

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

*На правах рукописи*

**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)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Донецк – 2020

Работа выполнена в ГООВПО «ДОНЕЦКИЙ ИНСТИТУТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА» Министерства образования и науки Донецкой Народной Республики, г. Донецк

**Научный руководитель:** доктор технических наук, профессор  
**Чепцов Михаил Николаевич,**  
ГООВПО «ДОНИЖТ» (г. Донецк),  
ректор

**Официальные оппоненты: Лобков Николай Иванович**  
доктор технических наук, доцент  
Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела (РАНИМИ) (г. Донецк),  
заведующий отделом управления геомеханическими и технологическими процессами

**Деркачёв Сергей Владимирович**  
кандидат технических наук  
ГОУВПО «ДОННТУ» (г. Донецк),  
доцент кафедры «Электрические станции»

**Ведущая организация: Государственное учреждение «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт по автоматизации горных машин» «Автоматгормаш им. В.А. Антипова» (г. Донецк)**

Защита состоится «16» марта 2021 г. в 12:00 часов на заседании диссертационного совета Д 01.024.04 при ГОУВПО «ДОННТУ» и ГОУВПО «ДОННУ» по адресу: 283001, г. Донецк, ул. Артема, 58, корп. 1, ауд. 203. Тел./факс: 380(62) 304-30-55, e-mail: uchensovet@donntu.org.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУВПО «ДОННТУ» по адресу: 283001, г. Донецк, ул. Артема, 58, корп. 2. Адрес сайта университета: <http://donntu.org>

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 01.024.04  
кандидат технических наук, доцент



Т.В. Завадская

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**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 аварии 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, при закрытом состоянии. 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 позволит 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, учитывающую 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 «Донецкой железной дороге».

#### **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 № 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 конференции «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 аспект», 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.

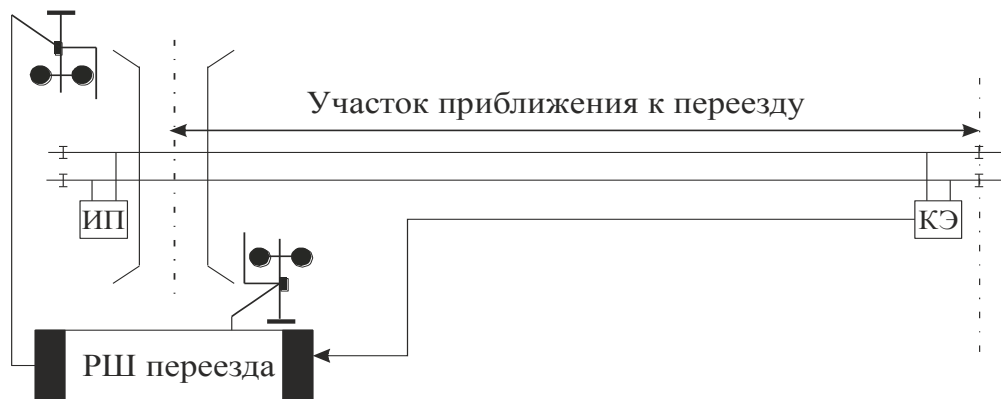
## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первом разделе работы «Анализ методов и средств формирования извещения в системах управления процессом функционирования железнодорожных переездов» проведен анализ систем подачи извещения о приближающемся поезде к железнодорожному переезду, переезд рассмотрен как объект управления, предложен усовершенствованный способ формирования извещения на переезд о приближающемся поезде.

Существующие системы извещения на переезд о приближении поезда можно разделить по способу извещения (Рисунок 1 а, б):

- дискретные (датчик фиксирующий въезд подвижной единицы на участок извещения находится на определенном расстоянии, которое засвистит от максимально разрешенной скорости движения);
- координатные (специальное устройство, находящееся на участке извещения, определяет скорость приближающегося поезда к переезду и вычисляет момент времени включения заградительных устройств).

а)



б)

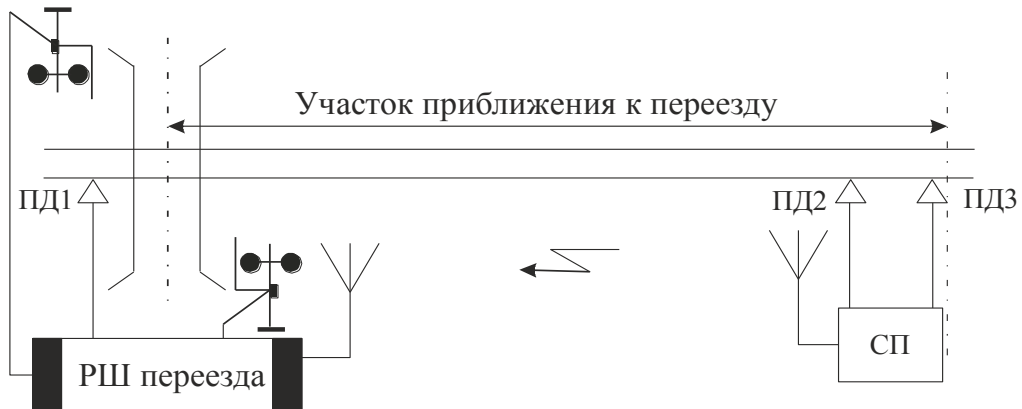


Рисунок 1 – Методы формирования и передачи информации о приближении поезда: а) дискретный; б) координатный.

