики передаточной функции  $W_z^Q(u, i\omega)$ , используя данные параметры пути:  $m_z^0 = 940$  кг/м,  $f_z^0 = 6 \cdot 10^4$  н/м,  $U_z^0 = 34$  МПа,  $E = 2,1 \cdot 10^5$  МПа,  $I_y^0 = 2,011 \cdot 10^{-5}$  м<sup>4</sup>.

Построим амплитудно-частотные характеристики  $W_z^Q(u, i\omega)$  [71], используя программный математический пакет «Maple», при  $V = 10$  км/ч и разных значениях расстояния от точки касания  $Q(t)$  до точки определения параметров (Рисунки 3.1, 3.2).

Зависимости между круговой частотой и амплитудой при разных расстояниях от точки касания до места определения параметров наглядно иллюстрируют построенные кривые. Анализируя графики, можно утверждать, что при увеличении расстояния между точками, рассмотренными выше, максимум

амплитуды сигнала сдвигается в сторону увеличения частоты. Используя полученные градуировочные зависимости можно определить расстояния между подвижным динамическим объектом и датчиком.

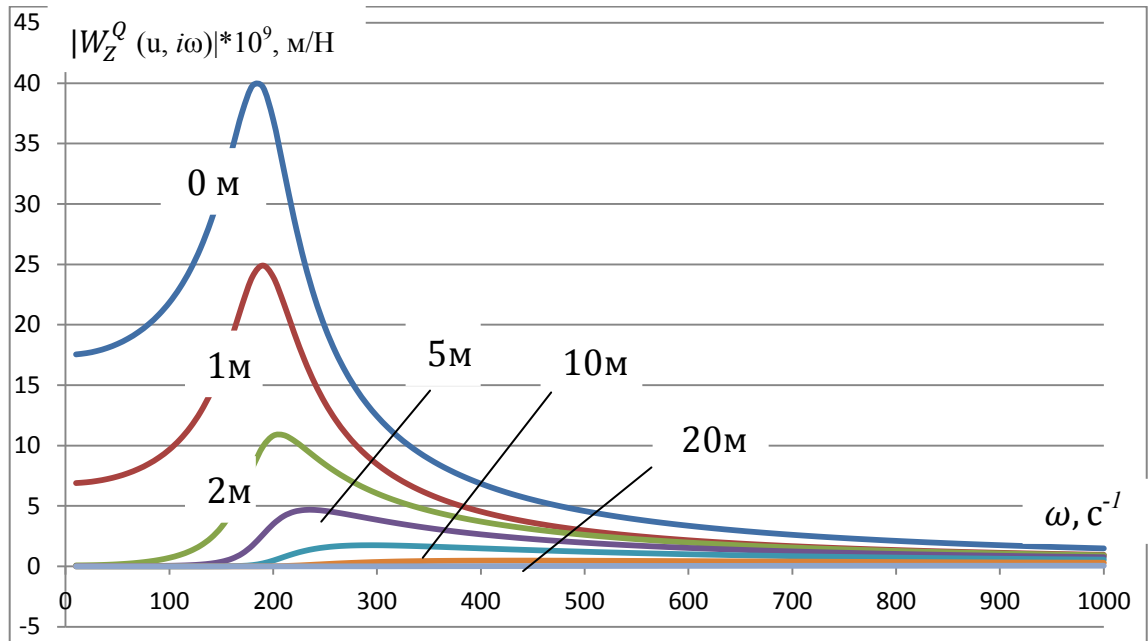


Рисунок 3.1 – Амплитудно-частотные характеристики  $W_Z^Q(i\omega, u)$  для определения параметров и разных расстояний (от 0 до 20 м) между точками касания при скорости 10 км/ч

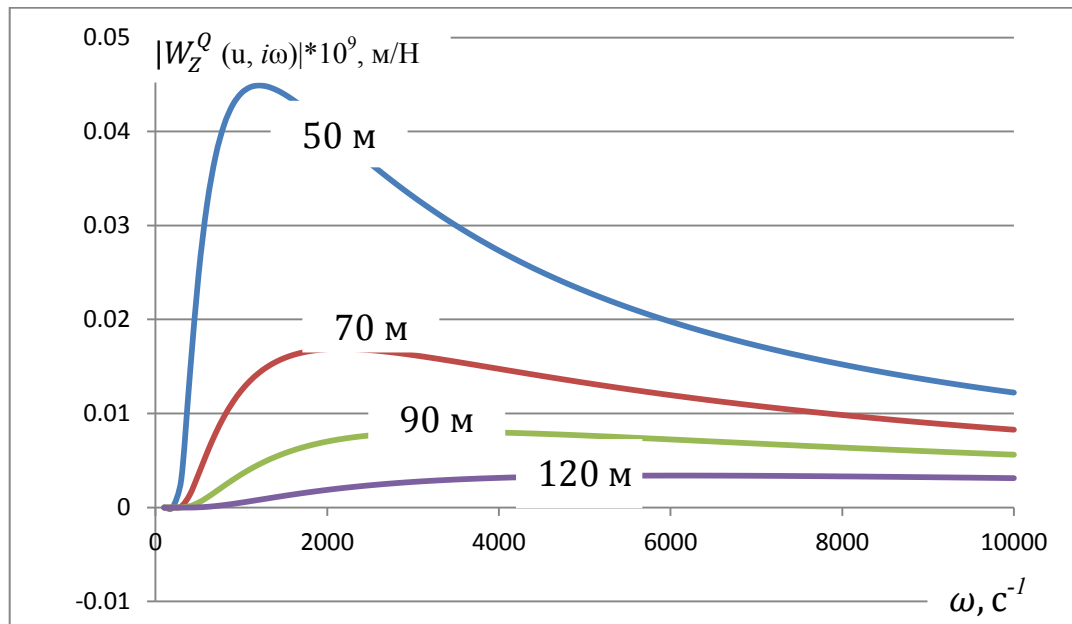


Рисунок 3.2 – Амплитудно-частотные характеристики  $W_Z^Q(i\omega, u)$  для определения параметров и разных расстояний (от 50 до 120 м) между точками касания при скорости 10 км/ч

На выходе системы с передаточной функцией  $W_z^Q(u, i\omega)$  процесс возможно зафиксировать таким прибором, как, например, акселерометр [72]. С целью подбора нужного датчика есть необходимость определить сначала возможные частотные сигналы, образующиеся при движении подвижных единиц по рельсам.

Следующий этап – найти частотные характеристики исследуемой системы и определить тип измерительного устройства. Но рассмотренный метод требует усовершенствования, так как возникают не учтенные в модели шумы и возмущения в момент движения реальных подвижных объектов. Помимо этого, чтобы проверить адекватность предложенного метода, необходимо либо моделировать реальные процессы движения подвижных единиц, либо экспериментальное тому подтверждение.

### 3.2 Экспериментальное исследование отклика рельсовой линии на импульсное единичное воздействие

Благодаря численному моделированию появляется возможность построения графиков, которые наглядно иллюстрируют соотношение между круговой частотой при разных расстояниях от точек касания до точек съема информации и амплитудой. Анализируя полученные зависимости, можно утверждать, что при увеличении расстояния между точкой измерения и динамическим объектом максимум амплитуды сигнала смещается в сторону увеличения частоты. Из чего следует, что необходим эксперимент для определения частотных характеристик реальной рельсовой линии [73].

Для проведения эксперимента был использован металлический шар весом 100 г, падающий на головку рельса под действием силы тяжести с высоты 1 м. Как датчик отклика системы на удар шара был взят акселерометр. Данное устройство построено на базе Freescale MMA7341L/MMA7361L XYZ и имеет регулируемую чувствительность ( $\pm 3$  г или  $\pm 11$  г) и аналоговый выход по напряжению. Напряжение питания 2,2-3,6 В, ток 0,5 А, полоса пропускания 400 Гц.

Датчик фиксировал удары по рельсу металлического шара на разных расстояниях от места падения. Результатом экспериментальных исследований стала полученная импульсная характеристика рельсовой линии. Полученные от датчика сигналы виброускорения были записаны с использованием программного обеспечения Adobe Audition в виде файлов с расширением «\*.wav». Ниже, на рисунке 3.3 [74], приведены графики отдельных сигналов при разных расстояниях от датчика.

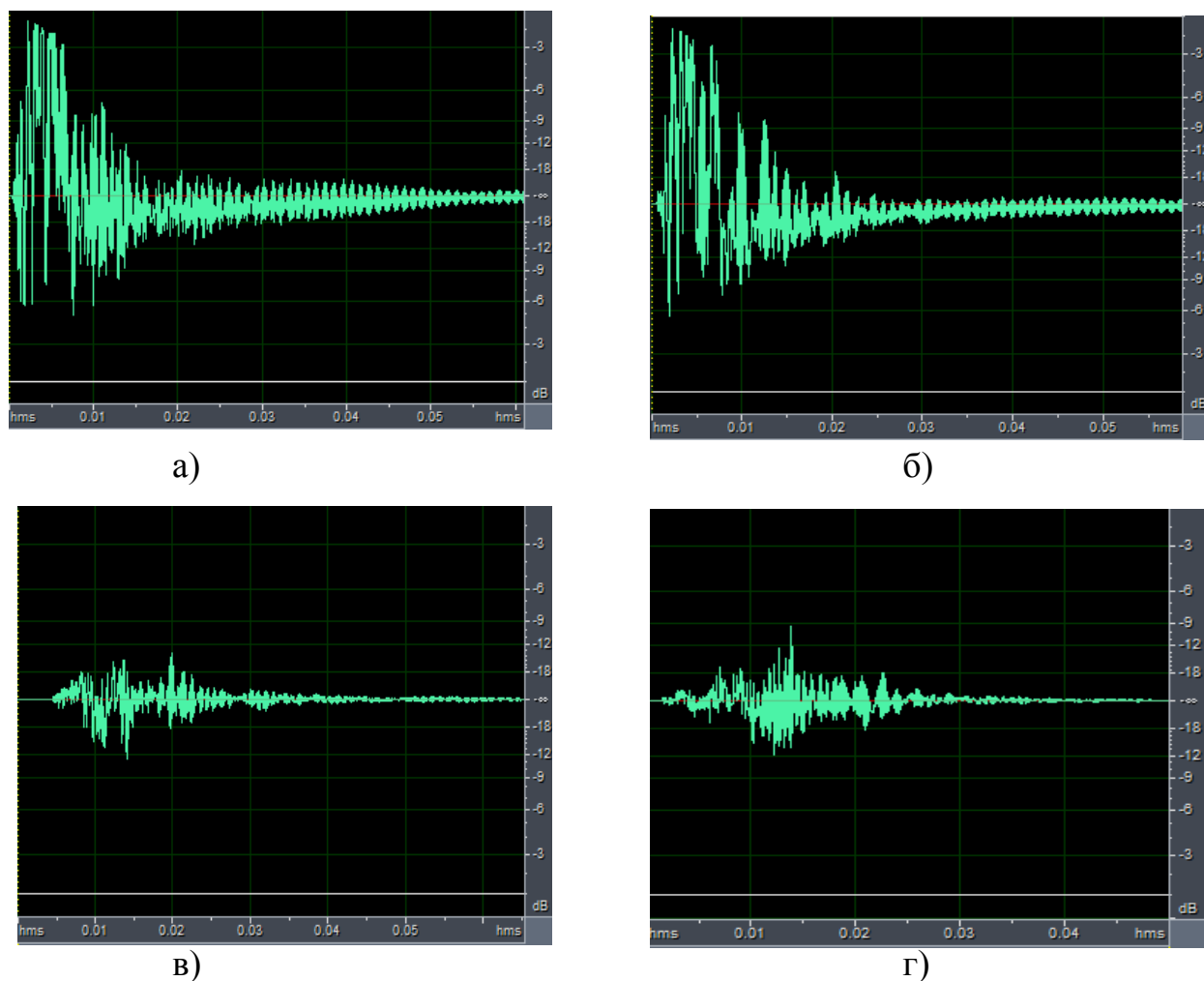


Рисунок 3.3 – Графики зависимости выходного сигнала от различных расстояний: а) сигнал над датчиком, б) сигнал на расстоянии 3 метров, в) сигнал на расстоянии 16 метров, г) сигнал на расстоянии 20 метров

Проводилось по 10 идентичных экспериментов для каждого рассматриваемого расстояния от места удара до датчика. Были выявлены

определенные закономерности в изменениях выходных сигналов. Как иллюстрирует рисунок 3.2, у выходных сигналов датчика имеется множество различных помех и шумов. Так как полоса пропускания датчика составляет 0-400 Гц, было решено по частоте среза 400 Гц отфильтровать сигнал посредством фильтра нижних частот.

Дальнейшие исследования, как и фильтрация, проводились при помощи математической среды MatLab. С этой целью был использован пакет расширения SPTool (средства обработки сигнала — Signal Processing Toolbox) [75].

Вследствие того, что у измерительного устройства известны граничные условия и в полученных итоговых результатах измерений содержится множество помех, был использован фильтр Баттерворта или цифровой фильтр, у которого максимально-плоская амплитудно-частотная характеристика.

Известно, что любой фильтр характеризуется отношением отклика фильтра на входной сигнал или своей передаточной характеристикой [76]:

$$H(z) = \frac{B(z)}{A(z)}, \quad (3.1)$$

где:  $H(z)$  – это передаточная характеристика фильтра,  $A(z)$  – входной сигнал фильтра,  $B(z)$  – выходной сигнал фильтра.

Если использовать в данном выражении значения коэффициентов фильтра, получается следующая форма записи формулы передаточной характеристики [77]:

$$H(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_m z^{-m}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_n z^{-n}}, \quad (3.2)$$

где  $n$  и  $m$  – это количество коэффициентов фильтра (порядок фильтра определяет  $z^{-n}$  ний),  $a_n$  – это коэффициенты фильтра, которые связаны с отсчетами выходного сигнала,  $b_m$  – это коэффициенты фильтра, которые связаны с отсчетами входного сигнала,  $z^{-n}$  – это элемент задержки сигнала на  $n$  отсчетов.

Наряду с этим появляется необходимость определить порядок фильтра [78]:

$$N = \frac{\log\left(\frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_p}\right)}{\log\left(\frac{f_s}{f_p}\right)}, \quad (3.3)$$

где  $\varepsilon_s$  – это коэффициент неравномерности характеристики в полосе заграждения,  $\varepsilon_p$  – это коэффициент неравномерности характеристики в полосе пропускания,  $f_s$  – это частота заграждения;  $f_p$  – частота пропускания.

Формулы для определения коэффициентов неравномерности:

$$\varepsilon_s = \sqrt{10^{R_p/10} - 1}, \quad \varepsilon_p = \sqrt{10^{R_s/10} - 1}, \quad (3.4)$$

где  $R_s$  – это неравномерность в полосе пропускания;  $R_p$  – это уровень подавления в полосе заграждения.

Возьмем исходные данные, чтобы определить порядок фильтра:  $f_p = 400$  Гц,  $f_p = 600$  Гц,  $R_s = 0,1$  дБ,  $R_p = 40$  дБ. Данные значения подставим в формулы 3.3-3.4.

Выполнив вычисления, получим:

$$N = 13,952.$$

Округлим порядок фильтра до наибольшего целого и получим требуемый порядок фильтра [79].

Чтобы произвести фильтрацию данных был использован фильтр Баттерворта 14-го порядка, который обладает линейной фазо-частотной характеристикой [80].

На рисунке 3.4 представлены некоторые из результатов фильтрации сигналов.

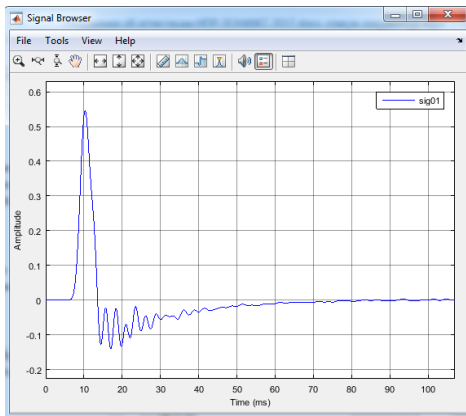
Как видно из графиков (Рисунок 3.4), по амплитудно-временным признакам делать анализ отфильтрованного сигнала сложно в связи с отсутствием четко выраженной зависимости изменения сигнала от расстояния.

Мощным инструментом для обработки экспериментов служит спектральный анализ. Он, в частности, используется, чтобы анализировать данные, выявлять характерные частоты с целью подавления шумов и т.п.

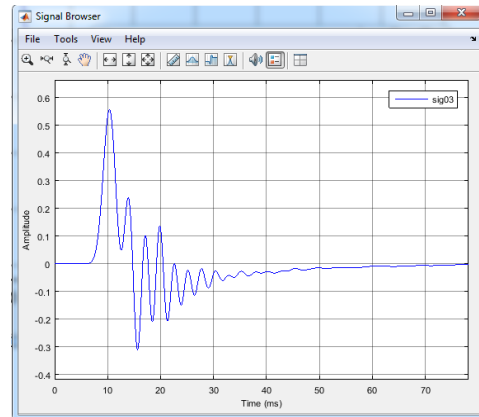
Обычно при обработке сигналов принимается во внимание декомпозиция сигнала на амплитуды и частоты, иначе говоря, обратимый переход от временного пространства в частотное пространство или преобразование Фурье [81]:



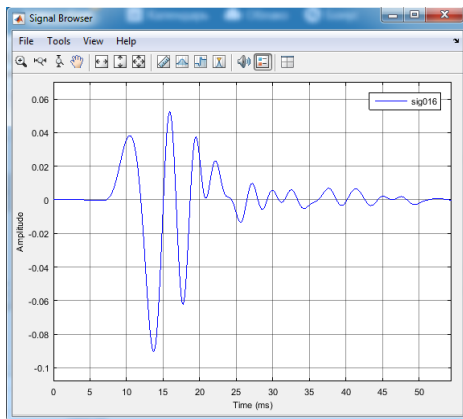
$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)W_N^{nk}, k = 0, 1, \dots, N - 1, \quad (3.5)$$



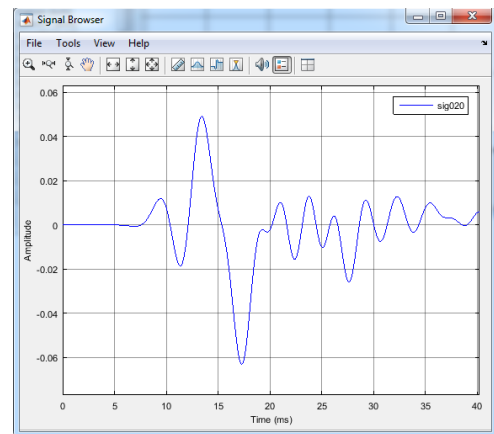
а)



б)



в)



г)

Рисунок 3.4 – Графики отфильтрованного сигнала при разных расстояниях:

а) сигнал над датчиком, б) сигнал на расстоянии 3 метров, в) сигнал на расстоянии 16 метров, г) сигнал на расстоянии 20 метров

здесь  $n$  – это дискретное нормированное время  $n = nT/T$ ,  $k$  – это дискретная нормированная частота  $k = k\Delta\omega/\Delta\omega$ ,  $\Delta\omega$  — это период дискретизации по частоте. При частоте дискретизации  $\omega_d = 2\pi/T$  период равен:

$$\Delta\omega = \omega_d/N = 2\pi/NT, \quad (3.6)$$

$x(n)$ ,  $n = 0, 1, \dots, N - 1$ ,  $N$  – это точечная последовательность, то есть, периодическая последовательность в области дискретного нормированного времени с периодом  $N$ ;  $W_N^{nk}$  — поворачивающий множитель:

$$W_N^{nk} = e^{-j\frac{2\pi}{N}nk}, \quad (3.7)$$

$X(k)W_N^{nk} = X(k)e^{-j\frac{2\pi}{N}nk}$  –  $k$  - дискретная гармоника.

Посредством использования алгоритмов дискретного преобразования Фурье, стали известны амплитудо-частотные характеристики всех отфильтрованных сигналов (Рисунок. 3.5).

