

На правах рукописи



ГРИШАЕВ СЕРГЕЙ ЮРЬЕВИЧ

**УПРАВЛЕНИЕ ПЕРЕЕЗДНОЙ СИГНАЛИЗАЦИЕЙ ПО
ХАРАКТЕРИСТИКАМ ПРИБЛИЖАЮЩЕГОСЯ ПОЕЗДА**

2.9.4 – Управление процессами перевозок (технические науки)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Екатеринбург 2021

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВПО УрГУПС).

Научный руководитель: кандидат технических наук
ПОПОВ Антон Николаевич

Официальные оппоненты:

НИКИТИН Александр Борисович, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», кафедра «Автоматика и телемеханика на железных дорогах», заведующий кафедрой.

ЩИГОЛЕВ Сергей Александрович, кандидат технических наук, общество с ограниченной ответственностью «УРАЛЖЕЛДОР АВТОМАТИЗАЦИЯ», председатель совета директоров – директор по научной работе.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения».

Защита состоится «01» октября 2021 г. в 14:00 час. на заседании диссертационного совета 44.2.008.01 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» по адресу: 620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66, аудитория Б2-15 – зал диссертационных советов.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» по адресу: <http://www.usurt.ru>

Автореферат разослан «___» _____ 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Тимухина Елена Николаевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Интерес к проблеме разграничения потоков автомобильного и железнодорожного транспорта на переездах определяется, повышенным риском транспортных происшествий, а также необходимостью сокращения времени ожидания открытия переезда для автомобильного транспорта при проследовании поездов и связанных с этим потерями. С течением времени острота проблемы только нарастает из-за повышения уровня автомобилизации и роста интенсивности и скоростей движения, длины поездов. Наиболее эффективное средство решения проблемы разграничения транспортных потоков на переездах – их разделение на разных уровнях за счет строительства эстакад. Существенным недостатком, не позволяющим полностью решить проблему в приемлемые сроки, являются высокие капитальные затраты на строительство. Поэтому для большинства переездов, расположенных в одном уровне, основным средством управления транспортными потоками остается автоматическая переездная сигнализация (АПС), принципы действия которой остались практически без изменений с середины прошлого века, а условия ее работы существенно ухудшились. Поэтому, в случае высокой загрузки переезда, АПС дополняется устройствами ограждения (УЗО) и обслуживается дежурным работником, главной обязанностью которого является обеспечение безопасного движения поездов и автомобильного транспорта на переезде. Дежурный должен контролировать исправное открытие и закрытие переезда, подавать установленные сигналы, наблюдать за состоянием проходящих поездов и в случае обнаружения неисправностей, угрожающих безопасности движения, принимать меры к их остановке.

На магистральных железнодорожных линиях РФ эксплуатируется более 10 тысяч пересечений с автомобильными дорогами, расположенные в одном уровне, из них более 6 тыс. оборудованы АПС, около 2 тыс. обслуживаются дежурными работниками. Поэтому исследование, направленное на совершенствование методов управления АПС является актуальным.

Степень разработанности темы. Значительный вклад в разработку теории и развитие практики управления железнодорожными переездами внесли: И. Д. Долгий, А. Б. Никитин, Е. Н. Розенберг, Е. И. Годяев, Е. М. Тарасов, В. Л. Герус, Б. С. Сергеев, И. Г. Тильк, С. А. Щиголев и другие.

В опубликованных исследованиях, в основном, рассматриваются вопросы анализа причин происшествий на переездах, оценки уровня безопасности движения, выбора типа устанавливаемых ограждающих устройств, замены рельсовых цепей участков приближения и удаления на счетчики осей, повышения пропускной способности автомобильных дорог

за счет управления закрытием переезда в зависимости от фактической скорости движения приближающегося поезда. При этом практически не проработаны вопросы предотвращения столкновений при вынужденной остановке автотранспорта в зоне габарита поезда на переезде.

Область исследования системы автоматики и телемеханики, предназначенные для управления перевозочным процессом, методы их построения и испытания.

Объектом исследования являются устройства обеспечения безопасности перевозок, а именно устройства обеспечения безопасности на железнодорожных переездах.

Предмет исследования – методы и алгоритмы управления устройствами закрытия переезда и переездной сигнализацией.

Целью исследования снижение вероятности столкновений на железнодорожных переездах при занятости переезда автотранспортом и сокращение времени его закрытого состояния.