Функционирование существующих систем формирования извещения на переезд ограничено строго оговоренными условиями. При этом ни одно из них не учитывает возможность управления заградительными устройствами

железнодорожного переезда на основании текущей скорости подвижной единицы на участке приближения. Таким образом, существующие методы и средства формирования извещения не являются универсальными и гибкими.

**Во втором разделе** «Синтез моделей функционирования системы управления железнодорожным переездом», выявлена возможность реализации определения поезда по колебаниям рельсовой линии. Рассмотрены вертикальные колебания рельса как балки на упругом основании под воздействием подвижной динамической силы, которые описываются линейным дифференциальным уравнением.

$$EI_y^0 \frac{\partial^4 z_p^0}{\partial x^4} + N^0 \frac{\partial^2 z_p^0}{\partial x^2} + m_z^0 \frac{\partial^2 z_p^0}{\partial t^2} + f_z^0 \frac{\partial z_p^0}{\partial t} + U_z^0 z_p^0 = 0, \quad (1)$$

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

Рассмотрим динамическую систему (Рисунок 2), на вход которой подается воздействие  $Q(t)$ , а на выходе снимается функция  $Z_p^0(u, t)$ , где  $u$  играет роль параметра.

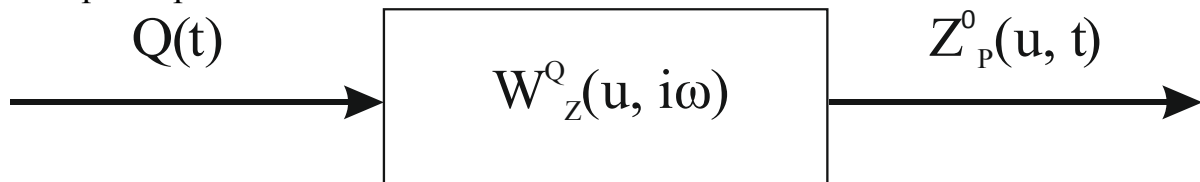


Рисунок 2 – Структурная схема преобразования силы в точке контакта колеса и рельса

Решая уравнение (1) относительно новых переменных, находя производные и выполняя различные преобразования, перейдем к рассмотрению частотной характеристики рассматриваемой системы

$$W_Z^0(u, i\omega) = \sum_{i=1, 3 \text{ при } u \geq 0; i=2, 4 \text{ при } u \leq 0} C_i \exp(riu), \quad (2)$$

Частотная характеристика (2) является исчерпывающей характеристикой динамической системы, изображенной на рисунке 2. Уравнение (2) справедливо везде, кроме точки приложения силы  $Q(t)$ , где терпит разрыв третья производная от вертикального прогиба рельса по координате  $x$ .

Известно, что частотная характеристика системы равна отношению преобразованного по Фурье выходного сигнала как функции времени к преобразованному входному сигналу.

Исходя из сказанного, можно записать.

$$F(z_p^0) = W_z^Q(u, i\omega) * F(Q), \quad (3)$$

где  $F(z_p^0) = \int_{-\infty}^{\infty} z_p^0(u, t) \exp\{-i\omega t\} dt$  выходной сигнал;  
 $F(Q) = \int_{-\infty}^{\infty} Q(t) \exp\{-i\omega t\} dt$  входной сигнал.

Методом частотных характеристик применительно к линейным дифференциальным уравнениям можно получить зависимости круговой частоты для различных расстояний между точками касания и определения параметров. На основании этого разработаем структурно-функциональную модель управления переездом (Рисунок 3). При движении поезда по участку извещения, возникают вынужденные колебания рельсовой линии  $G^П$ , которые обрабатываются моделью виброускорения рельса и вычисляется расстояние до поезда  $L_\Phi(i)$ . Эта информация обрабатывается моделью, которая решает в какой момент времени включить заградительные устройства  $W(i)$ .