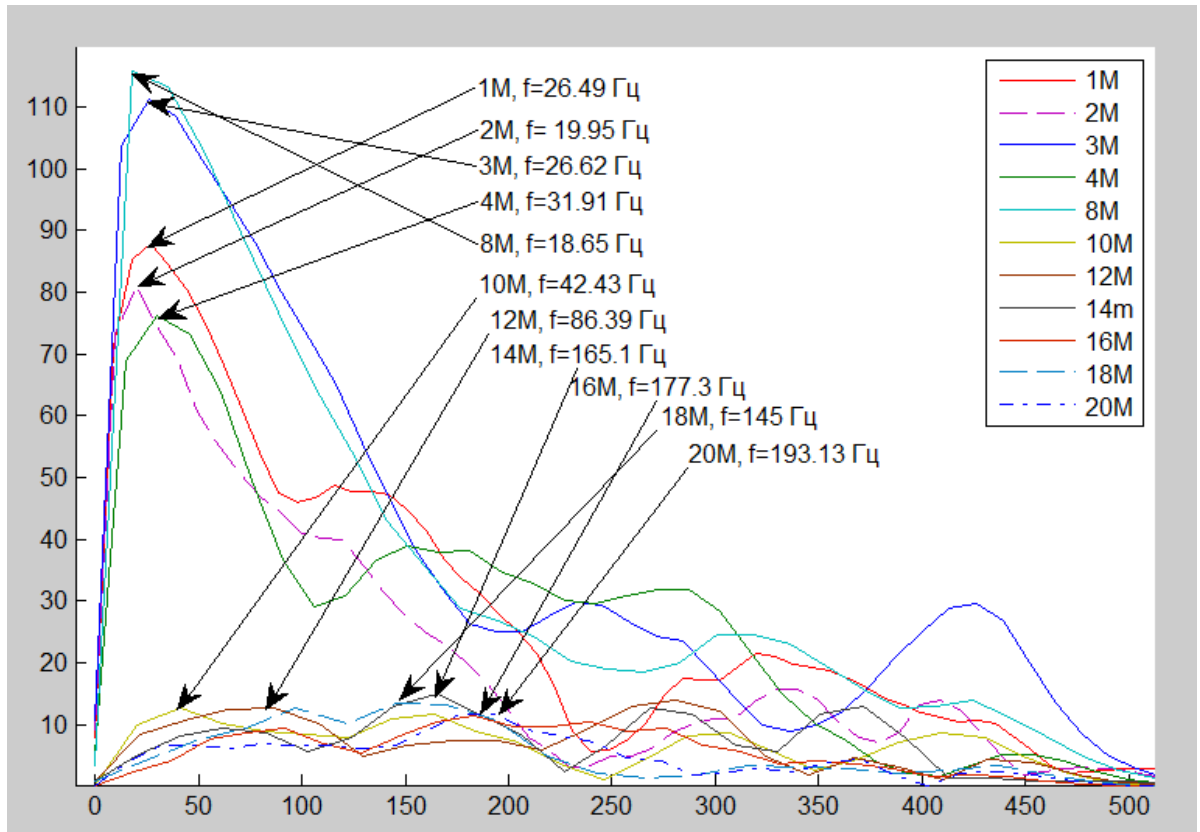


Рисунок 3.5 – Графики частотных характеристик при разных расстояниях

Анализируя данные, которые приведены на рисунке 3.5, прослеживается определенная зависимость частоты и амплитуды при разных расстояниях. Наряду с этим, у большинства сигналов наблюдается смещение максимумов амплитуды при увеличении расстояния до датчика в сторону увеличения частоты. Данный факт является подтверждением проведенному ранее теоретическому моделированию процессов [82], повторенному и расширенному в работе [83] для разных расстояний. Также в полученных характеристиках имеются исключения: 2 метра, 8 метров, 18 метров. На данных расстояниях частоты отличаются от общей

картины зависимостей, так как пики максимальных амплитуд в данных случаях не располагаются в последовательности возрастания. Подобные исключения возможно трактовать ошибочными по причине некоторых особенностей, таких как способ крепления датчика к рельсам, свойства самого датчика, неучтенные шумы, помехи и т.п.

### 3.3 Модель идентификации подвижной единицы по признакам виброускорения

Исходными данными для задачи идентификации являются конечный ряд значений входной величины объекта управления  $x_i$  (пиковая круговая частота сигнала виброперемещения рельса) и соответствующие значения выходных переменных  $y_j$  (расстояние до поезда). Математическая модель функциональной связи между входными и выходными переменными задается в виде уравнения регрессии [84]:

$$y_M = f(x), \quad (3.8)$$

где  $f(x)$  – некоторая аналитическая зависимость, в качестве которой наиболее часто применяются степенные полиномы:

$$y_M = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n. \quad (3.9)$$

Задача идентификации ставится как нахождение таких оценок неизвестных параметров  $a_i, i=0,1,\dots,n$ , при которых заданная уравнением (3.9) аналитическая зависимость будет наилучшим образом аппроксимировать экспериментальные данные.

В качестве критерия близости используем минимум квадратичной невязки  $J$  значений фактических переменных  $y_j$  и модельных, рассчитанных по уравнению регрессии (3.9):

$$J(a_i) = \sum_{j=1}^N e_j^2 = \sum_{j=1}^N (y_j - y_j^M)^2 = \sum_{j=1}^N (y_j - (a_0 + a_1x + \dots + a_mx^m))^2 \rightarrow \min, \quad (3.10)$$

где  $y_j$  – экспериментальное значение выходной переменной, полученное в  $j$ -ый момент времени;  $y_j^m$  – модельное (расчётное) значение в тот же момент времени;  $N$  – количество измерений.

Для нахождения коэффициентов регрессии составим уравнения наличия экстремума по каждому параметру  $a_i$ :

$$\frac{\partial J}{\partial a_i} = 0, \quad i = 0, 1, \dots, n. \quad (3.11)$$

Совокупность соотношений (3.11) образует систему уравнений относительно оценок  $n$  коэффициентов уравнения регрессии (3.10), решение которой определяет искомые коэффициенты. Для выбора полинома используем общие графические представления о характере экспериментальной зависимости (3.9), приведенной на рисунке 3.6

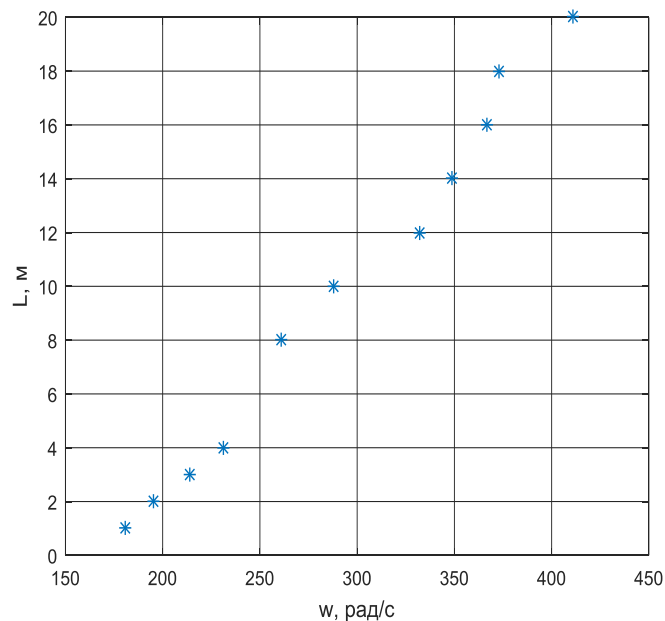


Рисунок 3.6 – Теоретическая зависимость ускорения к круговой частоте

Решим задачу идентификации в случае аппроксимации полученных данных квадратичным полиномом вида [85, 86]:

$$y^m(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2. \quad (3.12)$$

Критерий минимума среднеквадратичной ошибки в этом случае определяется функционалом:

$$\min_{a_i} J(a_i) = \min_{a_0, a_1, a_2} \sum_{j=1}^N [y_j - (a_0 + a_1 x_j + a_2 x_j^2)]^2. \quad (3.13)$$

Система уравнений для нахождения коэффициентов  $a_i$  в соответствии с (3.11) принимает вид:

$$\begin{cases} \frac{\partial J}{\partial a_0} = -2 \sum_{j=1}^N (y_j - a_0 - a_1 x_j - a_2 x_j^2) = 0; \\ \frac{\partial J}{\partial a_1} = -2 \sum_{j=1}^N (y_j - a_0 - a_1 x_j - a_2 x_j^2) x_j = 0; \\ \frac{\partial J}{\partial a_2} = -2 \sum_{j=1}^N (y_j - a_0 - a_1 x_j - a_2 x_j^2) x_j^2 = 0. \end{cases} \quad (3.14)$$

Преобразовывая (3.12), получим следующие соотношения:

$$\begin{cases} a_0 N + a_1 \sum_{j=1}^N x_j + a_2 \sum_{j=1}^N x_j^2 = \sum_{j=1}^N y_j; \\ a_0 \sum_{j=1}^N x_j + a_1 \sum_{j=1}^N x_j^2 + a_2 \sum_{j=1}^N x_j^3 = \sum_{j=1}^N y_j x_j; \\ a_0 \sum_{j=1}^N x_j^2 + a_1 \sum_{j=1}^N x_j^3 + a_2 \sum_{j=1}^N x_j^4 = \sum_{j=1}^N y_j x_j^2. \end{cases} \quad (3.15)$$

Представим систему (3.13) в матричном виде:

$$\begin{bmatrix} N & \sum_{j=1}^N x_j & \sum_{j=1}^N x_j^2 \\ \sum_{j=1}^N x_j & \sum_{j=1}^N x_j^2 & \sum_{j=1}^N x_j^3 \\ \sum_{j=1}^N x_j^2 & \sum_{j=1}^N x_j^3 & \sum_{j=1}^N x_j^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{j=1}^N y_j \\ \sum_{j=1}^N y_j x_j \\ \sum_{j=1}^N y_j x_j^2 \end{bmatrix}, \quad U\beta=Y. \quad (3.16)$$

Решением системы (3.14) являются искомые выражения для коэффициентов уравнения регрессии  $a_i$ :

$$\beta=U^{-1}Y. \quad (3.17)$$

В результате получены значения коэффициентов уравнения (3.12):

$$\beta = \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -11,5375 \\ 0,0613 \\ 3,867 \cdot 10^{-5} \end{bmatrix},$$

$$L^M(\omega) = -11,5375 + 0,0613 \cdot \omega + 3,867 \cdot 10^{-5} \cdot \omega^2. \quad (3.18)$$

На рисунке 3.7 приведена полученная статическая зависимость с помощью метода наименьших квадратов.

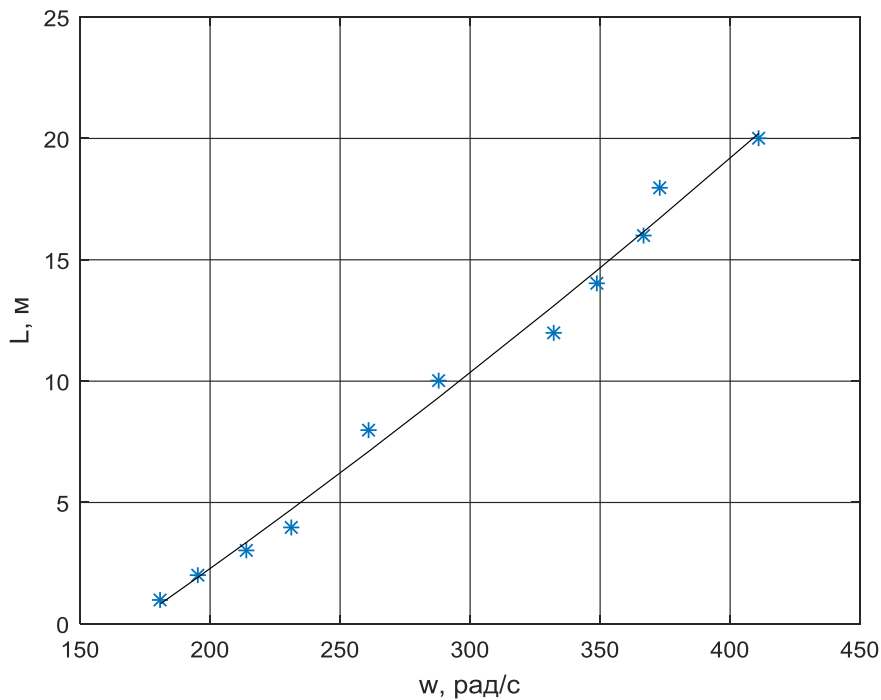


Рисунок 3.7 – Статическая характеристика расстояния к круговой частоте

Величину критерия пригодности полученной модели – сумму квадратов ошибок SSE (Sum of squares due to error) вычислим по формуле:

$$SSE = \sum_{j=1}^N (y_j^m - y_j^M)^2 = 5,12$$

где  $y^m$  – теоретические данные;  $y^M$  – значения параметрической модели.

### 3.4 Проверка адекватности математической модели виброускорения рельсовой линии

Для оценки адекватности полученной зависимости (3.18) воспользуемся

критерием Фишера [87].

Пусть имеются две независимые выборки (Рисунок 3.8): теоретическая  $x_1, \dots, x_{n_1}$  и экспериментальная  $y_1, \dots, y_{n_2}$  имеющие нормальное распределение с параметрами  $(a_x, \sigma_x^2)$  и  $(a_y, \sigma_y^2)$  соответственно. Необходимо проверить гипотезу равенства дисперсий  $\sigma_x^2$  и  $\sigma_y^2$  опираясь на их выборочные оценки при доверительной вероятности  $p=0,95$ .

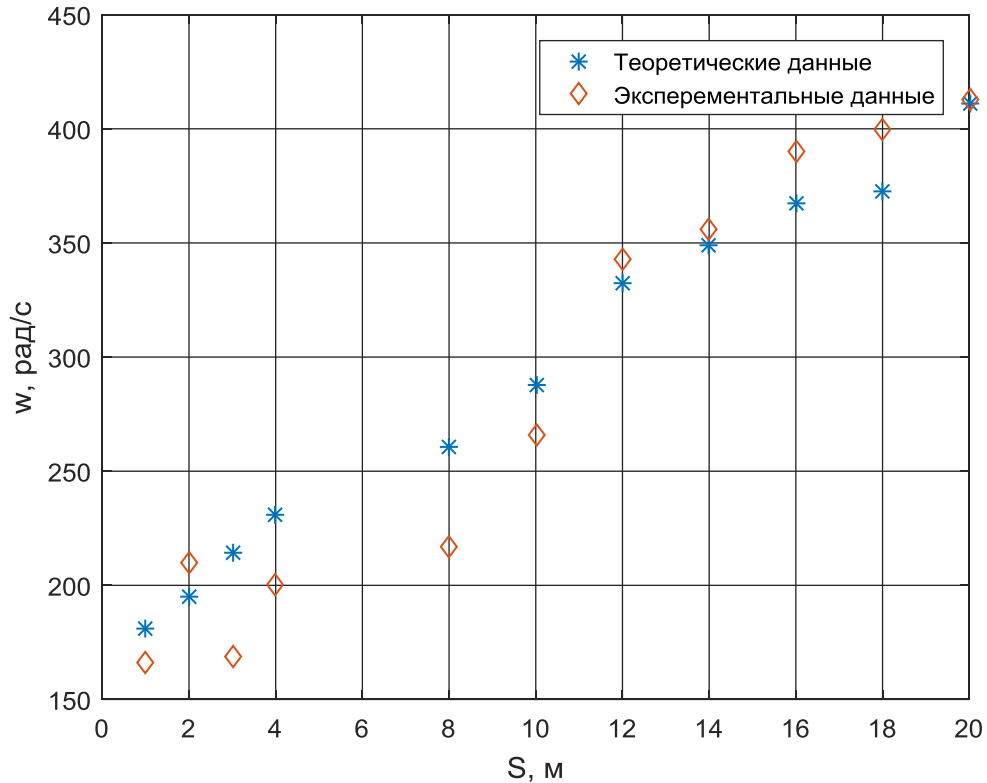


Рисунок 3.8 – Теоретические и экспериментальные данные зависимости пиковой частоты в АЧХ сигнала виброускорения от расстояния до точки приложения силы

Пусть основная гипотеза  $H_0: \sigma_x^2 = \sigma_y^2$ , альтернативная же гипотеза  $H_1$  видов  $\sigma_x^2 \neq \sigma_y^2$ . Поскольку средние неизвестны, наилучшими оценками дисперсий являются [88].

$$S_x^2 = \frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x})^2 \text{ и } S_y^2 = \frac{1}{n_2 - 1} \sum_{i=1}^{n_2} (y_i - \bar{y})^2. \quad (3.19)$$

Случайные величины  $S_x^2$  и  $S_y^2$ , как следует из теоремы Фишера, не зависят от средних, и если справедлива нулевая гипотеза  $H_0: \sigma_x^2 = \sigma_y^2$ , то случайные

величины  $\frac{(n_1 - 1)}{\sigma^2} S_x^2$  и  $\frac{(n_2 - 1)}{\sigma^2} S_y^2$  имеют распределение  $\chi^2$  с  $n_1 - 1$  и  $n_2 - 1$  степенями свободы соответственно. Тогда статистика

$$F = \frac{S_x^2}{S_y^2}, \quad (3.18)$$

не зависит от параметров нормального распределения и имеет распределение Фишера с  $n = n_1 - 1$  и  $m = n_2 - 1$  степенями свободы. Очевидно, что если дисперсии равны, то отношение их оценок должно быть близким к единице. Поэтому критерий таков: гипотеза  $H_0$  отвергается, если  $F < C_1$  или  $F > C_2$ , где  $C_1 < 1 < C_2$ . Задача свелась к нахождению констант  $C_1$  и  $C_2$ . По заданному уровню значимости  $\alpha$  и числу степеней свободы по таблицам распределения Фишера находят квантиль  $F_{1-\alpha}(n, m)$ . Для  $\alpha$ -квантилей Фишера справедливо соотношение

$$F_\alpha(n, m) = \frac{1}{F_{1-\alpha}(n, m)}. \quad (3.19)$$

Отсюда следует алгоритм проверки гипотезы:

$$F = \frac{S_{\max}^2}{S_{\min}^2}. \quad (3.20)$$

Обозначим через  $n_{\min}$  объем выборки с меньшей выборочной дисперсией и через  $n_{\max}$  с большей. По таблице для распределения Фишера находится критическая точка с уровнем значимости  $\alpha/2$  и числами степеней свободы  $n_{\min} - 1$  и  $n_{\max} - 1$ . Если  $F < F_{\text{кр}}$ , то основная гипотеза принимается, в противном случае отвергается [89].

С использованием результатов моделирования и экспериментальных исследований, рассчитаны дисперсии адекватности для полученных данных. Имеем арифметические средние:

$$\bar{\omega}_{\Pi}^m = 291,09, \quad \bar{\omega}_{\Pi}^y = 284,55.$$

Дисперсия данных равна:

$$S_x^2 = \frac{1}{11-1} \sum_{i=1}^{11} (\omega_{\Pi i}^m - \bar{\omega}_{\Pi}^m)^2 = 6369,89, \quad S_y^2 = \frac{1}{11-1} \sum_{i=1}^{11} (\omega_{\Pi i}^y - \bar{\omega}_{\Pi}^y)^2 = 9448,87.$$



Находим значение критерия Фишера:

$$F = \frac{S_{\max}^2}{S_{\min}^2} = \frac{9448,87}{6369,89} = 1,48.$$

Из таблиц [90] находим:

$$F_{кр}(n; m) = F_{кр}(10; 10) = 2,98$$

Так как  $F=1,48 < F_{кр}=2,98$ , нулевая гипотеза не отклоняется.

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

$$N = d \cdot n, \quad M = d \cdot m, \quad (3.21)$$

где

$$b = (n_1 + n_2) \frac{\sum_{i=1}^{n_1} (\omega_{\Pi i}^m - \bar{\omega}_{\Pi}^m)^4 + \sum_{i=1}^{n_2} (\omega_{\Pi i}^{\vartheta} - \bar{\omega}_{\Pi}^{\vartheta})^4}{\left[ \sum_{i=1}^{n_1} (\omega_{\Pi i}^m - \bar{\omega}_{\Pi}^m)^2 + \sum_{i=1}^{n_2} (\omega_{\Pi i}^{\vartheta} - \bar{\omega}_{\Pi}^{\vartheta})^2 \right]^2} = 1,46, \quad (3.22)$$

$$d = \left( 1 + \frac{b-3}{2} \frac{n_1 + n_2 - 4}{n_1 + n_2 - b + 3} \right)^{-1} = 2,41.$$

Окончательно имеем

$$N = d \cdot n = 2,41 \cdot 10 = 24,1, \quad M = d \cdot m = 2,41 \cdot 10 = 24,1.$$

Рассчитаем критическое значение:

$$F_{кр}(24,1; 24,1) = 1,98.$$

Так как  $F=1,48 < F_{кр}=1,98$ , нулевая гипотеза не отклоняется и в этом случае.

На основании расчетов делаем вывод, что разработанная модель при уровне доверительной вероятности 0,95 адекватна реальным физическим процессам распространения вибрации в рельсе при движении по нему поезда.

### 3.5 Моделирование процесса функционирования железнодорожных переездов с учетом виброускорения рельсовой линии

Для определения функционирования математической модели заградительными устройствами по выражению 2.14, промоделируем её с реальными значениями, применяемыми на железных дорогах. Рассчитаем время закрытия переездных устройств для реального переезда с максимальной скоростью по перегону  $V_{\max}=120$  км/ч.