Для достижения цели следует решить следующие **задачи**:

- разработать модель взаимодействия поезд-автомобиль-переезд и исследовать соотношение между длиной участков извещения переездной сигнализации и длиной тормозных путей поездов;
- разработать методы и алгоритмы управления переездной сигнализацией, позволяющие минимизировать время закрытия переезда при обеспечении безопасности движения;
- разработать технические решения по управлению устройствами закрытия переезда и переездной сигнализацией, обеспечивающие минимальное время закрытия переезда;
- оценить эффективность предлагаемых решений.

Научную новизну работы составляют:

- модель взаимодействия поезда и автомобиля на переезде и метод оценки вероятности столкновения с поездом при вынужденной остановке автотранспорта на переезде;
- методика и алгоритмы управления автоматикой технических средств переезда на основе характеристик тормозных средств приближающегося поезда, что позволяет снизить вероятность столкновения на переезде и уменьшить время простоя автомобильного транспорта перед закрытым переездом;
- понятие «оптимальное время извещения», понимаемое как время, обеспечивающее заданную вероятность безаварийного проследования при минимальном времени перекрытия переезда для автотранспорта;
- метод оценки эффективности АПС по данным с бортовых комплексов.

Теоретическая и практическая значимость полученных результатов:

- численные оценки вероятности столкновения с поездом при вынужденной остановке автотранспорта на переезде;
- обоснованные решения по управлению переездной сигнализацией на основе характеристик приближающегося поезда;
- структура системы управления переездом на основе предложенных методов и алгоритмов, позволяющая остановить поезд применением торможения в случае, если автомобильный транспорт не смог освободить перекрытую зону переезда;
- численная оценка эффективности предложенной системы по разработанному методу.

Методология и методы исследования: в работе использованы методы теории вероятностей и математической статистики, теории тяговых расчетов, расчетов тормозного пути поезда, методы теории функций алгебры логики, расчетно-аналитические методы математического анализа.

Выносимые на защиту положения:

- метод и численные значения оценки вероятности столкновений на железнодорожном переезде при поломке автотранспортного средства на нем;
- методика и алгоритмы управления автоматикой технических средств переезда на основе характеристик тормозных средств приближающегося поезда;
- введение понятия «оптимальное время извещения», как времени, обеспечивающего заданную вероятность безаварийного проследования при минимальном времени перекрытия переезда для автотранспорта;
- метод и численные оценки эффективности АПС по данным с бортовых комплексов.

Достоверность результатов исследования подтверждена использованием в расчетах экспериментальных данных, полученных от бортовых локомотивных комплексов из автоматизированной системы АСУТ-НБД2, сравнением полученных автором результатов с результатами известных работ, обоснованным применением апробированных теорий и методов исследований известных математических методов и обоснованностью принятых решений.

Апробация работы. Основные положения и полученные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на научных конференциях, научно-технических советах: Всероссийская научно-практическая конференция: Актуальные вопросы развития железнодорожного транспорта: г. Москва (ОАО «ВНИИЖТ», 2019); Всероссийская научно-техническая конференция «Транспорт Урала» г. Екатеринбург (ФГБОУ ВО УрГУПС, 2019, 2020). Работа в целом докладывалась на заседаниях кафедр: «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» г. Санкт-Петербург (ФБОУ ВО ПГУПС, 2020); «Автоматика, телемеханика и

связь на железнодорожном транспорте» г. Иркутск (ФГБОУ ВО ИрГУПС, 2020); «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» г. Екатеринбург (ФГБОУ ВО УрГУПС, 2020).

Публикации. Основные положения диссертации отражены в 11 публикациях, в том числе 6 – в журналах, рекомендованных ВАК. Получено 5 патентов (3 патента на полезную модель и два патента на изобретения).

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы. Содержание изложено на 105 машинописных страницах, в том числе включает 6 таблиц и 34 рисунка. Список литературы включает 100 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается выбор темы и актуальность исследования. Обозначены объект, предмет, цель, и задачи исследования. Сформулирована научная новизна исследования, практическая и теоретическая значимость, приведены положения, выносимые на защиту, применяемая методология и методы, достоверность исследования. Приводятся сведения об апробации работы и публикациях.

В первой главе выполнен анализ происшествий на переездах, а также принципов и технических средств управления автоматической переездной сигнализацией и обеспечения безопасности.

Снижение общего количества происшествий на переездах в предыдущие годы происходило за счет их ликвидации и устройства пересечений дорог в разных уровнях. В настоящее время темпы ликвидации переездов снизились (а некоторые переезды, возможно, не будут закрыты никогда). Число аварий и тяжесть их последствий, приходящихся на один переезд, осталось практически неизменным. При сохранении тенденций сокращения числа переездов и расширения сетей железных и автомобильных дорог следует ожидать повышения нагрузки на эксплуатируемые переезды, что может привести к увеличению числа аварий на переездах.