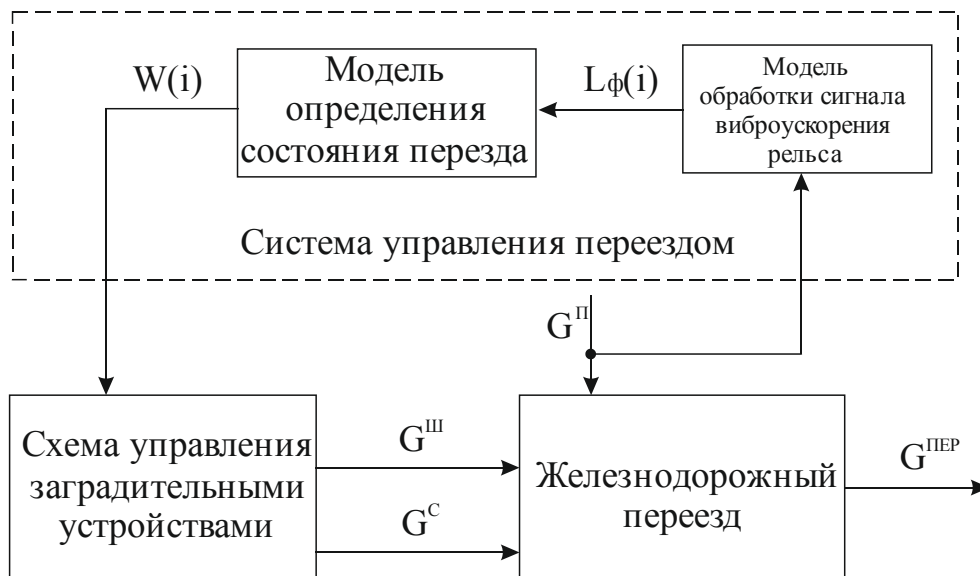


Рисунок 3 – Структурно-функциональная модель управления переездом

Для разработанной структурно-функциональной модели разработан алгоритм управления заградительными устройствами переезда (Рисунок 4). Который, производит расчет минимального времени приближения к переезду.

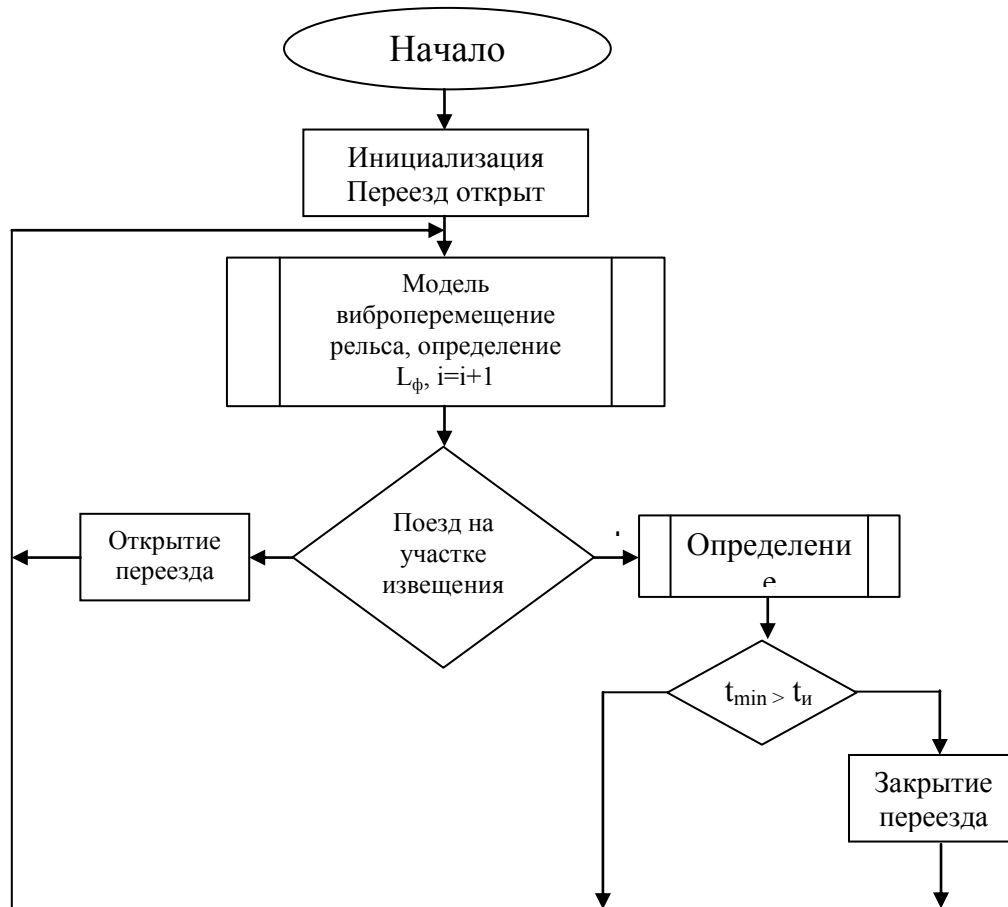


Рисунок 4 – Алгоритм управления заградительными устройствами переезда

Для определения минимального времени приближения к железнодорожному переезду приняты условия, при которых поезд может двигаться с максимальной скоростью и ускорением. Рассмотрим подробнее.

При вступлении поезда на участок извещения  $L_{\text{пр}}$ , определяется фактическое расстояние  $L_{\text{ф}}$  и скорость  $V_{\text{ф}}$  в каждой точке кривой скорости движения поезда (Рисунок 5). Определение минимального времени движения поезда с данной точки до переезда заключается в определении времени равноускоренного движения поезда до скорости, разрешенной по участку плюс равномерное движение на максимальной скорости до ординаты переезда.