Время оповещения о приближении поезда к переезду рассчитаем, чтобы обеспечить своевременное закрытие переезда при приближении к нему поезда.

При расчете следует учитывать следующие правила и нормы [91, 92]:

1) разрешается движение через железнодорожный переезд автопоездов длиной до 24 метров без дополнительных согласований со службами железных дорог;

2) время оповещения о приближении (время от начала действия переездной сигнализации до вступления поезда на переезд) должно обеспечить полное освобождение переезда автотранспортом, вступившим на переезд в момент включения сигнализации, а также обеспечить определенный гарантийный запас времени.

Расчетная длина участка приближения к переезду  $L_p$ , м, определяется по формуле:

$$L_p = 0.28 * V_{\Pi} * t_{\text{и}}, \quad (3.23)$$

где  $V_{\Pi}$  – максимальная скорость движения поездов на участке где находится переезд (берется 120 км/ч, в четном и в нечетном направлениях, максимальная скорость для пассажирских составов);  $t_{\text{и}}$  – время оповещения о приближении поезда к переезду, с.

При автоматической светофорной сигнализации, с автошлагбаумами и УЗП время оповещения должно быть не менее 43 с и рассчитывается по следующему соотношению:

$$t_{\text{и}} = t_a + t_{\text{ср}} + t_{\text{г}} + t_{\text{зш}} + t_{\text{узп}} \quad (3.24)$$

где  $t_a$  – время прохода автомобиля через переезд, с;  $t_{cp}$  – время срабатывания приборов оповещения и включения переездной сигнализации (составляет 2 с);  $t_r$  – гарантийное время (принимается равным 10 с);  $t_{зш}$  – время закрытия шлагбаумов (равно 15 с);  $t_{узп}$  – время между полным опусканием заградительного бруса и подъемом крышек УЗП (13 секунд).

Время, необходимое для прохождения автомашины через переезд, определяется как:

$$t_a = \frac{l_n + l_a + l_0}{v_a}, \quad (3.25)$$

где  $l_n$  – длина переезда, м;  $l_a$  – расчетная длина автомашины (24 м);  $l_0$  – расстояние от места остановки автомашины до светофора, при котором обеспечивается видимость показания светофора (5 м);  $v_a$  – расчетная скорость движения автомобиля через переезд (8 км/ч).

Длина переезда  $l_n$ , м, на однопутном участке железной дороги составляет:

$$l_n = l_{ac} + l_{шк} + l_r, \quad (3.26)$$

где  $l_{ac}$  – расстояние от крайнего рельса до автодорожного автошлагбаума – (составляет 6 м);  $l_{шк}$  – ширина рельсовой колеи, м (по ПТЭ составляет 1.52 м);  $l_r$  – габарит от крайнего рельса, необходимый для безопасной остановки машины после проследования переезда (2,5 м).

Зная все необходимые значения, по формуле (3.25) можно вычислить длину переезда:

$$l_n = 6 + 1,52 + 2,5 = 10,02 \text{ (м)}.$$

Так как длина переезда известна, то по формуле (3.25) можно вычислить время  $t_a$ , необходимое для проследования автомашины через переезд:

$$t_a = \frac{(10,02+24+5)}{2,2} = 17,7 \text{ (с)}.$$

Зная время  $t_a$ , можно вычислить по формуле (3.24) время оповещения  $t_{и}$ :

$$t_{и} = 17,7 + 2 + 10 + 15 + 13 = 57,7 \text{ (с)}.$$

ти рассчитано  $>45$ с, (Приказ Министерства транспорта России №237 от 31.07.2015г), в расчетах принимаем время оповещения  $t_{и} = 57,7$ с.

Теперь по формуле (3.23) необходимо вычислить расчетную длину участка приближения к переезду:

в четном и нечетном направлениях:

$$L_{рч} = 0.28 * 120 * 57,7 = 1938,7 \text{ (м)};$$

$$L_{рн} = 0,28 * 120 * 57,7 = 1938,7 \text{ (м)}.$$

Исходя из полученных расчетов построим график зависимости скорости поезда от расстояния поезда до переезда при времени включения заградительных устройств  $t_{и} = 58$  с (Рисунок 3.9).

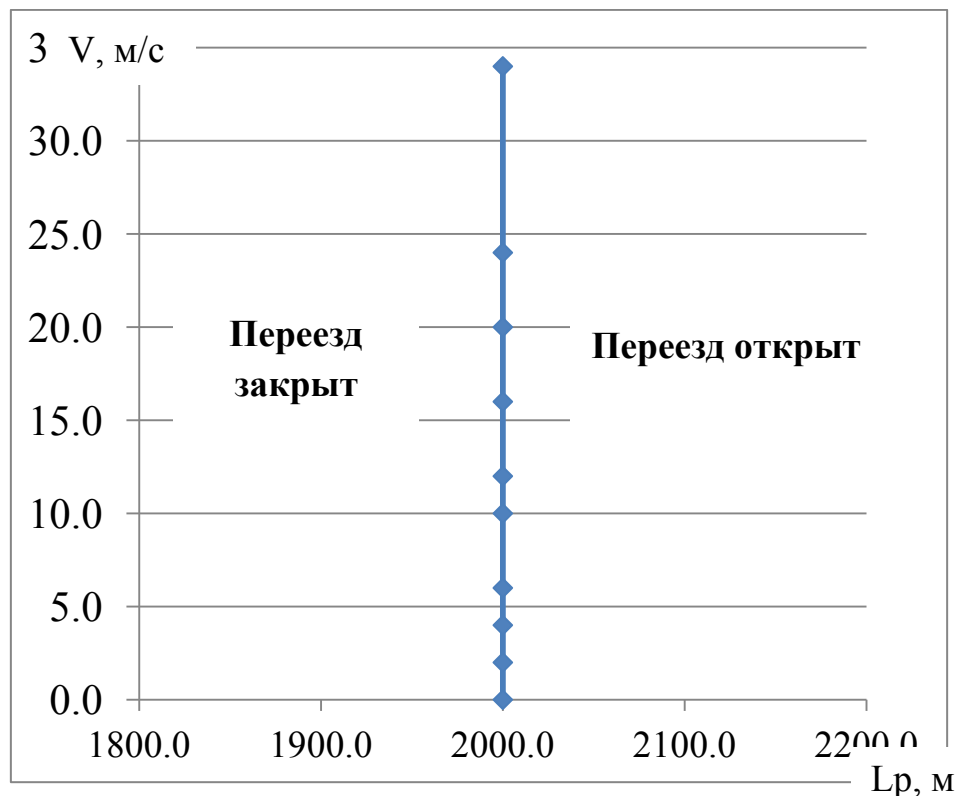


Рисунок 3.9 – График граничных значений скоростей от расстояний существующих переездных заградительных систем при  $t_{и} = 58$ с

Из графика видно, что при пересечении поездом границы 2000 метров, независимо от скорости поезда, произойдет включение заградительных устройств переезда. Переезд откроется только после освобождения подвижной единицей участка извещения. Т.е. реальная скорость не учитывается на всем участке. А

если учесть, что средняя скорость движения поездов по России 47 Км/ч [93], то среднее время приближения поезда к расчетному переезду составит 153 с, что превышает время закрытия заградительных устройств в 2.6 раза. В связи с этим имеет место не произвольный простой автотранспорта.

Произведем расчет минимального времени движения поезда до переезда, для всего участка приближения от 0 до 2000 м с и скоростей от 0 до 120 км/ч для выражения 2.14.

По данным расчета при максимально разрешенной скорости движения  $V_{\max}=120$  км/ч, длина участков приближения составляет 1938,7 м; время оповещения о приближении поезда к переезду  $t_{\text{и}}=58$  с; максимально возможное ускорение подвижной единицы  $a_{\max}=0.7$  м/с<sup>2</sup> [94]. Из полученных значений по таблице 3.1, выберем граничные значения значений скоростей от расстояний при  $t_{\text{и}}=\text{const}$ , для предлагаемой математической модели функционирования заградительными устройствами переезда.

Таблица 3.1 – Таблица определения времени приближения поезда для расчетного переезда, по скорости и расстоянию.

		Расстояния до переезда, м										
		1100,0	1200,0	1300,0	1400,0	1500,0	1600,0	1700,0	1800,0	1900,0	2000,0	2100,0
Скорости движения поезда по участку, м/с	0,0		59,6	62,5	65,5	68,4	71,3	74,3	77,2	80,2	83,1	86,1
	2,0			59,7	62,7	65,6	68,6	71,5	74,5	77,4	80,3	83,3
	4,0				60,1	63,0	66,0	68,9	71,8	74,8	77,7	80,7
	6,0					60,6	63,5	66,5	69,4	72,4	75,3	78,2
	8,0					58,3	61,3	64,2	67,1	70,1	73,0	76,0
	10,0						59,2	62,1	65,0	68,0	70,9	73,9
	12,0							60,2	63,1	66,1	69,0	71,9
	14,0							58,4	61,3	64,3	67,2	70,2
	16,0								59,7	62,7	65,6	68,6
	18,0								58,3	61,3	64,2	67,1
	20,0									60,0	62,9	65,9
	22,0									58,9	61,8	64,8
	24,0										60,9	63,9
	26,0										60,2	63,1
	28,0										59,6	62,5
	30,0										59,2	62,1
32,0										58,9	61,8	
34,0										58,8	61,8	

Примечание: отсутствующие значения в пустых ячейках означают, что время приближения меньше 58с., переезд закрыт.

Получена кривая зависимости реальных граничных скоростей и расстояний (Рисунок 3.10), в которой  $t_{\min} = t_{и}$ .

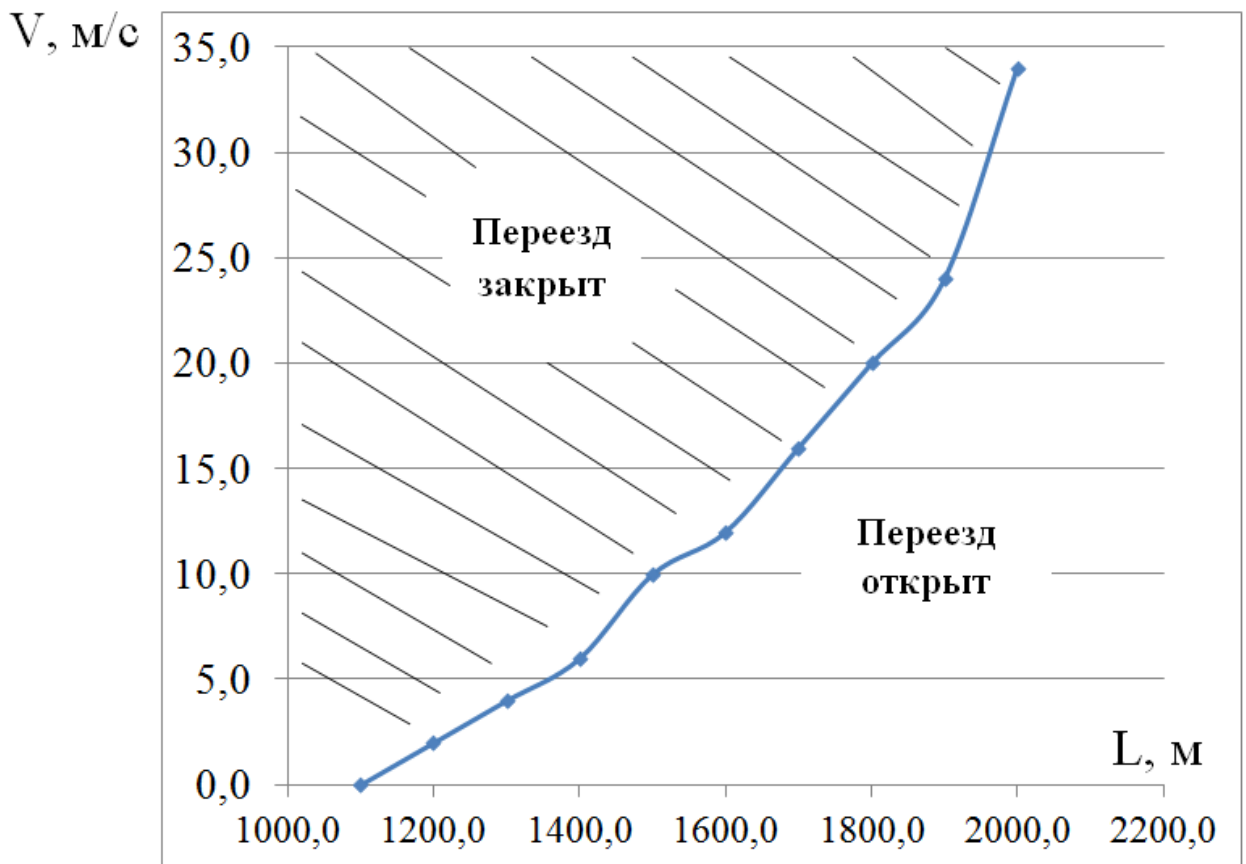


Рисунок 3.10 – График граничных значений скоростей от расстояний при  $t_{и} = \text{const}$ , для предлагаемой математической модели функционирования заградительными устройствами переезда

Из рисунка 3.10 можно определить, например, что при приближении поезда к переезду со скоростью в 10 м/с, на расстоянии 1700 м, переездные устройства останутся открытыми. А при движении этого же поезда с равномерной скоростью и при пересечении точки 1500 м, включатся переездные заградительные устройства. И останутся закрытыми до тех пор, пока поезд не покинет участок извещения (требования безопасности работы заградительных устройств [95, 96, 97]).

Для сравнения предложенной модели функционирования заградительных устройств с существующими системами, рассчитаем граничные значения

скоростей от расстояний для существующих систем подачи извещений, при тех же реальных значениях.

На рисунке. 3.10 изображена вертикальная прямая в точке 2000 м, которая является границей включения заградительных устройств. Т.е. при нахождении поезда в точке пути больше 2000м переезд останется открытым.

Из выше изложенного можно сделать вывод, что модель предусматривает полную остановку поезда на некоторой части участка извещения, при которой переезд останется открытым. Что не допустимо в существующих системах.

Определим отношение времени приближения поезда к переезду для расчетного переезда к предложенной модели, таблица 3.2.

Таблица 3.2 – Таблица времени включения заградительных устройств переезда для расчетного переезда, по скорости и расстоянию,

		Время включения заградительных устройств, существующих для расчетного переезда, с	Время включения заградительных устройств, предложенной модели для расчетного переезда, с	Отношение времени, расчетного к предложенному
Скорость на участке приближения, м/с	0,0	0,0	58,0	0
	2,0	1000,0	58,0	17,2
	4,0	500,0	58,0	8,6
	6,0	333,3	58,0	5,7
	8,0	250,0	58,0	4,3
	10,0	200,0	58,0	3,4
	12,0	166,7	58,0	2,9
	14,0	142,9	58,0	2,5
	16,0	125,0	58,0	2,2
	18,0	111,1	58,0	1,9
	20,0	100,0	58,0	1,7
	22,0	90,9	58,0	1,6
	24,0	83,3	58,0	1,4
	26,0	76,9	58,0	1,3
	28,0	71,4	58,0	1,2
	30,0	66,7	58,0	1,1
32,0	62,5	58,0	1,1	
34,0	58,8	58,0	1,0	

Учитывая динамику значений технической скорости железнодорожного транспорта простой автотранспорта сократится в среднем в 3,5 раз по сравнению



с существующими системами извещения о приближении поезда.

### 3.6 Выводы по разделу 3

1. Исследованы динамические свойства математической модели виброускорения рельса. Построенные графики наглядно иллюстрирующие зависимости между амплитудой и круговой частотой при различных расстояниях между точками касания и определения параметров. При этом максимум амплитуды сигнала смещается в сторону увеличения частоты при увеличении расстояния между рассмотренными выше точками. По полученным градуировочным зависимостям можно рассчитать расстояния между датчиком и подвижным динамическим объектом.

2. Экспериментальное исследование отклика рельсовой линии на единичное импульсное воздействие показало зависимость амплитуды и частоты при различных расстояниях. При этом основная масса сигналов имеет смещение максимумов амплитуды в сторону увеличения частоты при увеличении расстояния до датчика. Что подтверждает проведенное ранее теоретическое моделирование процессов.

3. Получена статическая характеристика расстояния к круговой частоте, по которой можно определять расстояние до подвижной единицы.

4. На основании расчетов сделан вывод, что разработанная модель при уровне доверительной вероятности 0,95 адекватна реальным физическим процессам распространения вибрации в рельсе при движении по нему поезда.

5. Моделирование процесса функционирования железнодорожных переездов с учетом виброускорения рельсовой линии, показало что, учитывая динамику значений технической скорости железнодорожного транспорта простой автотранспорта сократится в среднем в 3,5 раз по сравнению с существующими системами извещения о приближении поезда.

## СТРУКТУРА ТЕХНИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ПЕРЕЕЗДОМ

### 4.1 Обоснование выбора элементной базы системы управления железнодорожным переездом

Источником многих динамических возмущений в пути и подвижном составе является колесная пара, движущаяся по неровностям пути или имеющая неровности на поверхности катания колес. Кроме того возмущения могут быть вызваны в силу других конструктивных особенностей колесной пары и способов ее крепления к тележке вагона или локомотива.

Как правило, ходовые части вагонов скомпонованы в тележки, состоящие из элементов, опирающихся на раму кузова и ходовую часть. За счет упругости или свободы в связях кузов на тележках может совершать вертикальные и горизонтальные линейные и угловые перемещения, а рамы тележек – линейные и угловые перемещения по отношению к колесным парам. Колесные пары за счет неровностей пути или неровностей на них самих, а так же за счет зазоров между гребнями колес и рельсами могут совершать различные угловые и линейные перемещения в пространстве. Таким образом, вагон представляет собой единую механическую систему со многими степенями свободы [98].

В работе [99] рассматриваются возможные возмущения, возникающие в рельсе при движении поезда. В результате было установлено, что применение акселерометра в качестве датчика вибрации рельса позволяет контролировать наличие подвижной единицы в зоне его действия, а также определять количество вагонов в составе и скорость движения. При этом практически не рассматривался вопрос о частотах, возникающих в рельсах при движении поезда.

Анализ литературы [100, 101, 102] показал, что возмущения в рельсах возникают в очень широком спектре частот (0 Гц - 500 кГц) при различной амплитуде колебаний. Детальное изучение материалов исследований показывает,

что в них не рассматривались вопросы распространения вибрационных сигналов в зависимости от удаленности поезда и датчика. Однако в рамках рассматриваемой темы исследований данный вопрос занимает одну из ключевых позиций. Кроме того весьма актуальным является выбор датчика контроля происходящих в рельсах возмущений, так как от него зависит полнота картины происходящих процессов.

Так как активным входным параметром является величина изменения массы рельса в пространстве (колебания), то перемещения можно фиксировать механическим, акустическим, оптическим и другими способами.

Рассмотрим различные виды датчиков, характеризующихся по различным принципам действия (механические, электрические, акустические и др.).

Механические датчики изменения положения.

В общем случае их принцип действия основан на явлении изменения сопротивления проволочного резистора в зависимости от длины провода. Существуют такие виды датчиков как: потенциметрические датчики, осевые акселерометры, маятниковые акселерометры и т.д. Механические акселерометры применяются при низких частотах (до 10 Гц) колебаний деталей механизмов и больших значений ускорений. Электромеханические акселерометры применяются при повышенных частотах. Элементом, преобразующим механическое перемещение в электрический сигнал, выступает ползунок потенциметра. Им присущи следующие недостатки:

- выходной сигнал пропорционален напряжению возбуждения, которое, если не является стабилизированным, может стать источником существенных погрешностей;

- ползунок, перемещаясь по проволочному резистору, может переключать два витка сразу, что приводит к значительным погрешностям [103].

Акустические датчики.

В качестве механизма обнаружения используется механическая или акустическая волна. Поскольку акустическая волна является механической волной, любой микрофон имеет структуру: диафрагма и преобразователь

перемещений, преобразующий отклонение диафрагмы в электрический сигнал. Наибольшей популярностью сейчас пользуются устройства на поверхностных акустических волнах (ПАВ), реализованные на принципе детектирования механических вибраций в твердых телах. Поскольку на распространение акустических волн оказывают влияние много внешних и внутренних факторов, полученные результаты измерений могут быть неоднозначными и обладать большими погрешностями [104].

Оптические датчики.

При проектировании оптической измерительной системы необходимо принимать во внимание следующие критерии:

- чувствительность на соответствующей длине волны,
- собственные шумы сенсора,
- линейность,
- скорость отклика для желаемой полосы частот,
- стабильность,
- совместимость с системой в целом, особенно по геометрии оптики.