Безопасность движения на переездах определяется количеством аварий, эффективность переездной сигнализации – временем простоя автотранспорта перед закрытым переездом. Безопасность движения и время закрытия переезда зависят от разницы между расчетным и фактическим временем прохождения поездом расстояния до переезда после его закрытия. При уменьшении фактического времени ниже расчетного не обеспечивается безопасность, при увеличении фактического времени – увеличивается и общее время закрытия переезда. Наблюдается противоречие: в существующих системах переездной сигнализации обеспечение безопасности движения на переезде, приводит к увеличению времени простоя автотранс-

порта перед закрытым переездом, что снижает пропускную способность автодорог. Поэтому требуется определить оптимальное время закрытия переезда, создать методы и найти технические решения, реализующие закрытие переезда за оптимальное время до прохода поезда и его открытие сразу после проследования поезда.

В имеющихся по теме исследования работах под понятием оптимальное время извещения понимается время, необходимое находящемуся на переезде автотранспорту после включения переездной сигнализации, чтобы успеть его покинуть до приближения поезда. Однако наблюдаются случаи столкновения поездов, которые не удается остановить экстренным торможением, с автотранспортом, вынуждено остановившимся на закрытом переезде. Это требует исследования соотношений между длиной участков извещения переездной сигнализации и тормозных путей поездов и уточнения понятия оптимальное время закрытия переезда.

Во второй главе предложена модель взаимодействия поезд-автомобиль-переезд, исследованы соотношения между длиной участков извещения переездной сигнализации и тормозных путей поездов, предложен метод и выполнена численная оценка вероятности столкновения на переезде при вынужденной остановке автотранспорта. Предложен метод вычисления длины участка извещения по характеристикам приближающегося поезда и алгоритм управления закрытием переезда.

Для описания взаимодействий на переезде используется три функции:

$X(t)$ – функция изменения координаты поезда во времени;

$Y(t)$ – функция изменения координаты автомобиля во времени;

$Z(t)$ – дискретная функция работы переезда.

Уравнение, описывающее функцию изменения координаты поезда во времени:

$$X(t) = \int_{t_0}^t \left(\int_{t_0}^{\tau} r(t) dt \right) d\tau, \quad (1)$$

где: $t_0 \leq \tau \leq t$, $r(t)$ – удельная равнодействующая сила, управляющая движением поезда.

Интегрирование (1) позволяет перейти к известному уравнению движения поезда:

$$\frac{d^2 X}{dt^2} = \frac{1}{(1 + \gamma)} [f_T - w(v) - w(i) - \vartheta_p \varphi_{кр}(v)], \quad (2)$$

где γ – коэффициент инерции вращающихся масс; f_T – удельная сила тяги локомотива; $\varphi_{кр}(v)$ – расчетный коэффициент трения тормозной колодки о бандаж; ϑ_p – расчетный

тормозной коэффициент; $w(v)$ – удельная основная сила сопротивления движению; $w(i)$ – удельная сила сопротивления движению от уклонов и кривых.

Уравнение движения поезда может быть решено интегрированием по интервалам скорости, либо по интервалам времени.

Функция изменения координаты одиночного автомобиля во времени $Y(t)$ может быть записана аналогично:

$$Y(t) = \int_{t_0}^{t_1} \left(\int_{t_0}^{\tau_1} r_a(t) dt \right) d\tau, \quad (3)$$

где: $t_0 \leq \tau_1 \leq t_1$, r_a – равнодействующая сил управляющих движением автомобиля.

Задержка автотранспорта из-за перекрытия переезда для проследования поезда определяется как снижение средней скорости транспортного потока по сравнению со средней скоростью свободного движения на данном участке дороги:

$$T_i = \int_{l_1}^{l_2} \left(\frac{1}{v_{AM}^{cp}(l)} - \frac{1}{v_{AM}^F(l)} \right) dl, \quad (4)$$

где dl – элементарный участок дороги; v_{AM}^F – скорость транспортного потока свободного движения; v_{AM}^{cp} – средняя скорость движения из-за перекрытий переезда.

Опишем работу автоматической переездной сигнализации дискретной функцией по времени. Переезд начинает закрываться при вступлении поезда на участок извещения $L_{изв}$ в координате S_0 и открывается после проследования поезда длиной $L_{п}$ через переезд:

$$Z(t) = \begin{cases} 0, X(t) \notin (S_0; S_0 + L_{изв} + L_{п}), \\ 1, X(t) \in [S_0; S_0 + L_{изв} + L_{п}]. \end{cases} \quad (5)$$

Предложенная модель позволяет исследовать соотношения между длиной участков извещения и переездной сигнализации и тормозных путей поездов, оценить вероятность столкновения при вынужденной остановке автомобиля на переезде, определить эффективность технических решений переездной сигнализации.