В режиме реального времени детектируется акселерометром виброускорение рельсовой линии. Определяются параметры  $L_{\text{ф0}}$ ,  $V_{\text{ф0}}$ ,  $a_{\text{ф}}$  и известны константы  $V_{\text{max}}$ ,  $L_{\text{р}}$ . Как только, поезд въезжает на участок извещения  $L_{\text{р}} < L_{\text{ф0}}$ , определяются фактическое время приближения поезда к переезду, при максимально допустимых параметрах движения и минимальном времени приближения к переезду.

На основании данных разработана модель определения минимального времени приближения к переезду на основании текущего расстояния и скорости.



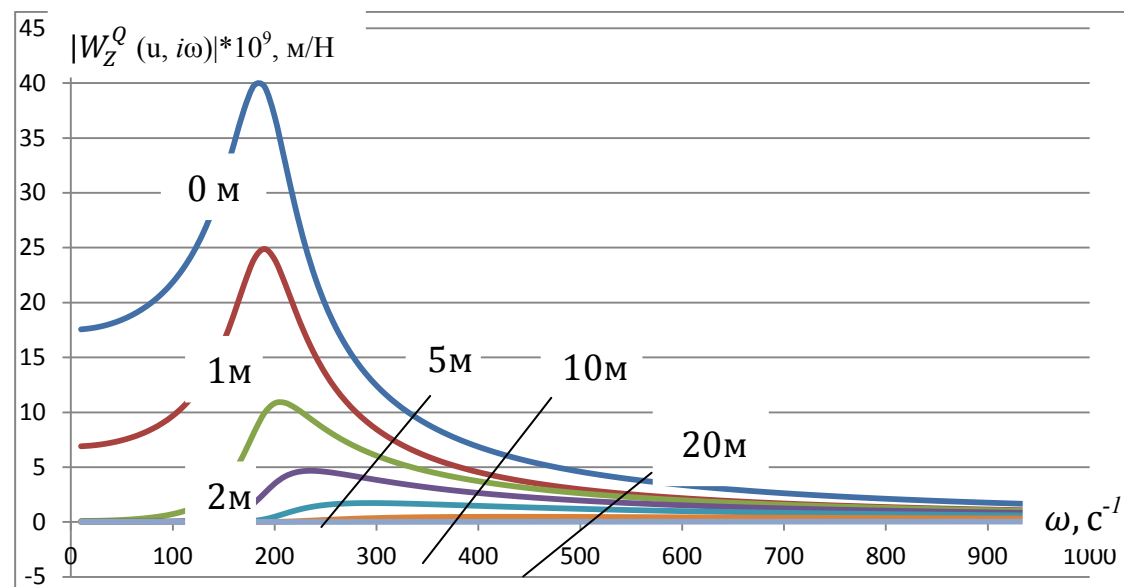


Рисунок 6 – Амплитудно-частотные характеристики  $W_Z^Q(u, i\omega)$  для различных расстояний (от 0м, до 20м) между точками касания и определения параметров при скорости 10 км/ч

В результате экспериментальных исследований была получена импульсная характеристика рельсовой линии. Результаты измерения виброускорения были записаны в виде файлов с расширением «\*.wav» программным обеспечением Adobe Audition.

Используя алгоритмы дискретного преобразования Фурье, были получены амплитудно-частотные характеристики всех отфильтрованных сигналов (Рисунок 7).