В состав оптического датчика перемещений, как правило, входят три компонента: источник света, фотодетектор и устройства, управляющие светом (линзы, зеркала, оптические волокна и т.д.). Есть несколько основных принципов построения оптических датчиков, которые измеряют давление или перемещение. К примеру, в оптоволоконных датчиках приближения свет направляется на объект при помощи фокусирующих линз, а возвращается назад к детектору при помощи отражателей. Однако, в контексте рассматриваемого в этой статье вопроса, существуют сложности в использовании таких и подобных датчиков в полевых условиях, так как они обладают недостаточной избирательностью, невысокой помехозащищенностью, низкой надежностью оптических датчиков. Так же важную роль играет и сложность настройки оптического датчика, и его полевое обслуживание, так как неизбежное загрязнение ж/д полотна приведет к полной потере приема необходимой информации [105].

Пьезоэлектрические датчики.

Применение пьезоэлементов в выше изложенных датчиках увеличивает их измеряемые пределы. По виду физических эффектов пьезодатчики можно классифицировать: термочувствительные, тензочувствительные, акусточувствительные, гирочувствительные, контактные (использующие контактную жесткость и фактическую площадь контактов), доменно-дисплативные.

Пьезопреобразователи имеют высокую разрешающую способность. Этот тезис можно проиллюстрировать таким примером. Так, если локомотив массой 100т поставить на пьезоэлектрические весы, то, вновь переводя стрелку на нулевую отметку и, соответственно, переключив диапазон измерения на панели зарядового усилителя, можно измерить дополнительный вес карандаша, положенного на подножку локомотива.

Пьезоэлектрические датчики содержат кристаллы или текстуры, электризующиеся под действием механических напряжений и деформирующиеся в электрическом поле (прямой и обратный пьезоэффект соответственно). Помимо этого, пьезоэффект обладает знакочувствительностью, т.е. изменение знака заряда при замене сжатия растяжением. Высокая собственная частота пьезоэлектрических акселерометров позволяет измерять ускорения вибрации от 0,001g до 3000g при частоте от нескольких Гц до нескольких кГц.

Проведенный анализ показывает, что пьезоэлектрический акселерометр является одним из лучших датчиков для измерений вибраций и практически полностью вытеснил преобразователи, основанные на других физических принципах. Это вытекает из следующих свойств пьезоэлектрических акселерометров:

- широкий частотный диапазон (до 5ГГц);
- высокая чувствительность;
- линейная характеристика в широком динамическом диапазоне;
- выходной электрический сигнал, пропорциональный ускорению механических колебаний, может быть преобразован в электрический сигнал, пропорциональный виброскорости или виброперемещению;

- высокая стойкость в отношении воздействий окружающей среды и сохранение высокой точности даже в неблагоприятных эксплуатационных условиях;

- не нуждается в применении источника питания;

- отсутствие движущихся частей, что гарантирует высокий срок службы;

- возможность построения малогабаритных преобразователей.

Рассмотренные достоинства данного вида акселерометров объясняют целесообразность их применения для контроля колебаний рельсовой линии с целью определения факта наличия движущегося поезда.

Натурные испытания рассматриваемых датчиков позволят снимать информацию о реальных процессах, происходящих в системе взаимодействия колесных пар с рельсовым полотном. Обладая широким частотным диапазоном, датчик позволит выявить спектральные характеристики подвижных единиц и тем самым отследить их местоположение.

#### 4.2 Разработка схем управления функционирования железнодорожного переезда

Колебательные процессы, происходящие в рельсовом полотне при движении подвижной единицы по нему, имеют сложный частотный характер. Это говорит о том, что для того, чтобы получить на выходе системы необходимую информацию о наличии или отсутствии поезда на определенном участке пути, требуется акселерометр с широкими возможностями по преобразованию колебаний рельса в электрических сигнал. Такой акселерометр должен обладать высокой чувствительностью, широким спектром предельных воспринимаемых частот, а также высокими показателями коэффициента преобразования воспринимаемых колебаний в выходной аналоговый или дискретный цифровой сигнал.

Согласно полученным данным в ходе проведенного исследования рынка пьезоэлектрических акселерометров, которые позволят измерить с высокой точностью колебательные процессы рельсового полотна, был выбран высокочастотный акселерометр фирмы PCB Piezotronics, модель 352A60. Такой выбор обусловлен характеристиками данного акселерометра, указанными в таблице 4.1 [106, 107].

Таблица 4.1 – Характеристики высокочастотного акселерометра 352A60

Характеристики	Значения в системе СИ
Чувствительность	10 мВ/г
Динамический диапазон	$\pm 500g$
Частотный диапазон ( $\pm 3$ дБ)	5 - 60000 Гц
Разрешение	0,02 м/с <sup>2</sup> (СКЗ)
Резонансная частота	$\geq 95$ кГц
Нелинейность	$\leq 1$ %
Поперечная чувствительность	$\leq 5$ %
Внешние параметры	
Предел нагрузки (ударной)	$\pm 5000$ g
Температурный диапазон	-54до +121 °С
Чувствительность к деформации крепления	$< 0,49$ (м/с <sup>2</sup> )/мм
Аппаратные	
Нагрузка чувств. элемента	Сдвиговая
Изоляция	Герметичный
Материал корпуса	Нерж. сталь
Масса	6,0 грамм
Разъем	5-44 CoaxialJack
Расположение разъема	Верхний
Крепление	10-32 шпилька

Внешний вид и габаритные размеры акселерометра представлены на рисунке 4.1.

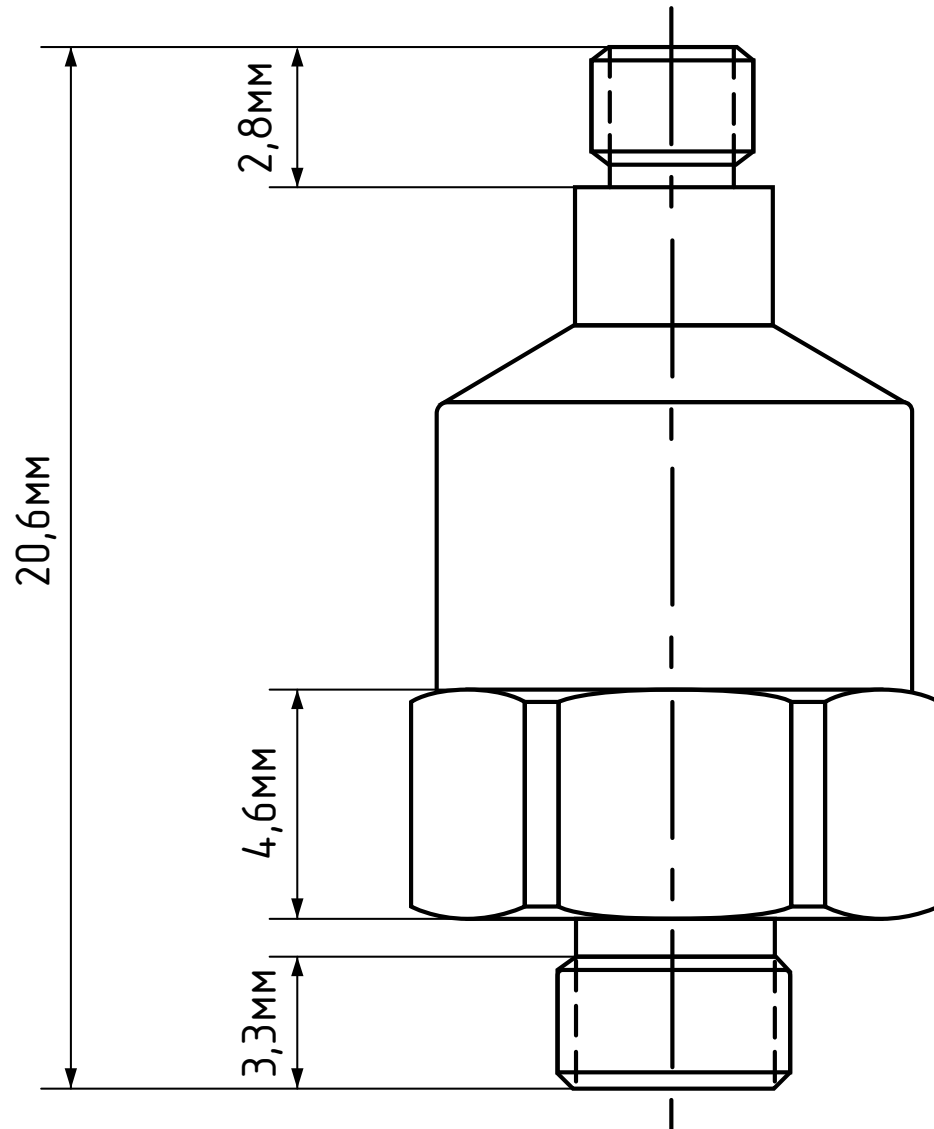


Рисунок 4.1 – Габаритные размеры акселерометра модели 352A60

Колебательные процессы, которые возникают в рельсовом полотне при движении по нему подвижной единицы, обладают частотными характеристиками в широком спектре. Современные автоматизированные системы управления демонстрируют тенденцию к стремлению обработки поступающей информации и выдаче результатов обработки в реальном времени. Для анализа таких сигналов в реальном времени потребуется такое устройство, которое будет обладать высокими параметрами по анализу и обработке поступающей на его входы информации. Таким устройством в ключе рассматриваемой системы является



сигнальный процессор ADuC 7020 в силу его наиболее подходящих параметров для решения поставленных перед проектируемой системой задач. Параметры сигнального процессора ADuC7020 рассмотрены в таблице 4.2 [108].

Таблица 4.2 – Основные параметры микроконтроллера серии ADuC7020

Наименование параметра	Значение
Процессорное ядро	16-/32-разрядное ARM7TDMI
Макс. производительность, MIPS	40
Максимальная тактовая частота, МГц	41,78
Объем встроенной памяти	62 кбайт (Flash), 8192 байт (RAM)
Система ФАПЧ	Присутствует
ШИМ	Присутствует
Источники тактовых сигналов	Встроенный генератор (32 768 Гц), внешний резонатор (32 768 Гц), высокочастотный тактовый сигнал (<44 МГц)
Интерфейсы	UART, SPI, I <sup>2</sup> C (два)
Число циклов перезаписи флэш-памяти	10 000
Число входных каналов АЦП	5
Макс. частота преобразования, МГц	1
Интегральная нелинейность, ЕМР	±1,5(макс.)
Число ЦАП	4
Разрядность, бит	12
Дифференциальная погрешность, ЕМР	±1
Выходное сопротивление, Ом	10
Максимальное выходное напряжение, В	0...U <sub>пит</sub>
Напряжение питания, В	2,7...3,6
Диапазон рабочих температур, °С	-40...125
Число выводов и габаритные размеры, мм	40 6x6

Микросхема ADuCмодели 7020 является интегральной 12-разрядной системой сбора данных. Частота дискретизации данной микросхемы равна

1-му миллиону отсчетов в секунду и в своем составе содержит многоканальный аналого-цифровой преобразователь высокой производительности, а также 16/32-разрядное ядро процессора и Флэш/ЕЕ память на одном кристалле.

Представленная микросхема конструктивно включает в себя АЦП с количеством однополярных выходов до 12. Помимо этого, присутствуют 4 дополнительных входов, мультиплексированных с 4 выходами ЦАП внутри микроконтроллера. Входные каналы аналого-цифрового преобразователя имеют возможность работы в дифференциальном и однополярном режиме [109].

Так же, в структуре схемы находятся четыре буферизированных ЦАП с выходом напряжения, которые встроены в микросхему. Тактовая синхронизация устройства происходит за счет тактирования схем от встроенного генератора с синтезатором частоты с ФАПЧ. Тактовые импульсы работы микросхемы генерируются с частотой 45 МГц. Они проходят через делитель частоты, который обладает возможностью программирования, а с его выхода тактовая частота поступает в ядро процессора. Производительность величиной в 45 миллионов операций в секунду данной микросхемы обеспечивается микропроцессорным ядром схемы типа ARM7TDMI, которое представляет собой 16/32-разрядный RISC процессор. Особенности такого ядра в том, что оно обладает несколькими значимыми преимуществами, такими как:

- присутствует дополнительный набор 16-битных инструкций;
- поддержка режима отладки;
- возможность умножения 32-разрядных слов;
- модуль EmbeddedICE, который обеспечивает внутрисхемную отладку.

Процессор обладает 37-ю регистрами, из которых 31 – регистры общего назначения и 6 регистров статуса. Таким образом, каждый режим работы процессора имеет соответствующий банк регистров.

Имеется поддержка пяти типов исключений и режим привилегированной обработки каждой ситуации в отдельности. Такими ситуациями являются:

- обычное прерывание, которое служит как для обработки внешних прерываний общего назначения, так и для обслуживания внутренних прерываний самого устройства;
- быстрое прерывание – предназначено для передачи каналов связи или информации с минимальной задержкой. Такое прерывание обладает привилегией перед обычным;
- сбой в работе памяти;
- попытка исполнения неопределенной команды;
- программное прерывание, предназначено для вызова операционной системы.

Таким образом, с учетом запрограммированного ПО внутри схемы, в случае возникновения одной из исключительных ситуаций, происходит замещение некоторых стандартных регистров памяти специальными регистрами, которые отведены для данного режима работы. Как следствие, согласно архитектуре памяти, обработка прерывания производится без предварительного сохранения или восстановления этих регистров, а это в свою очередь позволяет значительно увеличить скорость обработки прерываний в системе.

Как уже было сказано, в состав сигнальных процессоров ADuC7020 входит внутренний аналого-цифровой преобразователь, обладающий 12-ю разрядами и многоканальной структурой. Питание такого блока АЦП производится напряжением от 2,7 до 3,6 В, так как опорное напряжение любого АЦП не может превышать собственного внешнего питания устройства. При тактовой частоте 45 МГц, такие параметры АЦП обеспечивают быстроедействие до  $1 * 10^6$  отсчетов в секунду. В состав блока АЦП включены непосредственно АЦП, многоканальный мультиплексор, внутренний источник опорного напряжения и дифференциальное устройство выборки-хранения. Сам АЦП как устройство представляет собой аналого-цифровой преобразователь последовательного приближения.

Также, микросхема ADuC модели 7020 обладает четырьмя 12-разрядными ЦАП с выходом напряжение. Каждый такой цифро-аналоговый преобразователь имеет возможность работы на нагрузку 5 кОм/100пФ и имеет выходной буфер с

полным диапазоном напряжения. Каждый ЦАП имеет независимое управление регистрами данных и регистрами управления.

Микроконвертер ADuC 7020 имеет 40 двунаправленных входов/выходов общего назначения. Входные и выходные каналы данного процессора обладают устойчивостью ко входному напряжению 5 В, что говорит о том, что на вход можно подавать непосредственно 5 В. Каждый вывод обладает внутренним «подтягивающим» резистором.

Таким образом, исходя из рассмотренных параметров выбранного сигнального микропроцессора, сделаем вывод, что его характеристики, особенности структуры и значения его основных параметров в полной мере удовлетворяют требованиям проектируемой системы.

Выходной сигнал пьезоэлектрического акселерометра PCB352A60 представляет собой постоянное напряжение с варьирующейся амплитудой, всплески которой находятся в широком спектре частот. Поскольку сигнал с датчика аналоговый, а передается он по физической линии связи заданной длины, возникает затухание полезного сигнала и наложение на него помехи от тягового тока. Это связано с нахождением датчика в непосредственной близости к рельсам. Для устранения этих недостатков сигналу с акселерометра необходимо пройти два этапа: фильтрация и усиление. В противном случае полученная информация будет оцифрована и передана в исполнительные механизмы с ошибкой.

В расчетном разделе предложена структура подключения акселерометра к сигнальному микропроцессору [110] на рисунке 4.2.

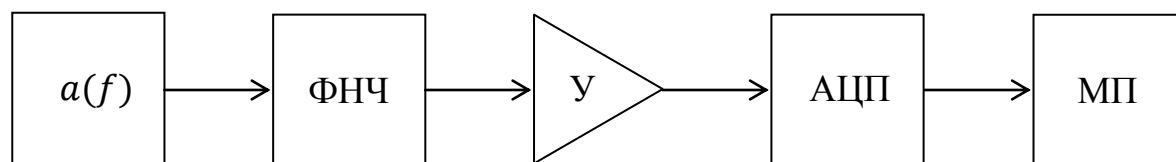


Рисунок 4.2 – Структурная схема подключения акселерометра к микропроцессору

Рассмотрим подробнее узлы, приведенные на рисунке 4.2.

Фильтр нижних частот (ФНЧ) – электронный фильтр, эффективно пропускающий частотный спектр сигнала ниже некоторой частоты (частоты

среза) и подавляющий частоты сигнала выше этой частоты. Степень подавления частот зависит от вида фильтра. В схемах пассивных аналоговых фильтров используют реактивные элементы. Такими являются катушки индуктивности и конденсаторы. Сопротивление реактивных элементов зависит от частоты сигнала, поэтому, комбинируя такие элементы, можно добиться усиления или ослабления гармоник с нужными частотами.

На рисунке усилитель сигнала выполняет функцию получения аналогового напряжения с датчика и усиления его до опорного напряжения микропроцессора (МП).

Аналого-цифровой преобразователь конвертирует аналоговое напряжение с выхода усилителя в цифровой сигнал. В таком виде МП на программном уровне может работать с информацией, полученной от датчика [111].

От правильной работы НЧ фильтра, усилителя и АЦП, зависит работа системы в целом. А при неправильном расчете или выходе из строя точность информации может быть сомнительной. Поэтому необходимо провести детальный расчет указанных узлов системы автоблокировки с использованием новых устройств определения местоположения подвижной единицы.

Фильтр нижних частот представляет собой контур из индуктивности  $L$  и емкости  $C$ . Необходимо рассчитать эти параметры для подбора подходящих значений для эффективной фильтрации нижних частот сигнала. Упрощенная схема фильтра нижних частот [112] приведена на рисунке 4.3.

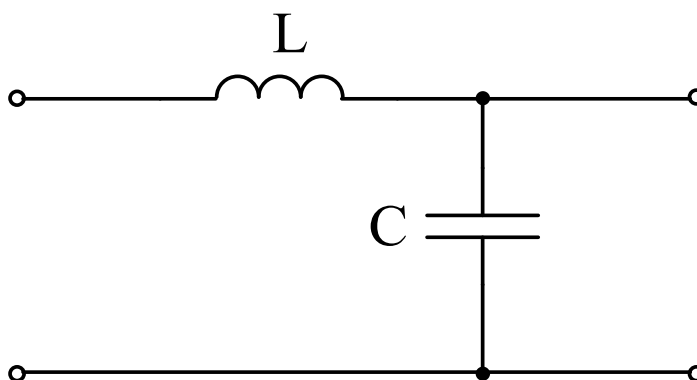


Рисунок 4.3 – Упрощенная схема фильтра нижних частот

Так, примем значение индуктивности  $L$  равным  $L=5$  Гн.

Известно, что максимальная частота колебаний рельсовой линии, составляет 60 000 Гц. Она же будет являться частотой среза  $f_0$ .

Формула определения частоты среза имеет вид:

$$f_0 = \frac{1}{\pi\sqrt{LC}}, \quad (4.1)$$

где  $f_0$  – частота среза, максимальная частота колебания рельса;  $L$  – значение индуктивности фильтра нижних частот;  $C$  – значение емкости фильтра нижних частот.

Выразив из вышеуказанного отношения искомое значение  $C$ , получим выражение следующего вида:

$$C = \frac{1}{L(f\pi)^2}, \quad (4.2)$$

$$C = \frac{1}{5 \cdot (3,14 \cdot 3,14)^2} = 5,63 \cdot 10^{-12} \text{Ф.}$$

Подберем ближайшее номинальное значение емкости согласно таблице номинальных значений емкостей конденсаторов, которое равняется 6 пФ.

Результатом такого расчета является график амплитудно-частотной характеристики ФНЧ приведенный на рисунке 4.4.

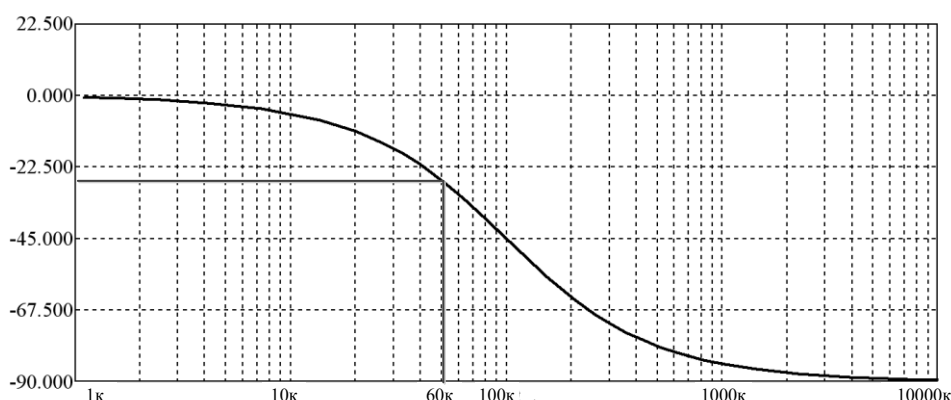


Рисунок 4.4 – График амплитудно-частной характеристики ФНЧ

В качестве устройства усиления сигнала, получаемого от акселерометра, применен операционный усилитель. В силу широких технических и электрических характеристик, они являются оптимальным выбором для выполнения поставленной задачи.