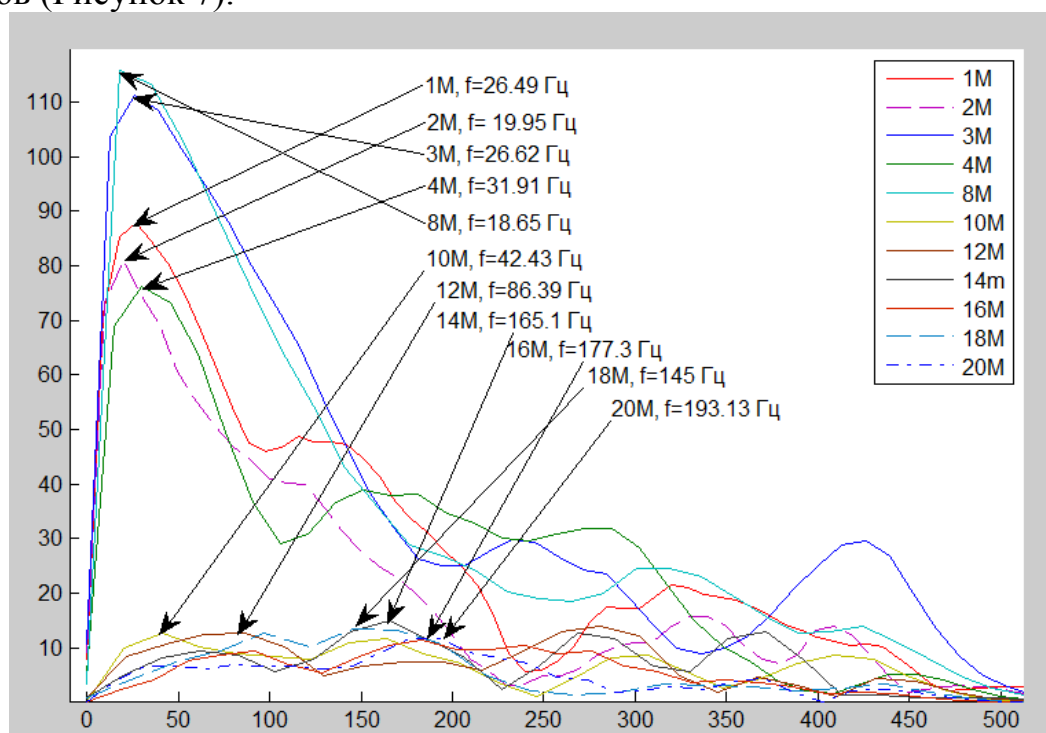


Рисунок 7 – Графики частотных характеристик при различных расстояниях

Анализ полученных данных показал некую 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 для различных расстояний.

Для оценки адекватности полученной зависимости воспользуемся критерием Фишера.

Пусть имеются две независимые выборки: теоретическая  $x_1, \dots, x_{n1}$  и экспериментальная  $y_1, \dots, y_{n2}$  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 8).

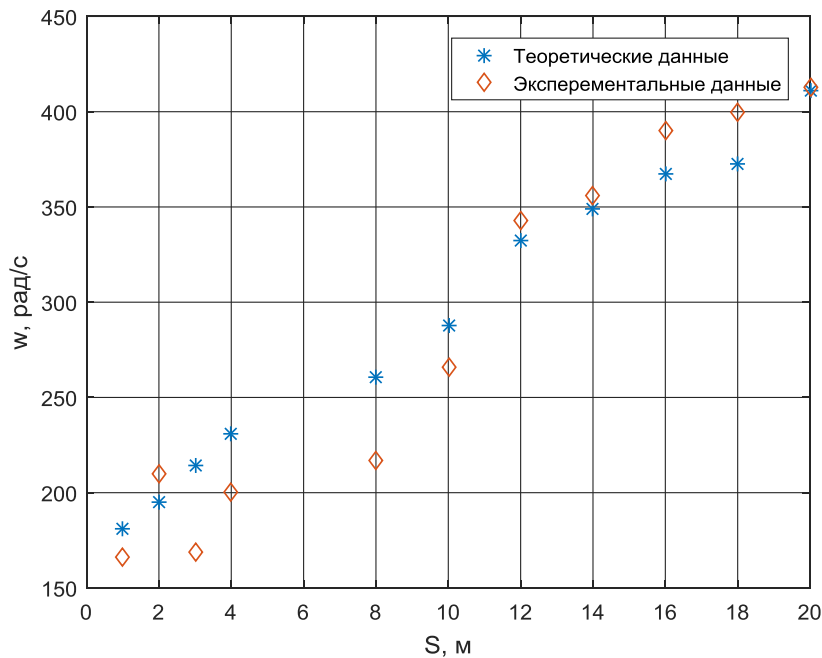


Рисунок 8 – Теоретические и экспериментальные данные зависимости пиковой частоты в АЧХ сигнала виброускорения от расстояния до точки приложения силы

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.

Исходными данными для задачи идентификации являются конечный ряд значений входной величины объекта управления  $x_i$  (расстояние до подвижной единицы) и соответствующие значения выходных переменных  $y_j$  (пиковая круговая частота сигнала виброускорения рельса) (Рисунок 9).