Операционный усилитель LM358 представляет собой многокаскадное устройство усиления постоянного тока с дифференциальным входом. Такие усилители имеют высокие показатели коэффициента усиления.

Конструктивные особенности предусматривают наличие в таких усилителях двух входов и одного выхода. Входы имеют различия в связи с тем, что один из них инвертирующий, а второй не инвертирующий. Разница заключается в том, что при поступлении сигнала на инвертирующий вход сигнал на выходе усилителя будет сдвинут относительно входного на  $180^\circ$ . Такое подключение называется инвертирующим включением ОУ [113].

Исполнение ОУ в виде интегральной микросхемы открывает широкие возможности для создания разнообразных устройств более сложной структуры. Принципиальная схема инвертирующего ОУ представлена на рисунке 4.5.

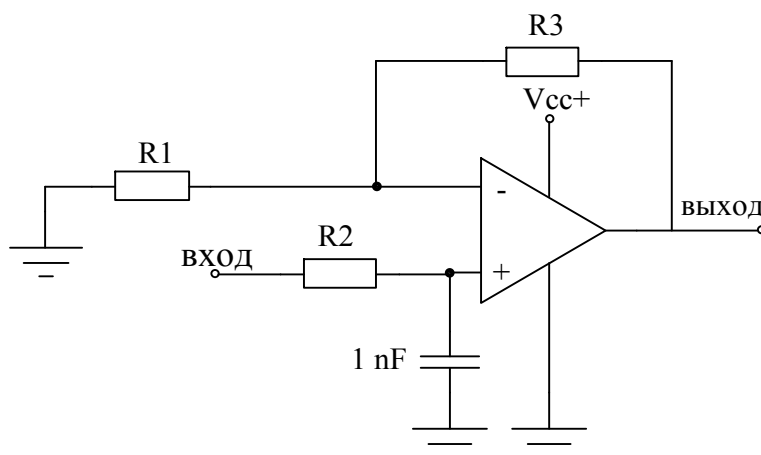


Рисунок 4.5 – Схема инвертирующего усилителя на операционном усилителе

В предлагаемой системе применен операционный усилитель марки LM358 в интегральном исполнении.

Для построения на основе ОУ проектируемой системы необходимо выделить и произвести расчет ключевых для работы системы параметров, таких как:

- коэффициент усиления по напряжению  $K_{U0}$  – является параметром, демонстрирующим способность ОУ усиливать входной сигнал;

- входное сопротивление  $R_{вх0}$  – сопротивление ОУ по отношению к входному сигналу. Существует два вида таких сопротивлений. Таковыми являются дифференциальное входное сопротивление, являющееся показателем сопротивления между входами ОУ и синфазное входное сопротивление. Последнее является значением сопротивления между объединенными входными выводами операционного усилителя и общим проводом. В справочниках, как правило, указывается только дифференциальное входное сопротивление;

- выходное сопротивление  $R_{вых0}$  – внутреннее сопротивление ОУ по отношению к нагрузке на эквивалентный источник ЭДС;

- входное напряжение смещения  $U_{см.}$  – численно равно постоянному напряжению, которое требуется приложить к входам ОУ, чтобы выходное значение напряжения стало равно 0, описывает асимметрию и разбаланс входного дифференциального каскада ОУ;

- входной ток  $I_{вх.ср.}$  – входной ток ОУ, который требуется для работы каскада выходного канала (средний ток смещения);

- разность входных токов  $\Delta I_{вх}$  – разность токов смещения на входах ОУ, возникающая как результат неравности коэффициентов передачи тока транзисторов каскада входов ОУ;

- коэффициент ослабления синфазного сигнала  $K_{ос.сф}$  – является характеристикой способности ОУ снижать уровень синфазных сигналов, которые прикладываются к двум входам в одну и ту же единицу времени.

- предельная частота  $F_{max}$  – рабочая частота при которой модуль коэффициента усиления равен 1;

- максимальная скорость нарастания выходного напряжения  $V_{U_{вых}} = \Delta U_{вых} / \Delta t$ . Для подавляющего числа ОУ приблизительно равен 0,1...10 В/мкс.

Существует дополнительная погрешность, которая проявляет себя при расчете схем на ОУ. Такая погрешность связана с подбором значений сопротивлений резисторов и емкостей конденсаторов из ряда стандартных номинальных значений. В данной работе использован ряд E24. Показателем правильности расчета какого-либо схемы на основе операционного усилителя



станет расчетное значение этой погрешности не более 5%. Рассчитывается дополнительная погрешность по формуле:

$$\delta_A = \left| 1 - \frac{U^{получ.}}{U^{задан.}} * 100\% \right|, \quad (4.3)$$

где  $U^{получ.}$ ,  $U^{задан.}$  – установленное и полученное в результате расчета значение напряжения.

Примем, что операционный усилитель является идеальным. Тогда коэффициент усиления по напряжению ОУ вычисляется по следующей формуле

$$K_{U_{инв}} = -\frac{R_2}{R_1}, \quad (4.4)$$

а входное сопротивление:

$$R_{вх_{инв}} = R_1. \quad (4.5)$$

В ходе эксплуатации операционного усилителя LM358 и появляется необходимость брать в учет тот факт, что его коэффициент усиления по напряжению и входное сопротивление есть конечные величины. Таким образом, соотношения (4.4) и (4.5) будут иметь следующий вид:

$$K_{U_{инв}} = -\frac{R_2}{R_1} * \frac{1}{1 + \frac{1}{K_{U0}} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)}, \quad (4.6)$$

$$R_{вх_{инв}} = R_1 + \frac{R_{вх0} R_2}{R_{вх0} (1 + K_{U0}) + R_2}. \quad (4.7)$$

В диссертации рассматривается схема обвязки усилителя с коэффициентом усиления 1000. При этом  $R_1 = 120$  Ом. Тогда, пользуясь выражением (3.6), получим:

$$R_2 = \frac{1000}{120} = 8,3.$$

Исходя из выполненного преобразования, выражение для нахождения напряжения ошибки примет вид:

$$U_{вых_{ош}}^{инв} = \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) * (U_{см} + \Delta I_{вх} R_{кор}), \quad (4.8)$$

где  $\Delta I_{вх} = 20$  мА;

$$U_{вых_{ош}}^{инв} = \left( 1 + \frac{8,3}{120} \right) * (0,5 + 0,02 * 100) = 2,7 \text{ В.}$$

Аналого-цифровой преобразователь в рассматриваемой системе выполняет функции устройства согласования источников аналоговых измерительных сигналов с дискретными устройствами обработки результатов измерения и выполнения на их основе логических зависимостей по управлению устройствами на перегоне.

На рисунке 4.6 приведен фрагмент диаграммы оцифровки сигнала с акселерометра. На нем видна частота дискретизации, уровни квантования и косвенно можно судить о разрядности и точности прибора. Но при этом, детальный расчет АЦП необходим.

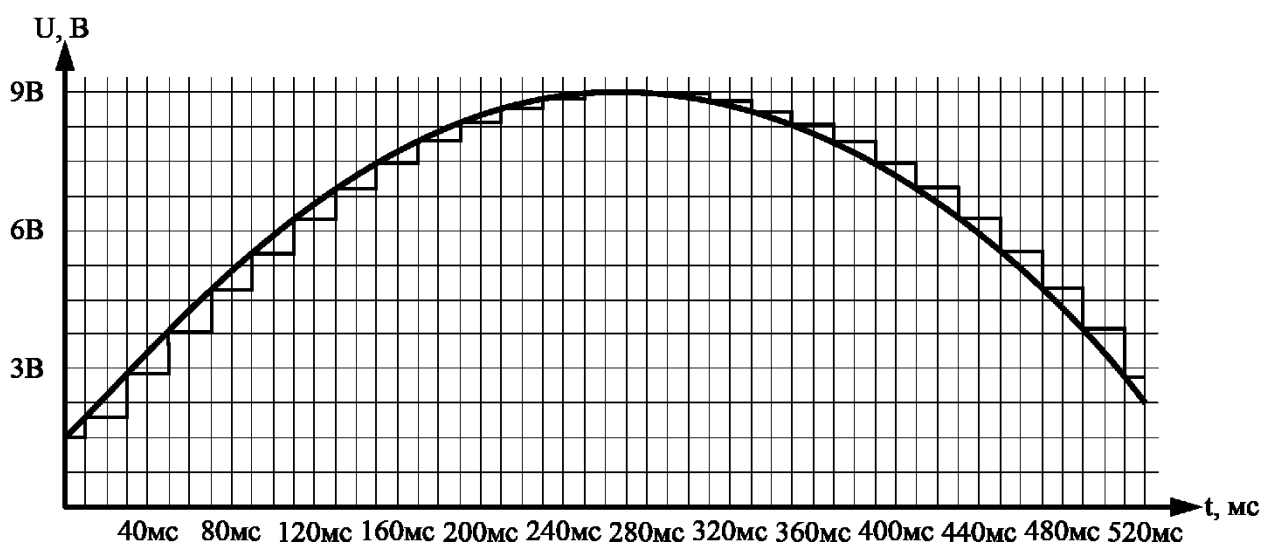


Рисунок 4.6 - Процесс оцифровки сигнала с акселерометра с помощью АЦП

В диссертации приведены ключевые для работы системы параметры АЦП. Одним из таких является число разрядов аналого-цифрового преобразователя.

Расчетные значения параметров АЦП должны отвечать таким требованиям работы системы:

- предел измерения напряжения 5В;
- класс точности (с/d) - 0,05/0,02;
- входное сопротивление АЦП -  $\geq 2$  МОм;

Представление непрерывной величины  $x$  в виде конечного количества ступеней квантования  $m$  производится посредством равномерного квантования мгновенного значения величины  $x$ :

$$x_i = m * \Delta x = x \pm \Delta_K. \quad (4.9)$$

В данном случае число ступеней квантования соответствует определенным состояниям самого устройства квантования  $\Delta_K$ . Таким образом, непрерывная величина  $x$  представляется в виде погрешности, возникающей в ходе отнесения значений измеряемой величины к ближайшему значению заведомо известной величины в процессе квантования. Максимальное значение такой погрешности определяется значением ступени квантования:

$$\Delta_{Kmin} = \Delta x = h. \quad (4.10)$$

Погрешность преобразовательного процесса цифрового измерительного устройства представлена двухчленной формой следующего вида:

$$\delta \left[ c \pm d \left( \left| \frac{x_{max}}{x} \right| \right) - 1 \right], \quad (4.11)$$

где  $c$  и  $d$  – коэффициенты без размерности, которые выражаются в процентах,  $x_{max}$  – предел измерения (с учетом данного диапазона варьирования величины, подлежащей измерению, представляет собой основной нормируемый предел величиной 5 В).

При вычислении шага квантования требуется учитывать соотношение, указанное ниже, в силу того, что погрешность преобразования должна быть больше, чем погрешность квантования.

$$h = \Delta x \leq \frac{\delta_{max}}{100\%} x_{max}, \quad (4.12)$$

где  $\delta_{max} = c/100$  (при  $x = x_{max}$ ), следовательно,  $\delta_{max} = 0,05\%$ .

Между параметром предела измерения  $x_{max}$  и шагом квантования  $m$  существует зависимость при условии, что рассматривается конкретный АЦП.

$$h = \frac{x_{max}}{2^{n-1}}, \quad (4.13)$$

где  $n$  – количественное значение числа двоичных разрядов АЦП.

Исходя из полученных выше зависимостей, запишем следующее выражение:

$$\frac{\delta_{max}}{100\%} x_{max} \geq \frac{x_{max}}{2^n}. \quad (4.14)$$

Отсюда определим разрядность АЦП согласно следующим выражениям:

$$n \geq \log_2 \left( \frac{100\%}{\delta_{max}} \right), \quad (4.15)$$

$$n \geq \log_2 \left( \frac{100\%}{0,05\%} \right) = 10,96 ,$$

получим, что число разрядов  $n = 11$ . Найдем шаг квантования:

$$h = \frac{x_{max}}{2^{11}-1}, \quad (4.16)$$

$$h = \frac{3}{2^{11}-1} = 1,5.$$

Следующим ключевым параметром работы АЦП является частота дискретизации.

Наиболее часто с целью определить ее значение используется теорема В.А. Котельникова, которая говорит о том, что любая непрерывная функция  $x(t)$  со спектром частот, имеющим ограничения от 0 до  $f_e$  в полной мере может быть определена своими дискретными значениями, отсчет которых производится через промежутки времени  $\Delta t = 1/(2f_e)$ , при частоте временной дискретизации  $f_d \geq 1/\Delta t = 2f_e$ . В этом случае подразумевается, что суммой гармонических сигналов с верхней частотой  $f_e$  будет произведена аппроксимация измеряемой величины.

Частота дискретизации вычисляется на основании значения верхней частоты ограниченного спектра исходного сигнала  $f_e$ .

Та часть спектра, которая содержит 95% всей его энергии или площади, в технике считается значимой. Исходя из технических характеристик выбранного акселерометра РСВ 352А60,  $f_e = 60$  кГц.

С целью учесть в расчете разницу между реальной и идеальной аппаратурой, используется коэффициент запаса, который в нашем случае будет равен  $K_z = 2$ .

$$f_d > K_z * 2 * f_e. \quad (4.17)$$

С учетом того, что предполагается выпрямление сигнала однополупериодным преобразователем перед тем, как произвести

преобразование, необходимо учесть, что спектр, при прохождении сигналом такой схемы, становится шире в 2 раза.

$$f_{\delta} \geq 2 * 60 * 10^3 * 2 * 2 = 480 \text{ кГц}.$$

Примем частоту дискретизации равную  $f_{\delta} = 480 \text{ кГц}$ .

Тогда время цикла дискретизации найдем следующим образом:

$$t_{\delta} = \frac{1}{480 * 10^3 \text{Гц}} = 2 \text{ мкс}.$$

Немаловажным параметром также является точность АЦП, так как от этого зависит степень соответствия преобразованного выходного сигнала входному. Точность определяется по следующему отношению:

$$k_{\text{точ}} = \frac{U_{\text{оп}}}{4096}, \quad (4.18)$$

где  $U_{\text{оп}}$  – опорное напряжение, которое определяет границу рабочего диапазона АЦП.

Опорное напряжение рассматриваемой системы будет приблизительно равно  $U_{\text{оп}} = 5 \text{ В}$ .

Исходя из выражения (4.22), определим искомый коэффициент точности преобразования АЦП:

$$k_{\text{точ}} = \frac{5}{4096} = 0,001.$$

### 4.3 Разработка структуры технической реализации подключения средств формирования извещения

В современных системах управления заградительными устройствами применяется дискретный способ формирования извещения на переезд. При этом включение заградительной сигнализации происходит без учета скорости и ускорения (замедления) движения поездного состава. Это зачастую приводит к преждевременному закрытию переездов и как следствие чрезмерному простоем автотранспорта на переездах. Что в свою очередь вызывает чрезмерную нервозность водителей, нередко перерастающую в проезд закрытых заградительных устройств. В связи с этим разработка новых способов управления

переездной автоматикой, учитывающих координату и ускорение поезда является актуальной задачей. Как известно при движении поезда возникают вынужденные колебания рельсовой нити, анализируя которые, имеется возможность определять координату поезда на определенном участке пути [114]. И включить заградительные устройства, учитывая реальную скорость и координату поезда. В работах был предложен и обоснован способ контроля приближающегося к переезду поезда по виброперемещению рельсовой линии.

Сущность предложенного подхода, в управлении переездной сигнализацией, учитывающего координату и скорость поезда на основании вибраций рельсовой линии рассмотрим на рисунке 4.7. Предполагаемая система АПС состоит из: акселерометров, контролирующих виброперемещение рельса, микропроцессорной подсистемы формирования извещения (МФИ) и традиционной автоматической переездной сигнализации (АПС, АПШ).

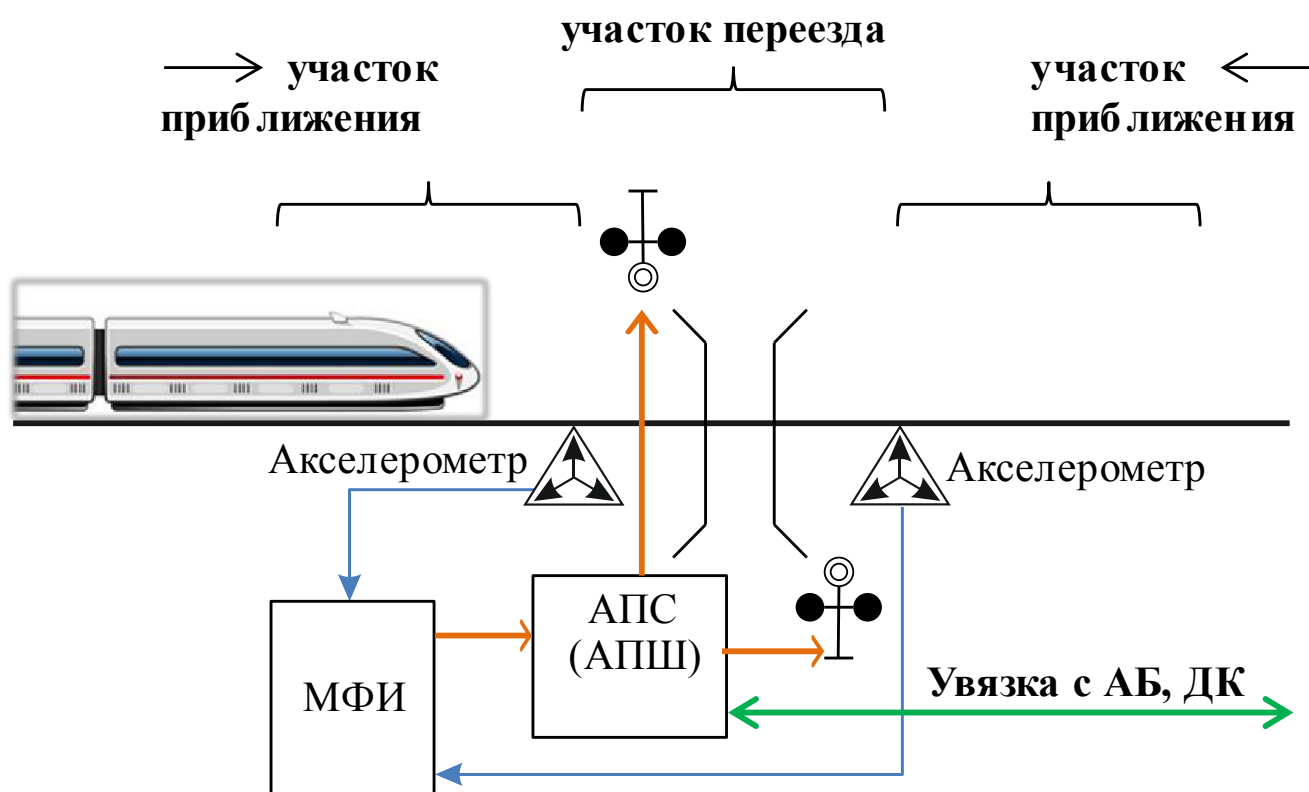


Рисунок 4.7 – Увеличенная структурная схема средств формирования извещения на основе виброперемещения рельсовой линии

В функции МФИ входит: определение местоположения, скорости поезда и направления его движения по информации от двух акселерометров прикрепленных к подошве рельсовой линии. На основании измеряемого виброускорения происходит вычисление момента включения заградительных устройств и подача команды в существующие средства переездной сигнализации (АПС, АПСШ). Переезд закрывается (Рисунок 4.8а). При движении поезда по переезду (Рисунок 4.8б), переезд остается закрытым. После проследования поездом участка переезда (Рисунок 4.8в). МФИ определяет по изменению сигнала, что последний вагон удаляется. Подается сигнал на открытие заградительных устройств. Переезд открывается.