В результате получены значения коэффициентов уравнения

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

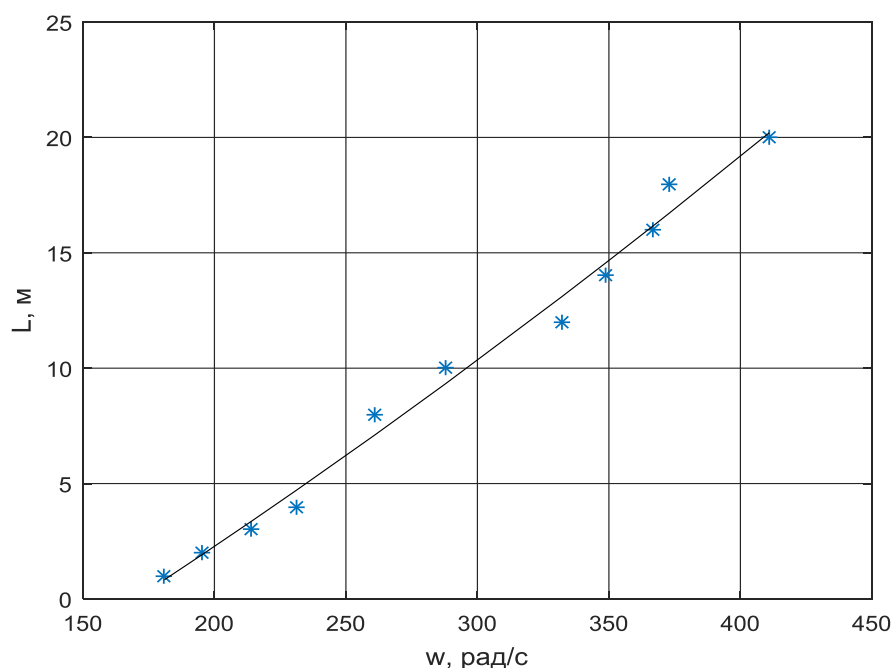


Рисунок 9 – Статическая характеристика расстояния к круговой частоте

Проведено моделирование предложенной системы автоматического управления на основании реальных данных. Получены граничные значения скоростей и расстояний, при которых поезд доедет до переезда за время равное времени закрытия заградительных устройств (Рисунок 10)

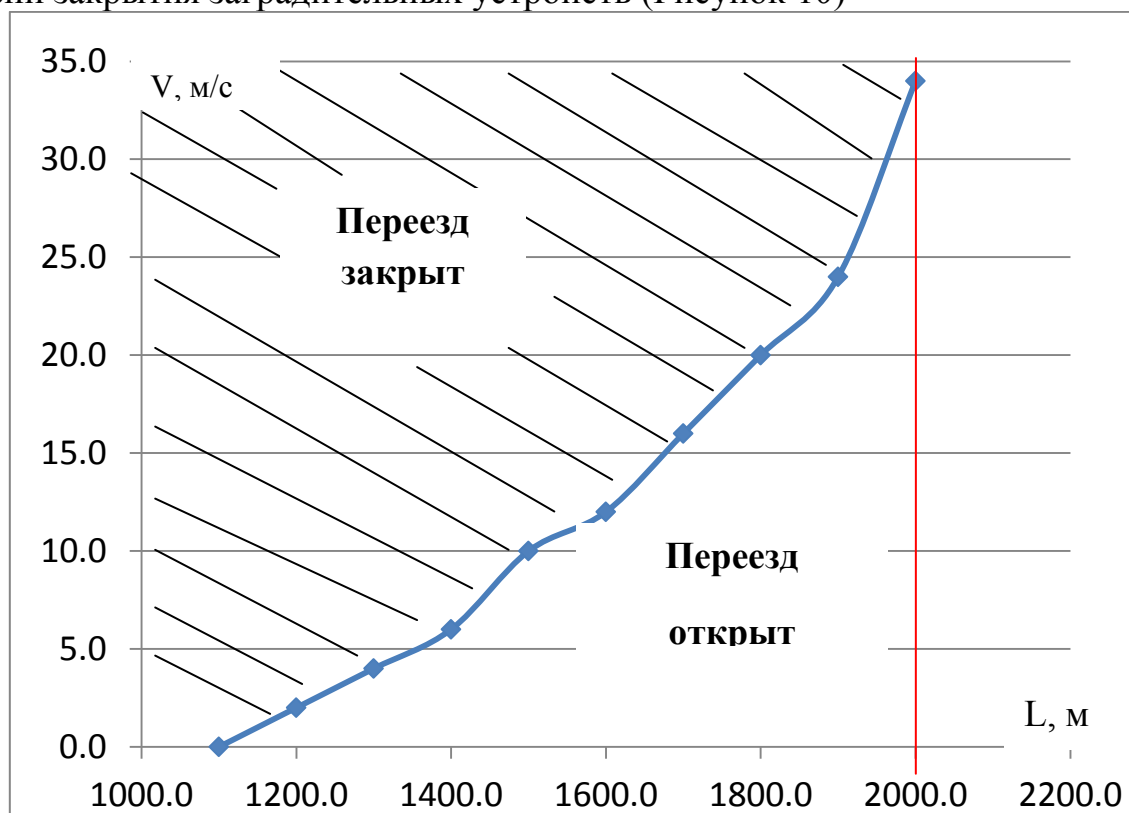


Рисунок 10 – График граничных значений скоростей от расстояний при  $t_{\text{и}} = \text{const}$ , для предлагаемой модели извещения

Анализируя граничные значения скоростей и расстояний 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.

Для сравнения полученных данных произведен расчет времени закрытия переезда расчет при существующих системах извещения при тех же входных параметрах.

Из этого следует, что предложенная система извещения о приближении поезда к переезду является более гибкой и актуальной.

По динамике известных значений технической скорости железнодорожного транспорта определено, что средняя скорость по России на сегодняшний день составляет 47 Км/ч.

При такой скорости движения простой автотранспорта сократится в среднем в 2-5 раз.

**В четвертой главе** «Структура технической реализации автоматического управления железнодорожным переездом» была предложена структура технических средств системы и ее подключения к системе управления заградительным устройствами (Рисунок 11).

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, в которой получено решение важной научно-технической задачи совершенствования методов и средств формирования извещения в системе автоматического управления процессом функционирования железнодорожных переездов с учетом текущей скорости и местоположения поезда, 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.

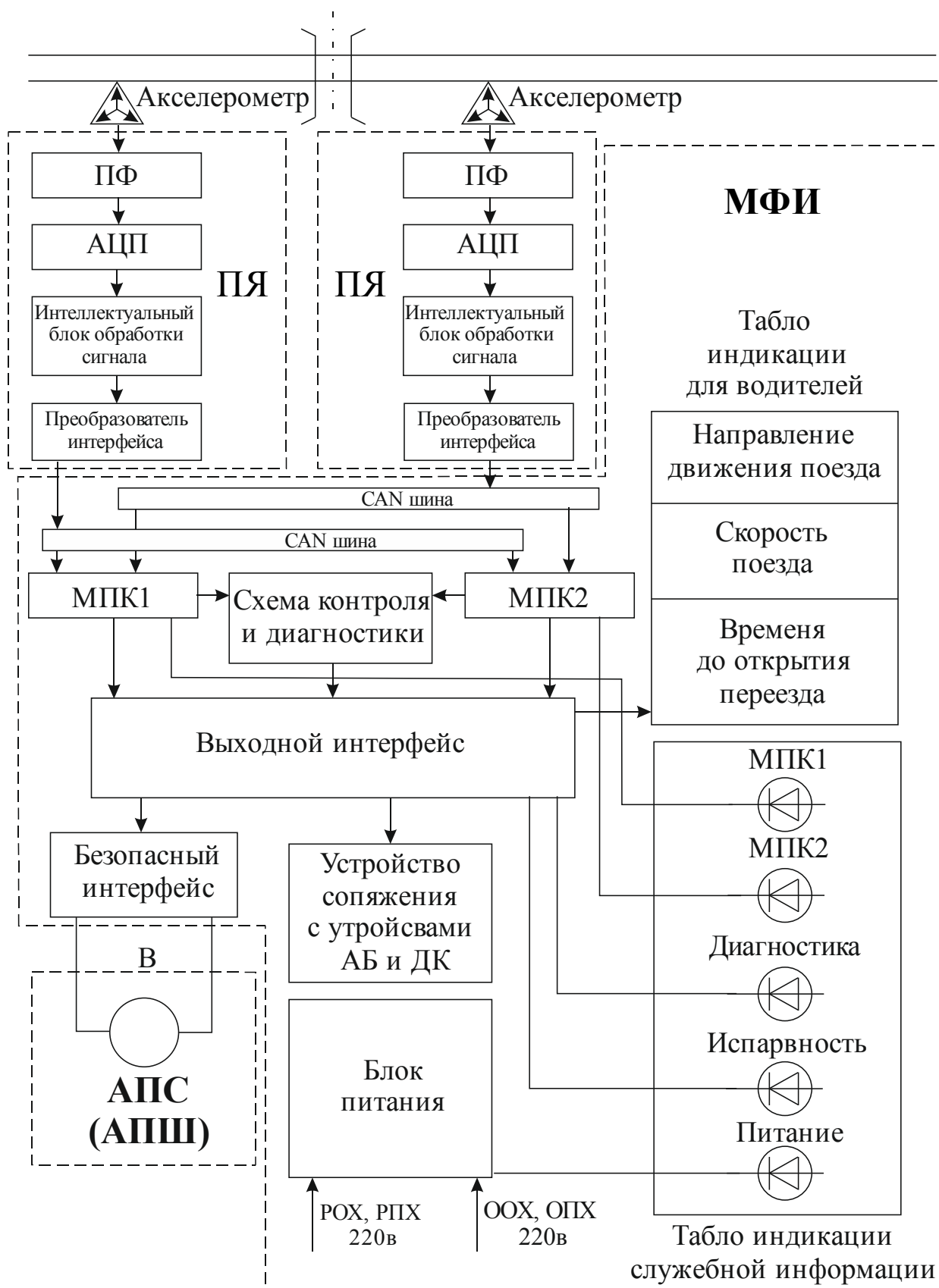


Рисунок 11 – Структурная схема включения заградительных устройств модернизированной системы

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 раза, 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 ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССРЕТАЦИИ**

### **- в рецензируемых научных изданиях ВАК ДНР:**

1. **Трунаев, А.М.** Моделирование колебаний железнодорожного рельса при воздействии на него подвижной вертикальной динамической нагрузки / **А.М. Трунаев, С.А. Радковский, В.Д. Пойманов** // Сборник научных трудов Донецкого института железнодорожного транспорта. Донецк, ДОНИЖТ, – 2016. – №43. – С. 4-9.

2. **Трунаев, А.М.** Исследование отклика рельсовой линии на единичное импульсное воздействие. [Текст]/ **А.М. Трунаев, С.А. Радковский.** Сборник

научных трудов Донецкого института железнодорожного транспорта., Донецк: ДОНИЖТ, 2017 г., №47. – С. 10-17.