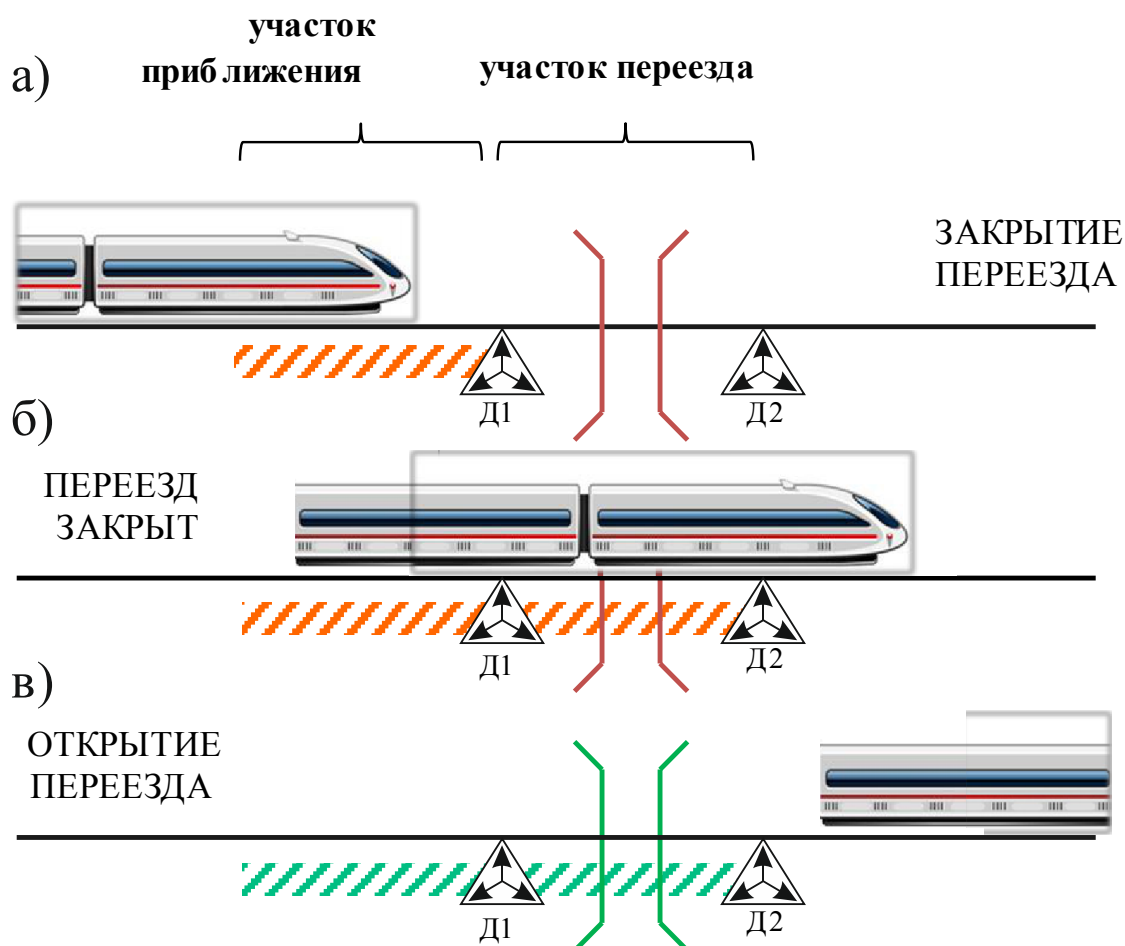


Рисунок 4.8 – Принцип работы системы формирования извещения

Так как сигналы, поступающие с акселерометра имеют аналоговую форму, и быстро меняются во времени, то целесообразнее всего произвести их анализ в месте съема информации (непосредственно у датчика). Для этого аппаратная

(программно-аппаратная) часть подсистемы съема информации должна обладать определенными “интеллектуальными” возможностями [115, 116].

А именно в реальном масштабе времени должны решаться следующие задачи:

- аналого-цифровое преобразование (АЦ-преобразование) сигналов физических величин;
- проверка на достоверность значений сигналов физических величин и фильтрация импульсной помехи;
- вычисление усредненных значений физических величин;
- проверка на достоверность усредненных значений сигналов физических величин;
- обнаружение отказа аппаратуры;
- замена приближенными значениями недостоверных усредненных значений физических величин;
- формирование результатов для выдачи на цифровой/аналоговый выход (с учетом признака недостоверности при обнаружении импульсных помех и признака отказа).

Системы переездной сигнализации относятся к классу сложных систем автоматики длительного пользования с непрерывным процессом эксплуатации и, в основном, имеют последовательную структуру построения. Отказ их элементов может приводить к частичному или полному отказу всей системы и, как правило, к искажению сигнальной информации, передаваемой водителям автотранспортных средств. В результате этого, как показывает статистика ДТП, из-за непонятной для большинства водителей сигнализации устройств, ограждающих часто снижаются условия безопасного движения транспорта и имеют место случаи, когда переезд оказывается вообще не огороженным при приближении поезда.

Поэтому представляется определенный практический интерес подробное рассмотрение вопросов, связанных с организацией диагностики и прогнозирования систем переездной сигнализации.



Исключать отказа указанных систем призвано их техническое обслуживание, что является одной из главных задач персонала дистанций сигнализации и связи. Основой системы этого обслуживания на железных дорогах являются периодические работы по осмотру, проверке и регулировке элементов систем.

Основными причинами отказов систем переездной сигнализации являются ошибки обслуживающего персонала и некачественное выполнение ими работ при техническом обслуживании, невыполнение сроков проверки и осмотра элементов, а также преждевременная критическая изменение их параметров, которую нельзя определить в результате выполнения технологических измерений.

В настоящее время информация обслуживающему персоналу об отказе указанных систем, в основном, поступает от дежурных по станциям, обобщающие, а также анализируют сообщение локомотивных бригад, дежурных по переездам и режимы индикации на пультах управления. Объем и качество этой информации не всегда достаточны для правильного определения состояния системы, а тем более для заблаговременного определения отказавшего элемента, что, видимо, способствует неоправданному увеличению времени поиска и устранения отказов.

Все это указывает на то, что достоверная и качественная предварительная информация о параметрах элементов систем переездной сигнализации прямо способствует эффективному выполнению ее анализа, в том числе и компьютерного, что позволяет уменьшить время поиска отказавшего элемента, и, тем самым, свести к минимуму время восстановления нормального действия систем.

Получить достаточный объем контрольной информации от указанных систем можно в результате внедрения современных микропроцессорных систем технического диагностирования, могут работать не только в режиме анализа информации, но и в режимах «подсказки» и «советчика». Этому, в определенной мере, способствует и то, что в настоящее время наблюдается некоторое опережение количественных и качественных изменений средств автоматики над

возможностями определенной части эксплуатационного штата, что является настораживающим фактором.

Несмотря на то, что системы переездной сигнализации относятся к классу систем с непрерывным режимом функционирования (даже при наличии или неисправностей отказов), поэтому для контроля их состояния, как правило, применяют системы функционального диагностирования. Системы функционального диагностирования используются для контроля правильности функционирования объекта и поиска в нем неисправностей без прекращения его эксплуатации.

Основными задачами технического диагностирования являются:

а) диагноз или определения состояния, в котором в данный момент находится система или устройство. Эта задача решается при рассмотрении вопроса определения работоспособности систем, а также поиска в ней неисправностей;

б) прогноз или предсказание состояния, в котором окажется система при определенных эксплуатационных ситуациях в будущем, в том числе и при ее повреждении;

в) анализ возможного момента появления неисправности и влияния ее на работу системы.

В промышленности функциональное диагностирование принято считать мало эффективным, когда значение вероятности безотказной работы устройств в конце самого длительного установленного периода времени эксплуатации не опускается ниже допустимого значения, заданного техническими нормами. Однако на железнодорожном транспорте, и особенно в системах переездной сигнализации, использование технического диагностирования даже в указанном случае позволит значительно повысить безопасность движения транспорта благодаря своевременному устранению отказов и даст возможность эффективно планировать техническое обслуживание.

Процесс автоматического поиска неисправностей можно разделить на два этапа.

На первом этапе сложная система подразделяется на совокупность последовательных и параллельных узлов с последующим индивидуальным контролем их работоспособности и определением неисправного.

На втором этапе, в свою очередь, неисправный схематично узел подробно диагностируется и определяется его неисправный элемент, параметры которого восстанавливаются обслуживающим персоналом или он заменяется на исправный.

При определении состояния систем переездной сигнализации должно учитываться следующее:

а) схемные узлы и блоки, реализованные на микропроцессорной элементной базе, имеют резервирование отдельных наиболее ответственных узлов. Автоматическая диагностика резервных узлов или не производится, осуществляется в специальных режимах. При этом могут оставаться невыявленными их отдельные неисправности или отказы, что проявятся только при включении таких узлов в работу;

б) в процессе «сложных» неисправностей элементы системы разбиваются на множество узлов и элементов с трудно различимыми между собой эквивалентными состояниями. В таких случаях определение неисправности одного класса в нескольких узлах через эквивалентность их состояний затруднено. Это вызвано тем, что нужно распределение эквивалентных состояний узлов на соответствующие классы, а диагностирования узлов по классу состояний занимает значительное время и представляет непростую задачу;

в) особое значение при диагностике придается продолжительности его проведения. Очевидно, продолжительность диагностирования зависит от ряда факторов, и чем оно короче, тем быстрее может быть устранено отказа. В противном случае, а именно, при его продолжительности, могут появиться неисправности в уже продиагностированных элементах и вызвать в последствии недопустимы искажения алгоритмов работы систем.

Системы переездной сигнализации, с точки зрения технической диагностики можно разделить на три класса: непрерывные, дискретные и комбинированные.

Непрерывные системы имеют входные, внутренние и выходные сигналы, в основном являются аналоговыми с непрерывными функциями.

Дискретные системы – это системы, в которых все сигналы между узлами и блоками передаются дискретно.

Комбинированные системы, к которым, в основном, относятся и системы переездной сигнализации, построенные с использованием как аналоговых, так и дискретных сигналов.

На сети железных дорог стран СНГ в настоящее время широкое применение получила автоматизированная система диспетчерского контроля АПК-ДК.

АПК-ДК представляет собой аппаратно-программный комплекс, предназначенный для создания системы диспетчерского контроля (с устройствами ЭЦ на станциях и любых устройствах интервального регулирования на перегонах) состояния отдельных узлов и устройств автоматики, телемеханики и связи, поездных передвижений, свободности занятости приемо-отправочных путей, блок-участков гонки и переездов, состояния входных и выходных светофоров станций и обеспечения этой информацией любого абонента сети АПК-ДК (поездной диспетчер, сменный инженер дистанции сигнализации и связи, дежурный по станции, электромеханик ЭЦ, диспетчер локомотивного депо и т.д.).

АПК-ДК осуществляет сбор, обработку, хранение и отображение информации о состоянии объектов контроля в реальном масштабе времени. Система позволяет повысить эффективность производительность и улучшить условия труда диспетчерского аппарата управления движением на уровне региональных центров управления:

- обеспечение возможности заблаговременного принятия ДНЦ решений на основании контроля поездной ситуации в реальном масштабе времени;

- прогнозирование возможных отклонений от графика движения поездов и выдачи рекомендаций по их устранению;
- использование информации о техническом состоянии устройств;
- обеспечение информационного сообщения существующих на дороге или в автоматизированном рабочем месте (АРМ) эксплуатационного и технического персонала с рабочим местом поездного диспетчера (ДНЦ).

Основным назначением системы является возможность перехода на новые технологии обслуживания устройств за счет:

- контроля за техническим состоянием устройств автоматики и телемеханики в реальном масштабе времени;
- диагностики и прогнозирования состояния устройств;
- определение предотказных состояний устройств;
- автоматизации поиска неисправностей в устройствах ЭЦ и АБ;
- автоматизации части работ по обслуживанию устройств ЭЦ и АБ;
- учета ресурса приборов по их фактической наработке;
- взаимодействия с АРМами входящими в состав дистанций сигнализации и связи.

В состав технических средств системы входят специальные аппаратные и программные средства диагностирования технического состояния контролируемых устройств.

Информация о техническом состоянии контролируемых устройств выдается на АРМ в разной степени детализации. Аппаратура системы относится к возобновляемым изделиям. Среднее время восстановления работоспособности устройств системы на месте эксплуатации не больше 20 минут. Время готовности устройств системы к работе после восстановления, не больше 5 минут.

Комплекс образует вычислительную сеть для обеспечения оперативной информацией диспетчерского аппарата регионального центра управления, дистанций сигнализации и связи и других линейных предприятий.

Аппаратура АПК-ДК предназначена для передачи поездному диспетчеру информации о поездное положение в пределах диспетчерского круга:

свободности и занятости блок - участков главных и приема отправочных путей промежуточных станций, показаний входных и выходных светофоров, а также информации об установленном направлении движения (на однопутных участках оборудованных АБ) состоянии переездов и температуре буксовых узлов.

Одновременно АПК-ДК выполняет задачи технического контроля за состоянием устройств автоматики на перегоне и станции. Результат контроля передается дежурному механику, диспетчеру дистанции сигнализации и связи и дальше техническому персоналу, ответственному за сбор и обработку статистики отказов.

АПК-ДК состоит из трех подсистем, реализуемых с использованием программируемых контроллеров, персональных компьютеров и специального ПО, а также каналов связи между ними, позволяющие организовать вычислительную сеть и автоматизированные рабочие места (АРМ) пользователей.

Первая подсистема (подсистема нижнего уровня) состоит из специализированных контроллеров, обеспечивающих снятие и первичную обработку информации, поступающей от устройств железнодорожной автоматики.

Вторая подсистема (подсистема среднего уровня) состоит из промышленных компьютеров (одни на станции), являющихся концентраторами и обрабатывают информацию от подсистемы нижнего уровня (прием, обработка, хранение, архивация, передача на верхний уровень и т.д.), а также включает в себя концентратор центральной должности.

Третья подсистема (подсистема верхнего уровня) состоит из технических средств (АРМов) диспетчера дистанции сигнализации и связи и работников отделения дороги (персональные компьютеры объединены в информационную вычислительную сеть).

Структура системы АПК-ДК проектируется для конкретного участка железных дорог различным наполнением упомянутых подсистем источниками информации, устройствами сбора и передачи данных, концентраторами среднего

уровня, с учетом количества и функционального назначения рабочих мест на верхнем уровне системы.

Информационное и программное обеспечение среднего уровня позволяет организовать сбор и передачу станционной информации на верхний уровень системы.

Информационное и программное обеспечение верхнего уровня позволяет реализовать выполнения специальных технологических функций и организовать различные виды АРМ: поездного диспетчера и диспетчера железнодорожного узла (АРМ ДНЦ и ДНЦУ), диспетчера сигнализации и связи (АРМ ШЧ), вагонного оператора и т.д.

Аппаратура съема дискретной информации (ПИК 120).

Прибор ПИК 120 имеет 120 цифровых входов, и предназначен:

- для преобразования в стандартный цифровой вид постоянного напряжения  $-36 \text{ В} \leq U \leq +36 \text{ В}$  или переменного напряжения  $36 \text{ В}$   $50 \text{ Гц}$ , поступающий на цифровые входы;

- для передачи в последовательном коде полученного в результате преобразования массива данных в концентратор по его запросу.

В состав прибора ПИК 120 входят:

- плата микроконтроллера;
- корпус с одним разъемом СН2-10ШБ и пятью блочными разъемами РП14-30.

Приборы ПИК 120 располагаются в специальных шкафах типа УКС-4.

На сто двадцать цифровых входов оптронного преобразователя ПИК 120 могут поступать постоянные напряжения в диапазоне  $-36 \text{ В} \leq U \leq +36 \text{ В}$  или переменные напряжения амплитудой  $36 \text{ В}$  и частотой  $50 \text{ Гц}$ .

Все 120 входов образуют 15 восьмиканальных групп. В каждой группе общие провода каналов (со второго по восьмой) объединены, а первый канал имеет независимый общий провод.

Такая организация входных цепей позволяет подключать ПИК 120 до гальванически развязанных источников сигналов.

Связь ПИК 120 с концентратором осуществляется по последовательному каналу типа «токовая петля» или RS-485.

Выходы микроконтроллера прибора ПИК 120 и канал связи гальванически развязаны.

Максимальная скорость передачи информации 9600 бод.

На один вход концентратора может быть подключено 4 прибора ПИК 120, поэтому, в составе системы каждом прибора ПИК 120 необходимо присвоить адресу в диапазоне от 0 до 3.

Возможно исполнение контроллера для работы с светодиодным табло или табло обычного типа.

Подключение лампочек табло индикации работы переездов.

Лампочки индикации работы переездов подключаются к плате PCL-735 с помощью разъема типа CTS-37M. на каждый переезд выделяется две лампочки: белая и красная. Одна плата может выводить информацию о состоянии до 6 переездов. Каждая лампочка может находиться в трех состояниях: включите, выключено и мигание. Включение белой лампочки означает исправное состояние устройств на переезде, мигание – наличие безопасных отказов. Включение красной лампочки означает, что на переезде произошел отказ, требующий немедленного вмешательства. Мигание красной лампочки соответствует потере контроля над переездом.

Система АПК-ДК позволяет также контролировать:

1. Наличие (отсутствие) напряжения в основном и резервном фидерах, исправность основных источников питания.
2. Сигнализацию переездных светофоров (включена, выключена).
3. Положения автошлагбаумами (закрытое, открытое).
4. Включение заградительной сигнализации (включена, выключена).
5. Исправность цепей ламп переездных светофоров
6. Исправность цепей ламп заградительных светофоров.
7. Положение кнопок на щитке управления.
8. Состояние реле ДСН.



9. Состояние участков приближения.
10. Установленный направление движения.
11. Состояние аккумуляторной батареи.
12. Открытие релейных шкафов.
13. Исправность схемы мигающих реле.
14. Уровень напряжения питания релейной аппаратуры.
15. Уровень напряжения питания ламп светофоров.
16. Уровень напряжения питания основного фидера.
17. Уровень напряжения питания резервного фидера.

Таким образом, рациональное использование технического диагностирования и прогнозирования систем переездной сигнализации позволит значительно увеличить объем и качество контрольной информации о состоянии систем переездной сигнализации, полученной обслуживающим персоналом. В результате этого значительно уменьшится время восстановления нормального функционирования систем переездной сигнализации, а, следовательно, и повысится безопасность движения транспорта на переездах. Одновременно появится возможность организовать АРМы дежурного персонала дистанций сигнализации и, тем самым, автоматизировать процессы обработки и анализа контрольной информации.

Оборудование переездов ограждающими устройствами с достаточным объемом информации, регулирующих очередность движения транспорта, не менее важной задачей. В мировой практике эта задача имеет несколько технических решений. Их анализ и анализ причин ДТП на переездах показывает, что применяемые сигнальные устройства ограждения, за исключением устройств заграждения переездов, для своевременного автомобильного транспорта не являются непреодолимыми и не исключают возможность въезда автомобильного транспорта в опасную зону переезда при приближении поезда. Можно сделать вывод, что при эксплуатируемых ограждающих устройствах защита от наездов и столкновений транспорта основан на чисто информационных средствах и дисциплинированности водителей. Это подтверждается и односторонним

направлением передачи сигнальной информации – только от ограждающих устройств к водителям автотранспортных средств и пешеходов. Итак, цикл регулирования движения транспорта через железнодорожные переезды, является разомкнутым.

В данной ситуации уменьшить число ДТП на переездах можно только своевременной передачей локомотивной бригаде информации об опасной ситуации. Для обеспечения безопасности движения на переездах разрабатываются системы управления автоматической переездной сигнализацией с целью передачи информации на локомотив о необходимости снижения скорости, препятствиях на пути движения или неисправности оборудования.

В настоящее время основной такой системой на переездах является заградительная сигнализация.

Заградительная сигнализация применяется для подачи состава сигнала остановки в случае аварийной ситуации на переезде. Заградительной сигнализацией оборудуются охранные переезды.

Заградительные сигналы могут использоваться как специально устанавливаемые заградительные светофоры, а также светофоры автоматического и полуавтоматического блокировки и станционные светофоры, если они изъяты от переезда не более чем на 800 м и с места их установки виден переезд.

На однопутных участках заградительные сигналы устанавливаются для поездов обоих направлений.

На двухпутных участках заградительные сигналы устанавливаются, как правило, только для поездов, следующих в правильном направлении. И только на пригородных участках при размерах движения более 100 пар поездов в сутки и участках, оборудованных двусторонней путевой блокировкой, устанавливаются заградительные сигналы для поездов, следующих по неправильному пути.

Заградительные светофоры устанавливаются с правой стороны по направлению движения поезда на расстоянии не ближе 15 м и не далее 800 м от переезда. Место установки светофора выбирается так, чтобы обеспечивалась видимость огня светофора на расстоянии не менее тормозного пути,

необходимого для данного места при экстренном торможении и максимально реализуемой скорости. На участках без автоблокировки, если сигнал не виден на необходимом расстоянии, необходимо устанавливать, кроме основного, предупредительный светофор такого же типа. Сигнальные огни предупредительных светофоров, так же как и основных заградительных, нормально погашены. При включении заградительного сигнала на предупредительном к нему загорается желтый огонь.

С места установки заградительного светофора должен быть виден переезд. Соблюдение такого условия позволяет машинисту поезда, остановившегося перед запрещающим сигналом, видеть обстановку на переезде и установить безопасную скорость дальнейшего следования поезда.