3. **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. – №4(18). – С. 22-28.

**- в рецензируемых научных изданиях ВАК Украины:**

4. **Трунаев, А.М.** Путевой вибрационный датчик контроля наличия и определения параметров подвижных единиц [Текст]/ **А.М. Трунаев**, С.А. Радковский, М.Н.Чепцов, А.Б. Бойник. Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту. Донецьк, ДОНИЖТ, 2012. – № 32. – С. 73-78.

**- в других изданиях**

5. **Трунаев, А.М.** Анализ датчиков вибрации для определения колебаний железнодорожного рельса / **А.М. Трунаев**, Д.Р. Юрченко. Сборник научных трудов Донецкого института железнодорожного транспорта. – Донецк: ДОНИЖТ, 2016. – №40. – С. 14-18.

6. **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 Международный научно-практической конференции. Днепропетровск, ДУЖТ, 2012. – С. 75-76.

7. **Трунаев, А.М.** Определение наличия подвижного состава на элементах путевого развития [Текст]/ **А.М. Трунаев**, М.Н. Чепцов, С.А. Радковский. Международная научно-техническая конференция «Перспективные компьютерные управляющие телекоммуникационные системы для железнодорожного транспорта Украины». Алушта, 2012. – С. 100.

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

9. **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». Алушта, 2013. – С. 73.

10. **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, 2015. – С. 155-157.

11. **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». Гомель, 2015. – С. 67-69.

12. **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, 2016. – С. 68-70.

13. **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», 25 мая. Донецк, 2017. – С. 168-169.

14. **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, 2017. – С. 37-40.

15. **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». Ростов н/Д, Рост. гос. ун-т. путей сообщения, 2018. – С. 193-196.

16. **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. – С. 39-44.

17. **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. – С. 26-30.

18. **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. – С. 35-37.

**Личный вклад соискателя в публикациях:** [4, 6, 7, 8, 9] установлено, что процесс движения поезда сопровождается виброускорением рельсовой линии; [1, 10, 12] – моделирование колебаний железнодорожного рельса; [2, 14, 15] – исследование отклика рельсовой линии на единичное импульсное воздействие; [3,18] - синтез математической модели управления процессом функционирования железнодорожных переездов; [16, 17] – разработка структурной схемы и алгоритма управления.

## **АННОТАЦИЯ**

**Трунаев А. М. Совершенствование методов и средств формирования извещения в системах автоматического управления процессом функционирования железнодорожных переездов. – Рукопись.**

Диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям) (технические науки) – ГОУВПО «ДОННТУ», Донецк, 2020 г.

В диссертации решена актуальная научно-техническая задача, заключающаяся в совершенствовании методов и средств формирования извещения в системе автоматического управления процессом функционирования железнодорожных переездов с учетом текущей скорости и местоположения поезда, обеспечивающая уменьшение время простоя автотранспорта.

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

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.

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

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

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

**Ключевые слова:** процесс, управление, виброускорение, математическая модель, железнодорожный переезд.

## ANNOTATION

**Trunaev A. M. Improvement of methods and means of forming a notice in automatic control systems for the process of functioning of level crossings. - The manuscript.**

Theses for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.13.06 - Automation and control of technological processes and production (by industry) (technical sciences) – DONNTU, Donetsk, 2020.

The dissertation has been solved by an urgent scientific and technical problem, which consists in improving methods and means of generating a notice in the automatic control system for the process of functioning of level crossings, taking into account the current speed and location of the train, which ensures a decrease in the downtime of vehicles.

It is established that the process of train movement is accompanied by vibration acceleration of the rail line, from the analysis of which it is possible to determine the motion parameters of the moving unit.

The dynamic model of vertical vibrations of a rail as a beam on an elastic Fuss-Winkler base under the action of a movable dynamic force was further developed, reflecting the relationship of the variable load to the vibrations of the rail section, allowing to determine the distance to the rolling stock.

A control model for the crossing barrage devices has been developed, which takes into account the coordinate and speed of the train in the notification section, based on vibration acceleration of the rail line.

An algorithm has been developed for controlling barrage devices of a railway crossing, which includes a mathematical model for determining the physical characteristics of train movement in real time.

A structure has been developed for the technical implementation of the modified automatic railway crossing control system, taking into account the coordinate of the train at the notification section, based on modern means of industrial automation.

**Key words:** process, control, vibration acceleration, mathematical model, railroad crossing.

---

Подписано в печать 11.01.2021. Формат 60×84 1/16.  
Усл.печ.л. 1,0. Печать лазерная. Бумага 80г./м2.  
Тираж 100 экз. Заказ № 308.

---

Отпечатано в ФЛП Новаковская Л.П.  
г. Донецк, ул. Университетская, 34.  
тел.: (062) 334-0-100.  
Свидетельство о регистрации ДНР серия АА01 № 18023  
от 27 октября 2014 г.