На участках, оборудованных автоблокировкой, при включении заградительной сигнализации перекрываются на запрещающее показание ближайшие к переезду сигналы автоблокировки и прекращается подача кодов автоматической локомотивной сигнализации в рельсовые цепи перед переездом.

Показания локомотивного сигнала при включении заградительной сигнализации зависит от места нахождения поезда. Если поезд в момент включения сигнализации находится уже на участке между проходным светофором и переездом, то на локомотивном сигнале вместо желтого или зеленого огня появится белый, а вместо красного огня с желтым - красный. Если поезд еще находится на участке перед проходным светофором, то на локомотивном сигнале будет гореть красный огонь с желтым. Изменение сигнальных показаний на локомотивном светофоре обращает внимание машиниста на необходимость вести поезд с особой осторожностью и готовностью остановиться.

Еще одним из способов своевременной передачи локомотивной бригаде информации об опасной ситуации на переезде является радиосвязь. Радиотехнические средства связи, применяемые для поездного и внутристанционного радиосвязи, представленные приемо-передающими радиостанциями, устанавливаемыми на локомотивах и стационарных пунктах.

При поездной радиосвязи диспетчер для связи с машинистом локомотива посылает избирательный вызов, который влияет на подключая устройства станции, вблизи которой находится локомотив. Устройства подключают радиостанцию к проводам диспетчерской связи, создавая возможность через эту радиостанцию вести разговор с машинистом. Для установления связи с диспетчером машинист вызывает дежурного по станции и просит его соединить с диспетчером. Переговоры ведутся с переключением радиостанции на прием и передачу. При внутростанционные связи переговоры между распорядительным пунктом и локомотивами ведутся непосредственно по радио.

Радиосвязь целесообразно использовать для контроля рабочего состояния автоматики на переездах и в случае неисправности автоматики, передать эту информацию на локомотив. Это важно с точки зрения безопасности движения железнодорожного и автодорожного транспорта.

Неисправности могут быть следующие: обрыв в огневых цепях мигающих красных огней переездных светофоров А и Б Это контролируется фронтowymi контактами огневых реле АО и БО;

- на переездную автоматику не поступает электропитание от источника переменного тока. Это контролируется фронтowymi контактами аварийного реле А для основного фидера и реле А1 - для резервного если он предусмотрен;

- переездные рельсовые цепи находятся в состоянии поврежденной рельса (отсутствии контрольного режима их работы). И так, на устройстве автоматической переездной сигнализации (АПС) передается информация об ошибочной занятости участков приближения. Это контролируется на каждом линейном пункте (ЛП) фронтowymi контактами общего оповещения ВС с учетом необходимой выдержки времени, обеспечиваемой соответствующими (замедляя) элементами на ЛП или ЦБ.

Для получения достоверной информации об ошибочной занятости конкретных переездных РЦ необходимо иметь статистические данные о максимальном времени, в течение которого поезд будет находиться на

переездных РЦ при ее передвижении через данный переезд или при маневрах угловым заездом с использованием

Уменьшить число ДТП на переездах можно только своевременной передачей локомотивной бригаде информации об опасной ситуации. Для этого необходимо использовать специальные автоматические устройства опасной ситуации.

Очевидно, что дооборудования переездов автоматическими устройствами предварительного контроля автодорожного транспорта в опасной зоне позволит вовремя передавать локомотивным бригадам информацию об аварийной ситуации. В результате этого, в первую очередь, цикл регулирования движения транспорта на переездах окажется замкнутым, что позволит оптимизировать процесс выбора локомотивными бригадами безопасной скорости приближения поезда к переезду и тем самым уменьшить число ДТП.

В настоящее время процесс контроля опасной зоны переездов может осуществляться в двух режимах: неавтоматическом и автоматическом. На регулируемых переездах такой контроль осуществляется в ручную. На переездах с дежурными их главной обязанностью является предварительный контроль состояния опасной зоны при приближении поездов и обеспечения условий безопасного движения транспорта. На переездах без дежурных эти обязанности возлагаются на локомотивные бригады поездов, приближаются к переезду, или маневровых поездов.

В последние годы для решения задач автоматического визуального контроля и охраны объектов широко применяются замкнутые и разомкнутые устройства технического «зрения» – промышленные телевизионно-вычислительные устройства (ПТВП). Эти устройства по назначению и принципу действия подразделяются на обзорнопоисковые (информационные), измерительные и универсальные. Наибольший интерес вызывают универсальные устройства, отвечающие практически всем перечисленным выше требованиям и при этом легко соглашаются с любым промышленным контроллером и ПЭВМ. Эти устройства имеют высокое быстродействие и позволяют обрабатывать

сигналы от неподвижных, малоподвижных и быстроизменяющихся объектов, а также путем «затмение» контролировать строго определенную зону.

Принцип функционирования универсальных ПТВП должен основываться на реализации поэтапного сравнения фактического состояния опасной зоны переезда с безопасным. При этом, используя адаптивное (само настраивающееся) регулирования, необходимо периодически осуществлять автоматическое восстановление информации о безопасном состоянии опасной зоны в зависимости от изменения погодных условий, состояния окружающей среды, дорожного покрытия и т.д.

Структурная схема такого устройства должна состоять из следующих функциональных узлов: устройств согласования, промышленного контроллера, устройства передачи информации.

С помощью промышленного контроллера должны реализоваться следующие основные функции: корректора видеосигнала, преобразователя стандартов, что позволит согласовать параметры видеосигнала со скоростью их обработки и детектора активности движения автотранспортных средств.

Информация о ситуации на переезде, а при необходимости и вблизи него, в цифровой форме должна передаваться системам управления ограждающими устройствами и по кабельным каналам АРМов дежурным по станциям.

С целью повышения безопасности движения транспорта на переездах указанную информацию целесообразно передавать по радиоканалам на локомотивы, поездов приближающихся для последующей обработки ее локомотивными (бортовыми) контроллерами и отображение на видеомониторах локомотивных бригад.

В случаях опасных ситуаций на переездах изображения на локомотив ном мониторе должно представляться в «тревожном» виде, что позволит локомотивным бригадам вовремя принять меры к остановке поезда или, анализируя ситуацию и рекомендации бортового компьютера, выбрать необходимую «безопасную» скорость приближения к переезду.

Так как система будет работать в автоматическом режиме, и принимать ответственные решения [117, 118, 119]. Необходимо в ней реализовать алгоритмы первичной обработки аналоговой информации. Поскольку снимаемая информация позволяет судить о динамических и статических свойствах объекта. Прежде всего, необходимо выполнить проверку на достоверность, для выявления нарушений, в канале передачи, так и в работе датчика [120, 121]. Часто в ходе технологических процессов могут возникать помехи с частотами полезного сигнала, при этом датчик может обладать существенной погрешностью. Устранить перечисленные помехи аппаратным способом практически невозможно. Поэтому было принято решение, применить программный алгоритм экспоненциального сглаживания, по аналогии с экспериментом, проделанным в работе [122].

На основании выше изложенных особенностей разработаем структурную схему микропроцессорного формирователя извещения (МФИ) о приближении поезда к переезду на примере однопутного участка (Рисунок 4.9) [123, 124]. Система состоит из следующих элементов: акселерометры, полосовой фильтр (ПФ), аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), интеллектуальный блок обработки сигнала; преобразователь интерфейса, микропроцессорный промышленный контроллер (МПК); схема контроля и диагностики; выходной интерфейс; блок питания, устройство сопряжения с автоматической блокировкой и системой диспетчерского контроля, табло индикации для водителей, табло индикации служебной информации, безопасный интерфейс включения реле заградительных устройств.

Использование для анализа усредненных данных экспоненциального сглаживания значений виброперемещения рельсовой линии позволит прогнозировать расчетное время приближения к переезду. При приближении поезда к переезду в динамическом режиме имеется возможность определить его скорость, расстояние и скорректировать время включения заградительных устройств. Это позволит, минимизировать время простоя автотранспорта,

уменьшить нервозность водителей. Как следствие, свести к минимуму нарушения правил проезда переездов и сократить количество аварий [125].

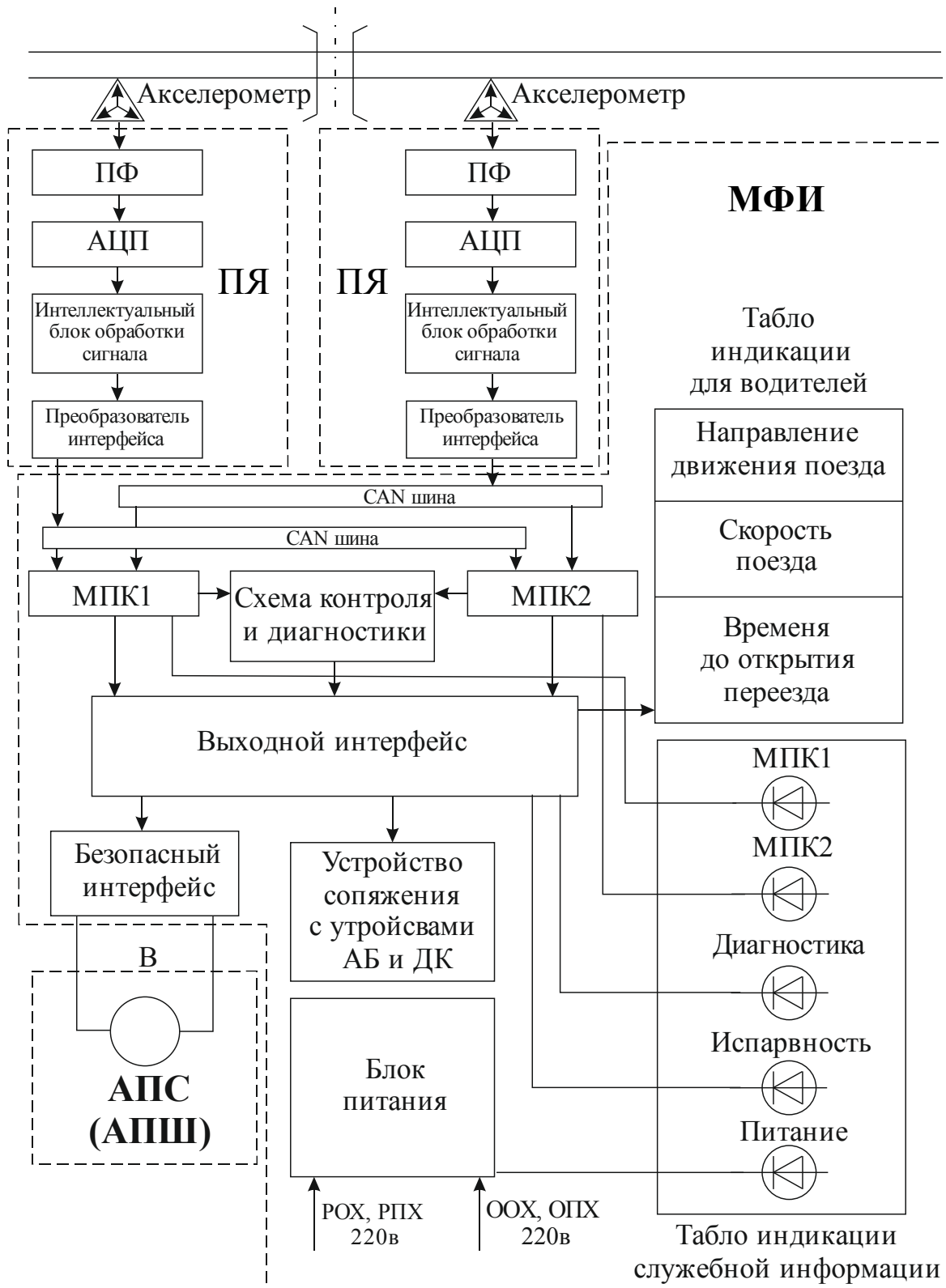


Рисунок 4.9 – Структурная схема микропроцессорной системы формирования извещения



Микропроцессорная система формирования извещения о приближении поезда выполняет следующие функции: контроль колебаний рельсовой линии, прием и обработку информации, управление состояниями реле В, сопряжение с устройствами диспетчерского контроля. МФИ может эксплуатироваться на участках с любым видом тяги поездов.

В МФИ следует предусмотреть световые индикаторы: наличие питающего напряжения; состояние микропроцессорных промышленных контроллеров, диагностирование работы устройств и исправная работа. По характеру горения (мигания) световых индикаторов можно будет судить о состоянии оборудования. Электрическое питание системы МФИ осуществляется от тех же гарантированных источников, что и переездной сигнализации.

Система МФИ должна быть функционально и электромагнитно совместима с любой релейной системой автоблокировки. Это позволяет реализовать ее на любых участках железных дорог.

#### 4.4 Выводы по разделу 4

1 Рассмотренные достоинства акселерометров, целесообразность их применения для контроля колебаний рельсовой линии с целью определения факта наличия движущегося поезда.

2 Разработаны схемы управления функционирования железнодорожного переезда.

3 Разработана структурная схема технической реализации подключения средств формирования извещения, для предложенной модели функционирования устройств формирования извещения на переезд.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, в которой получено решение важной научно технической задачи совершенствование систем автоматического управления железнодорожным переездом на основании методов и средств формирования извещения, обеспечивающая уменьшение время простоя автотранспорта.

По результатам диссертационной работы сформулированы следующие выводы:

1. Выполнен анализ методов подачи извещения в системах автоматической переездной сигнализации и обоснован выбор способа определения поезда по виброускорению рельсовой линии.

2. Установлено, что процесс движения поезда сопровождается виброускорением рельсовой линии, по анализу которого можно определить параметры движения подвижной единицы.

3. Получила дальнейшее развитие динамическая модель вертикальных колебаний рельса как балки на упругом основании Фусса-Винклера под воздействием подвижной динамической силы, отражающая взаимосвязь переменной нагрузки к колебаниям сечения рельса, позволяющая определять расстояние до подвижного железнодорожного состава.

4. Проведено имитационное компьютерное моделирование математической модели определяющей вертикальные колебания рельса при воздействии подвижной динамической нагрузки. Определены градуировочные зависимости амплитуды от частоты для различных значениях расстояний до подвижного объекта.

5. На основании расчетов сделан вывод, что динамическая модель вертикальных колебаний рельса как балки на упругом основании Фусса-Винклера, при уровне доверительной вероятности 0,95 адекватна реальным физическим процессам распространения вибрации в рельсе при движении по нему поезда.

6. Получена статическая характеристика зависимости пиковой частоты от расстояния до подвижного объекта на основании полученных данных. Таким образом, математическая модель рельсовой линии адекватно отображает динамические процессы, протекающие при движении поезда и может быть использована для модернизации системы автоматического управления заградительными устройствами переезда.

7. Разработана модель управления заградительными устройствами переезда, которая учитывает координату и скорость поезда на участке извещения, на основании виброускорения рельсовой линии.

8. Разработан алгоритм управления заградительными устройствами железнодорожного переезда, который включают в себя математическую модель определения физических характеристик движения поезда в реальном масштабе времени.

9. Математическое исследование модели управления заградительными устройствами на основании реальных данных показала, что время простоя автотранспорта в среднем сократится 2-5 раз, что уменьшит нервозность водителей.

10. Разработана структура технической реализации модифицированной системы автоматического управления железнодорожным переездом, учитывающая координату поезда на участке извещения, на основе современных средств промышленной автоматизации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казаков, А.А., Бубнов В.Д., Казаков Е.А. Автоматизированные системы интервального регулирования движения поездов: Учеб. для техникумов ж.-д. трансп. М.: Транспорт, 1995. 320 с.
2. Бубнов, В.Д. Устройства СЦБ их монтаж и обслуживание: Полуавтоматическая и автоматическая блокировка / В.Д. Бубнов, В.С. Дмитриев - М.: Транспорт, 1989. – 304 с.
3. Казаков, А.А., Казаков Е.А. Автоблокировка, локомотивная сигнализация и автостопы: Учебник. - М.: Транспорт, 1980. - 360 с.
4. Устройство заграждения железнодорожного переезда: Руководство по эксплуатации 9109РЭ /ГУП Уральское отделение Всероссийского научно - исследовательского института железнодорожного транспорта. - Екатеринбург: Уральское отделение ВНИИЖТ, 2001. - 105 с.
5. Минаков Е. Ю. Переездный автошлагбаум ПАШ-1. Технология обслуживания, ремонта и проверки в условиях дистанций сигнализации и связи, железных дорог. - М.: РГОТУПС, 1998. - 35 с.
6. Бесекерский, В.А. Теория систем автоматического управления Учебник. — СПб.: Профессия, 2003. — 752 с.
7. Зайцев, Г.Ф. Теория автоматического управления: учебное пособие / Г.Ф. Зайцев, В.К. Стеклов, О.І. Бріцький. – Київ: Техніка, 2002. – 587с.
8. Трунаев, А.М. Железнодорожный переезд как объект управления [Текст] / А.М. Трунаев. XVI международная научно-практическая конференция: «Актуальные проблемы развития транспортно-промышленного комплекса: инфраструктурный, управленческий и образовательный аспекты» 21-22 ноября Донецк, 2019 г. С. 35-37
9. 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.

10. Федухин А.В. Радиомикропроцессорная гарантоспособная система автоматической переездной сигнализации на железнодорожном транспорте / А.В. Федухин // Математичні машини і системи. – 2013. – № 1. – С. 157 – 162.

11. Курбатова, А.В. О задержках автотранспорта на регулируемых железнодорожных переездах / А.В. Курбатова, С.Т. Гатауллин // Вестник ГУУ. – 2006. - №5(18).

12. 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.

13. 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.

14. 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>.

15. Технические решения Система микропроцессорной автоматической переездной сигнализации для переездов без дежурного работника(АПС МН-Н) УЖДА-04-04 ТР. Екатеринбург 2005г. 10с.

16. Применение аппаратуры МАПС в устройствах переездной сигнализации 424232-ТР. Альбом 1, 2, 3, 4. 2009.

17. Татиевский, С.А. Технические характеристика датчиков счета осей [Текст] / С.А. Татиевский // Автоматика, связь, информатика. – 2003. - № 1. – С. 36-39.

18. Галкин, О.В. Информационно-эксплуатационные показатели датчиков для счета осей [Текст] / О.В. Галкин, Г.Ф. Насонов // Автоматика, связь, информатика. – 2002. - № 2. – С. 33-35.

19. Федухин, А. В. Новый подход к автоматизации переездов на железнодорожном транспорте / А. В. Федухин, А. В. Гладков, Ар. А. Муха // Мат. машини і системи. - 2011. - № 3. - С. 135-141. - Библиогр.: 3 назв. - рус.

20. Федухин, А.В. Беспроводные микропроцессорные системы для железнодорожных переездов серии «Благовест» / А.В. Федухин, Ар.А. Муха // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2015. – № 2. – С. 1 – 5.

21. Информационный подход к повышению безопасности движения на железнодорожных переездах / А.В. Федухин, Ар.А. Муха // Математические машины и системы. – 2015. – № 4. – С. 145 – 151.

22. 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.

23. 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.

24. Алабушев, И.И. Методическое обеспечение построения систем регулирования движения поездов с использованием радиоканала : автореферат дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08 [Текст] / Алабушев Иван Игоревич; [Место защиты: Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ) МПС РФ] – М: МИИТ.- 2010. - 20 с.

25. Мохонько В. П. Устройство контроля координаты и скорости поезда системы управления переездной сигнализацией: диссертация кандидата технических наук : 05.13.05.- Самара, 2002.- 188 с.: ил.

26. Бибииков С.В., Шапарь А.В. Движущийся поезд как источник звуковых волн, распространяющихся по рельсовому пути // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2012. № 5(81). С. 152.

27. Бибииков, С.В. Организация процессов в операционной системе реального времени устройства «Сигнализатор-П» [Текст] / В.П. Корявцев, С.В. Бибииков // Альманах научных работ молодых ученых XLIV научной и учебно-методической конференции Университета ИТМО. Том 2. – СПб: Университет ИТМО. –2015. – С. 62–64.

28. Трунаев А.М. Определение наличия подвижного состава на элементах путевого развития [Текст]/ А.М. Трунаев, Чепцов М. Н., С.А.

Радковский. Международная научно-техническая конференция «Перспективные компьютерные управляющие телекоммуникационные системы для железнодорожного транспорта Украины», Алушта, 2012г.; с. 100.

29. Трунаев А.М. Модель датчика точечного типа с расширенными функциями [Текст]/ А.М. Трунаев, Чепцов М.Н. Безопасность и электромагнитная совместимость на железнодорожном транспорте, Тезисы V Международной научно-практической конференции. Днепропетровск, ДУЖТ, 2012., с. 75-76.

30. Трунаев А.М. Перспективные устройства вибродиагностики подвижного состава в процессе движения [Текст] / А.М. Трунаев. Третья международная научно-практическая конференция «Научно-технические аспекты комплексного развития железнодорожного транспорта», г. Донецк, 25 мая, 2017г. С 168-169

31. ГОСТ 33893-2016. Системы железнодорожной автоматики и телемеханики на железнодорожных переездах. Требования безопасности и методы контроля

32. Трунаев А.М. Перспективи заміни рейкових кіл системами рахунку осей [Текст]/ А.М. Трунаев, С.А. Радковский. 75 Міжнародна науково-технічна конференція «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті», Харків, 2013г.; с. 273-274.

33. Трунаев А.М. Вибрационный способ обнаружения и измерения дополнительных параметров движения подвижной единицы [Текст]/ А.М. Трунаев. Международная научно-практическая конференция «Научно-технические аспекты комплексного развития транспортной отрасли» 21 мая, Донецк, 2015г.; с. 155-157.

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

35. Галкин О.В. Информационно-эксплуатационные показатели датчиков для счета осей [Текст] / О.В. Галкин, Г.Ф. Насонов // Автоматика, связь, информатика. – 2002. - № 2. – С. 33-35.
36. Татиевский С.А. Технические характеристика датчиков счета осей [Текст] / С.А. Татиевский // Автоматика, связь, информатика. – 2003. - № 1. – С. 36-39.
37. Трунаев А.М. Усовершенствование методов контроля нахождения подвижной единицы на рельсовой линии [Текст]/ А.М. Трунаев. IV Международная научно-практическая конференция. «Строительство и восстановление искусственных сооружений» г. Гомель, 2015г.; с. 67-69
38. Бибииков, С.В. Движущийся поезд как источник звуковых волн, распространяющихся по рельсовому пути [Текст] / С.В. Бибииков, А.В. Шапарь // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2012. –№05(81). – С. 152.
39. Бибииков, С.В. Характерные признаки виброакустического сигнала приближающегося поезда [Текст] / С.В. Бибииков, Ю.Н. Матвеев // Сборник тезисов докладов IV Всероссийского конгресса молодых ученых. Электронное издание. – СПб: Университет ИТМО. – 2015. – <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/876/876.pdf>.
40. Thomson, D. Railway Noise and Vibration: Mechanisms, Modelling and Means of Control [Текст, англ]/ D.Thomson //Elsevier(GreatBritain). – 2009. - 518 p.
41. Квашнин, Н.М. Исследование свободных колебаний элементов верхнего строения пути со скреплением типа КПП-5 [Текст]/ Н.М.Квашнин //Промышленный транспорт Казахстана. – 2010. – №3 (27). – С. 43
42. Основы вибродиагностики и средства измерения вибрации: Учебное пособие. Петрухин В.В., Петрухин С.В. - Инфра-Инженерия, 2010 г. – 169с.
43. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов [Текст] /. А.Б. Сергиенко– СПб.: Питер, 2002. – 608 с.



44. Гайдышев, И.А. Анализ и обработка данных: специальный справочник/ И.А. Гайдышев. – Санкт Петербург: Питер, 2001. – 752с.
45. Тимошенко С.П. К вопросу о вибрациях рельсов. Изв. элетротехн. ин-та, т. XIII, 1905. 17с.
46. Петров Н.П. Влияние поступательной скорости на напряжение в рельсе. Записки РТО, кН 2-я, С.- Петербург, 1903. 89с.
47. Шахуянц Г.М. Расчеты верхнего строения пути. М: Трансжелдориздат, 1951. 264 с.
48. Муравский Г.Б. Неустановившиеся колебания балки, лежащей на упругом основании. При движении подвижной нагрузки. Изв. Ан СССР, ОТН Мех. И машиностроения № 1, 1962. 117 с.
49. Коренев Б.Г., Ручинский М.Н. Некоторые задачи динамики балок на упругом основании. Науч сообщение № 120 Центрального науч.-исслед. Ин-та промышленных сооружений. М.:Стройиздат, 1955. 54 с.
50. Муравский Г.Б. Действие подвижной нагрузки на балку бесконечной длины, лежащую на упругом основании.
51. Филипов А.П., Кохманюк С.С. Динамическое воздействие подвижных нагрузок на стержни. Киев: Наукова думка. 157 с.
52. Коган А.Я. Колебания рельса при движении по нему переменной нагрузки // Вестник ВНИЖТ, 1968 №1 С. 7-11
53. Коган А.Я. Динамика пути и его взаимодействие с подвижным составом. – М.: Транспорт, 1997. 326 с.
54. Информационный подход к повышению безопасности движения на железнодорожных переездах / А.В. Федухин, Ар.А. Муха // Математические машины и системы. – 2015. – № 4. – С. 145 – 151
55. ГОСТ 33893-2016. Системы железнодорожной автоматики и телемеханики на железнодорожных переездах. Требования безопасности и методы контроля

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

57. Автоматизация расчета параметров перегонной переездной сигнализации. М.Н. Василенко, Т.А. Тележенко, С.И. Валиев. Известия Петербургского университета путей сообщения. ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» №3 - 2010.

58. Бибиков С.В. Алгоритмы и устройства системы оповещения о приближении поезда по виброакустическим колебаниям рельса: диссертация кандидата технических наук: 05.13.01 / Бибиков Сергей Викторович. - Санкт-Петербург, 2015.- 160с.

59. Моделирование колебаний железнодорожного рельса при воздействии на него подвижной вертикальной динамической нагрузки. Радковский С.А., Трунаев А.М., Пойманов В.Д. Печать Сборник научных трудов Донецкого института железнодорожного транспорта. – Донецк: ДонИЖТ. – Выпуск 43. – 2016. – С. 4–9.

60. Исследование отклика рельсовой линии на единичное импульсное воздействие. Радковский С.А., Трунаев А.М. Сборник научных трудов. Выпуск 47. – Донецк, ДонИЖТ, 2017. – С. 10 – 16.

61. Беляев, В.П. Средства автоматизации проектирования алгоритмов функционирования систем управления [Текст]/ В.П.Беляев, Б.Ю.Волочий, Л.Д.Озирковский //Труды 4-й украинской конфер. по автоматическому управлению «АВТОМАТИКА – 97» т. 2. - Черкассы. - 1997. - С. 37.

62. Системы железнодорожной автоматики, телемеханики и связи: учебник: в 2 ч. / А.В. Горелик, Д.В. Шалягин, Ю.Г. Боровков, В.Е. Митрохин и др.; под ред. А.В. Горелика. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2012.

63. Трофимова Т.И. Физика: учебник для студ. Учереждений высш. Проф. образования / Т.И. Трофимова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Издательский центр «Академия», 2013. – 352 с.

64. Трунаев, А.М. Синтез математической модели управления процессом функционирования железнодорожных поездов на основе новых способов формирования извещений. [Текст]/ А.М. Трунаев, М.Н. Чепцов С.А. Радковский. Информатика и кибернетика. - Донецк: ДОННТУ, 2019 г - №4(18), с. 22-28.

65. Гарг В.К., Дукипати Р.В. Динамика подвижного состава: Пер. англ. Под ред. Н.А. Панькина. – М.: Транспорт, 1988, 391 с.

66. Колесников В.И., Воробьев В.Б., Шаповалов В.В., Шуб М.Б. Улучшение взаимодействия пути и подвижного состава: Монография / Под ред. М.Б.Шуба. – М.: Маршрут, 2006.-265 с.

67. Вершинский С.В., Данилов В.Н., Хусинов В.Д. Динамика вагона: Учебник для вузов ж.-д. трансп. / Под. ред. С.В. Вершинского.-3-е изд. перераб. и доп.-М.: Транспорт, 1991 – 360 с.

68. Вериго М.Ф., Коган А.Я. Взаимодействие пути и подвижного состава./ Под ред. М.Ф. Вериго. – М.: Транспорт, 1986.-559с.

69. Мямлин С.В. Моделирование динамики рельсовых экипажей. – Д.: Новая идеология, 2002. – 240 с.

70. М.Ф. Вериго, Динамика вагонов, Конспект лекций. Москва – 1971.

71. Трунаев А.М. Моделирование подвижной динамической нагрузки на железнодорожный рельс. [Текст] / А.М. Трунаев, С.А. Радковский. Вторая международная научно-практической конференции «Научно- технические аспекты комплексного развития транспортной отрасли», 25-26 мая, Донецк, 2016г.; С 68-70.

72. Трунаев А.М. Вибрационный способ контроля нахождения подвижной единицы на рельсовой линии [Текст]/ А.М. Трунаев, С.А. Радковский, А.Б. Бойник. 26-я международная научно-практическая конференция «Внедрение

перспективных микропроцессорных систем железнодорожной автоматики и средств телекоммуникаций на базе цифровизации», г. Алушта, 2013г. ; с. 73.

73. Трунаев А.М. Экспериментальное определение свойств рельсовой линии принципом импульсной характеристики [Текст] / А.М. Трунаев, С.А. Радковский. Четвертая международная научно-практическая конференция: «Актуальные проблемы развития транспортно-промышленного комплекса: Инфраструктурный, управленческий и образовательный аспекты» 3-4 ноября, Донецк, 2017г. С. 37-40.

74. Трунаев А.М. Исследование отклика рельсовой линии на единичное динамическое импульсное воздействие [Текст] / А.М. Трунаев, С.А. Радковский. Вторая международная научно-практическая конференция «Транспорт и логистика: инновационное развитие в условиях глобализации технологических и экономических связей» Рост. гос. ун-т. путей сообщения. Ростов н/Д, 2018г. ; С. 193-196.

75. Дьяконов В. П. MATLAB. Полный самоучитель. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 768 с.: ил.

76. Радзишевский А.Ю. Основы аналогового и цифрового звука. – М.: Издательство дом «Вильямс». 2006. – 288 с.: ил.

77. Ричард Лайнос. Цифровая обработка сигналов: Второе издание. Пер. с англ. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2006 г. – 656 с. ил.

78. Сергиенко, А.Б. Цифровая обработка сигналов. [Текст] / А.Б.Сергиенко //СПб: Питер. – 2003

79. М. А. Павлейно, В. М. Ромаданов Спектральные преобразования в Matlab. Санкт-Петербургский гос. ун-т, Физ. фак., Науч.- бразовательный центр «Электрофизика». 2007. – 160с.

80. Matlab.exponenta [Электронный ресурс]: Обработка сигналов и изображений\Signal Processing Toolbox.\ Синтез фильтра Баттерворта. URL: <http://matlab.exponenta.ru/signalprocess/book1/7/butter.php> (дата обращения: 20.12.2017).

81. Александров В.А. Преобразование Фурье: Учеб. пособие. Новосибирск: НГУ, 2002. 62 с.

82. Путьовой вібраційний датчик контролю наявності і визначення параметрів рухомих одиниць друку Зб. наук. праць Донецького інституту залізничного транспорту. – Донецьк: ДонІЗТ. – Випуск 32. – 2012.– С. 73–78. Трунаев А.М., Радковский С.А., Чепцов М.Н., Бойник А.Б.

83. Трунаев А.М. Новые подходы контроля нахождения поезда на участке [Текст] / А.М. Трунаев. XV Международная научно-практическая конференция: «Актуальные проблемы развития транспортно-промышленного комплекса: инфраструктурный, управленческий и образовательный аспекты» 22-23 ноября, Донецк, 2018 г.; С. 39-44

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

85. Длина, А.Н. Математическая статистика: учебное пособие / А.Н. Длина.– Москва: «Высшая школа», 1975.– с. 398.

86. Вентцель, В.Е. Теория вероятности: учебное пособие / В.Е. Вентцель, Л.А. Овчаров.– Москва: «Наука»,1969.– с.366.– (главная редакция физико-математической литературы).

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

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

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

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

91. Автоматизация расчета параметров перегонной переездной сигнализации. М.Н. Василенко, Т.А. Тележенко, С.И. Валиев. Известия Петербургского университета путей сообщения. ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» №3 - 2010.
92. 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..
93. Показатели скорости как аналитические инструменты для оценки работы железных дорог. Хусаинов Ф.И. Транспорт Российской Федерации. –2017. № 4 (71). С. 19–22
94. БАРАНОВ Л. А., САВОСЬКИН А. Н., ПУДОВИКОВ О. Е. Критерии качества регулирования скорости поезда // Мир Транспорта. - 2009. - №4. - С.50-56.
95. Условия эксплуатации железнодорожных переездов : утв. Министерством транспорта РФ 3.07.2015. №237.
96. 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.
97. 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.
98. Трунаев, А.М. Анализ датчиков вибрации для определения колебаний железнодорожного рельса / А.М. Трунаев, Д.Р Юрченко. Сборник научных трудов Донецкого института железнодорожного транспорта, Выпуск №40, Донецк: ДОНИЖТ,2016г, С. 14-18.
99. Бибииков, С.В. Оценка функциональной безопасности обнаружения виброакустического сигнала приближающегося поезда [Текст]/ С.В Бибииков, Ю.Н. Матвеев, Н.Н. Семенов // Изв. вузов. Приборостроение. – 2014. – №2(57). – С.47–52.

100. Бибиков, С.В. Информационно-адаптивный метод обнаружения и классификации приближения поезда [Текст] / С.В. Бибиков, Ю.Н. Матвеев // Альманах научных работ молодых ученых XLIV научной и учебно-методической конференции Университета ИТМО. Том 1. – СПб: Университет ИТМО. – 2015. – С. 57–59.

101. 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.

102. Новиков, В. Г. Координатная система интервального регулирования движения поездов с расширенными функциональными возможностями локомотивного устройства: автореф. дисс. канд. техн. наук: 05.22.08 [Текст] / В.Г.Новиков// М: МИИТ.- 2011.- 24 с.

103. Дж. Фрайден. Современные датчики. Справочник. Москва: Техносфера, 2005. – 592 с.

104. Шарапов В.М., Мусиенко М.П., Шарапова Е.В. Пьезоэлектрические датчики / Под ред. В.М. Шарапова. Москва: Техносфера, 2006. – 632 с.

105. Джексон Р.Г. Новейшие датчики. Москва: техносфера, 2007.-384с.

106. Лабораторный практикум по микромеханике [Электронный ресурс] / Попов // Инженерный журнал: наука и инновации .— 2013 .— №2 .— Режим доступа: <https://rucont.ru/efd/276101>

107. ГЕОАКУСТИЧЕСКИЙ ПОРТАТИВНЫЙ ПРИБОР НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ УДАРООПАСНОСТИ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД [Электронный ресурс] / Рассказов [и др.] // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых .— 2015 .— №3 .— С. 167-177 .— Режим доступа: <https://rucont.ru/efd/357082>

108. ADUC7020 Precision Analog Microcontroller, 12-Bit Analog I/O, ARM7TDMI<sup>®</sup> MCU – Текст: электронный // Analog devices: [сайт]. - 2018. - URL: <https://www.analog.com/en/products/aduc7020.html#product-overview> (дата обращения: 22.10.2019).

109. ADuC702x Series Серия микроконтроллеров с ядром ARM7TDMI®. <http://www.gaw.ru/pdf/AD/arm/ADuC702xR.pdf>. (дата обращения: 10.11.2019).
110. 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.
111. 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.
112. Денисенко, А.Н. Теоретическая радиотехника. Справочное пособие [Текст] / А.Н. Денисенко // М: Горячая Линия – Телеком. - 2005. - 704 с.
113. Беляев, В.П. Оценка эффективности методов расчета показателей связности в структурном анализе радиоэлектронных комплексов[Текст]/ В.П.Беляев, Б.Ю.Волочий, Л.Д.Озирковский и др.//Межведомственный научно-технич. сб. “Теоретическая электротехника”. - Львов: Изд-во “Світ”.-1998. - Вып. 54. - С.8-14.
114. Трунаев А.М. Координатный способ подачи извещения о приближающемся поезде к переезду по виброакустическому сигналу [Текст] / А.М. Трунаев, С.А. Радковский. V международная научно-практическая конференция «Научно-технические аспекты комплексного развития железнодорожного транспорта» 21-23 мая, Донецк, 2019 г.; С. 26-30
115. Пьявченко О. Н. Организация сбора и обработки аналоговых сигналов в интеллектуальных микропроцессорных модулях // Известия ЮФУ. Технические науки. 2008. №1. - С. 21-25.
116. Беляев А. О. Интеллектуальный датчик виброскорости с аналоговым интегратором и цифровой коррекцией // Известия ЮФУ. Технические науки. 2008. №2. С 130-135.
117. Пьявченко Т.А. Алгоритмы первичной обработки информации// Известия ТРТУ. - 2005. - № 1(45). - С. 46-53.



118. Сапожников, В.В. Надежность систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи: Учебное пособие для вузов ж.д. трансп. [Текст] / В.В. Сапожников // М.: УМК МПС РФ. - 2002.

119. Герус В. Повышение безопасности на железнодорожных переездах на основе совершенствования управления автоматической переездной сигнализацией: диссертация кандидата технических наук: 05.22.08 / Герус Владимир Леонидович – Самара , 2018. – 149с.

120. Буянов, В.А. Автоматизированные информационные системы на железнодорожном транспорте / В.А. Буянов, Г.С. Ратин– Москва: Транспорт, 1984.–С.64-72.

121. Коновальчик, А. Высокопроизводительные вычислительные системы с реконфигурируемой архитектурой, построенной на ПЛИС [Текст] /А. Коновальчик // Современные технологии автоматизации. – 2013. – №3. – С. 70-72.

122. 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.

123. Бибииков, С.В. Дублирование процессов в операционной системе реального времени для повышения надежности системы [Текст] / В.П. Корявцев, С.В. Бибииков // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Выпуск 1. – СПб: Университет ИТМО. – 2014. – С. 53–54.

124. Бестемьянов, П.Ф. Методы повышения безопасности микропроцессорных систем интервального регулирования [Текст] / Петр Филимонович Бестемьянов //Дисс докт. техн. наук: 05.22.08 // 2001. -324 с.

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

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Копии документов о внедрении результатов исследований

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА  
 ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ  
 ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ  
 «ДОНЕЦКАЯ ЖЕЛЕЗНАЯ ДОРОГА»  
 СЛУЖБА СИГНАЛИЗАЦИИ И СВЯЗИ

283001, г. Донецк, ул. Артема, 68

тел. 2-41-78, факс 2-46-75

31.08.2008.

№ 2005/ 1110

Диссертационный совет Д 01.024.04 при  
 ГОУВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
 ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

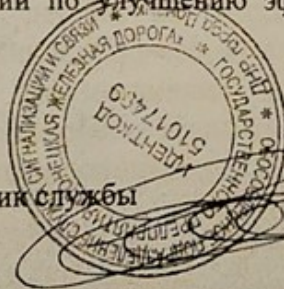
## СПРАВКА

о внедрении результатов исследований диссертационной работы Трунаева Андрея Михайловича на тему: «Совершенствование методов и средств формирования извещения в системах автоматического управления процессом функционирования железнодорожных переездов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям) (технические науки) на ГП «Донецкая железная дорога»

Результаты диссертационных исследований Трунаева А.М., а именно: методы формирования извещения в системах автоматического управления процессом функционирования железнодорожных переездов, внедрены на ГП «Донецкая железная дорога» в виде рекомендаций по улучшению эффективности функционирования железнодорожных переездов.

Начальник службы

Калашников М.Н.





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

От 19.04.2019 № 529/01-2 Диссертационный совет Д 01.024.04 при  
 ГОУВПО «ДОНЕЦКИЙ  
 НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
 УНИВЕРСИТЕТ»  
 На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

### СПРАВКА

о внедрении результатов исследований диссертационной работы Трунаева Андрея Михайловича на тему: «Совершенствование методов и средств формирования извещения в системах автоматического управления процессом функционирования железнодорожных переездов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям) (технические науки) в учебный процесс ГОУВПО «ДОНЕЦКИЙ ИНСТИТУТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА»

Результаты диссертационных исследований Трунаева А.М., а именно: математическая модель определения фактического времени приближения поезда к железнодорожному переезду; алгоритм функционирования модернизированной системы управления заградительными устройствами на основании усовершенствованного метода подачи извещения приближения поезда к переезду; структура технических средств системы автоматического управления железнодорожным переездом, учитывающая местоположение и скорость поезда на участке извещения. Внедрены в учебный процесс при чтении курсов лекций по дисциплинам «Автоматика телемеханика на перегонах», «Микропроцессорные информационные управляющие системы автоматики и телемеханики», для студентов направления подготовки 23.05.05 «Системы обеспечения движения поездов», что отражено в учебных программах вышеуказанных дисциплин.

Ректор, д.т.н., профессор



*М.Н. Чепцов*  
М.Н. Чепцов

Начальник учебного отдела

*Н.В. Селютина*  
Н.В. Селютина

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

*С.А. Радковский*  
С.А. Радковский



Соответствует оригиналу  
 Ученый секретарь Д 01.024.04  
*В. Завадская*  
В. Завадская