Взаимодействие поезда и автомобилей на переезде показано графически на рисунке 1.

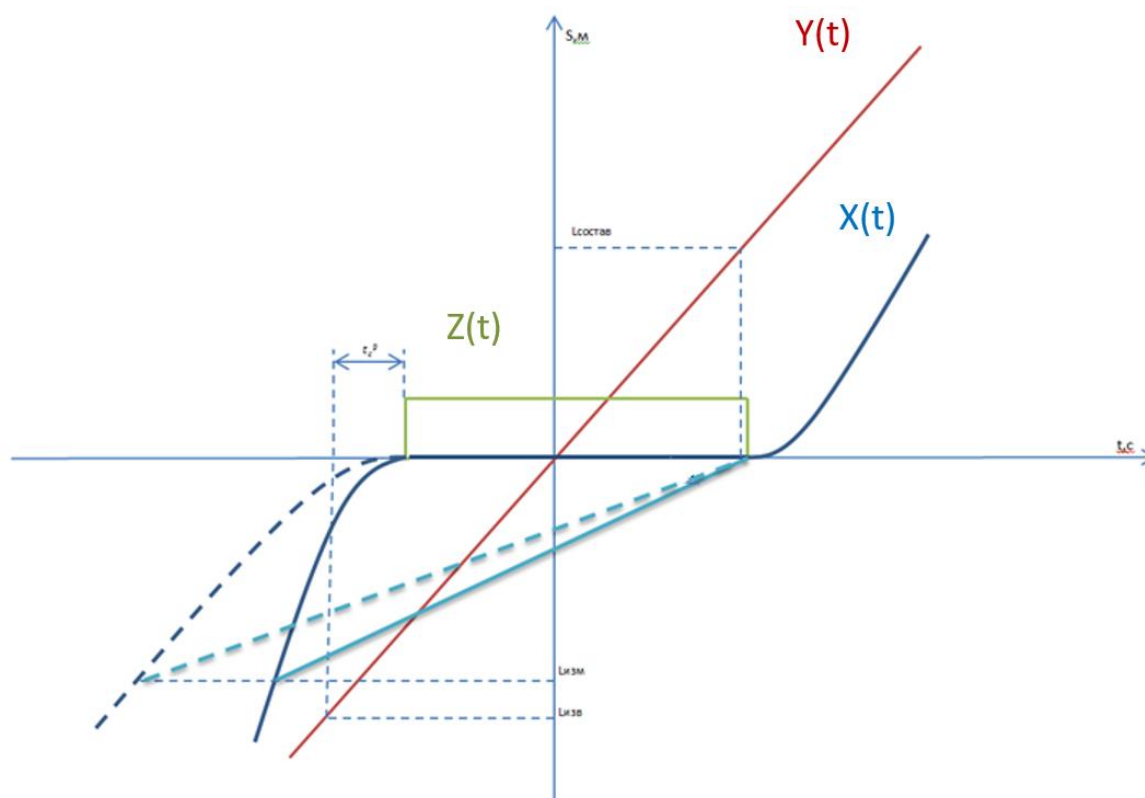


Рисунок 1 – Взаимодействие поезда и автомобилей на переезде

Анализ применяемой методики расчета участков извещения показывает, что их длина зависит от максимальной скорости движения поездов по переезду и ширины (количества железнодорожных путей, через которые проходит автомобильная дорога) самого переезда, а характеристики поезда и длина его пути торможения не учитывается.

Сформулируем условие, при котором поезд сможет остановиться перед автотранспортом, задержавшемся на переезде после его закрытия:

$$0,278v_0t_{п} + \sum \frac{500(v_{н}^2 - v_{к}^2)}{\zeta[w_{ох} + w_c + 1000\vartheta_p\varphi_{кр}]} \leq \frac{v_{max} \cdot (t_c^p - t_{зам})}{3,6}, \quad (6)$$

где: $t_{зам} = 15$ с – замедление на срабатывание устройств АПС; v_{max} – максимальная скорость движения поездов на участке, где расположен переезд; t_c^p – расчетное время извещения, 3,6 и 0,278 – коэффициент перевода км/ч в м/с.

Все величины, входящие в выражение для определения тормозного пути, являются функциями скорости поезда, кроме дополнительного удельного сопротивления движению от спрямленного профиля и плана w_c и тормозного коэффициента ϑ_p .

Неравенство (6) решается графически с использованием номограмм тормозных путей. Для грузовых поездов решение показано на рисунке 2.

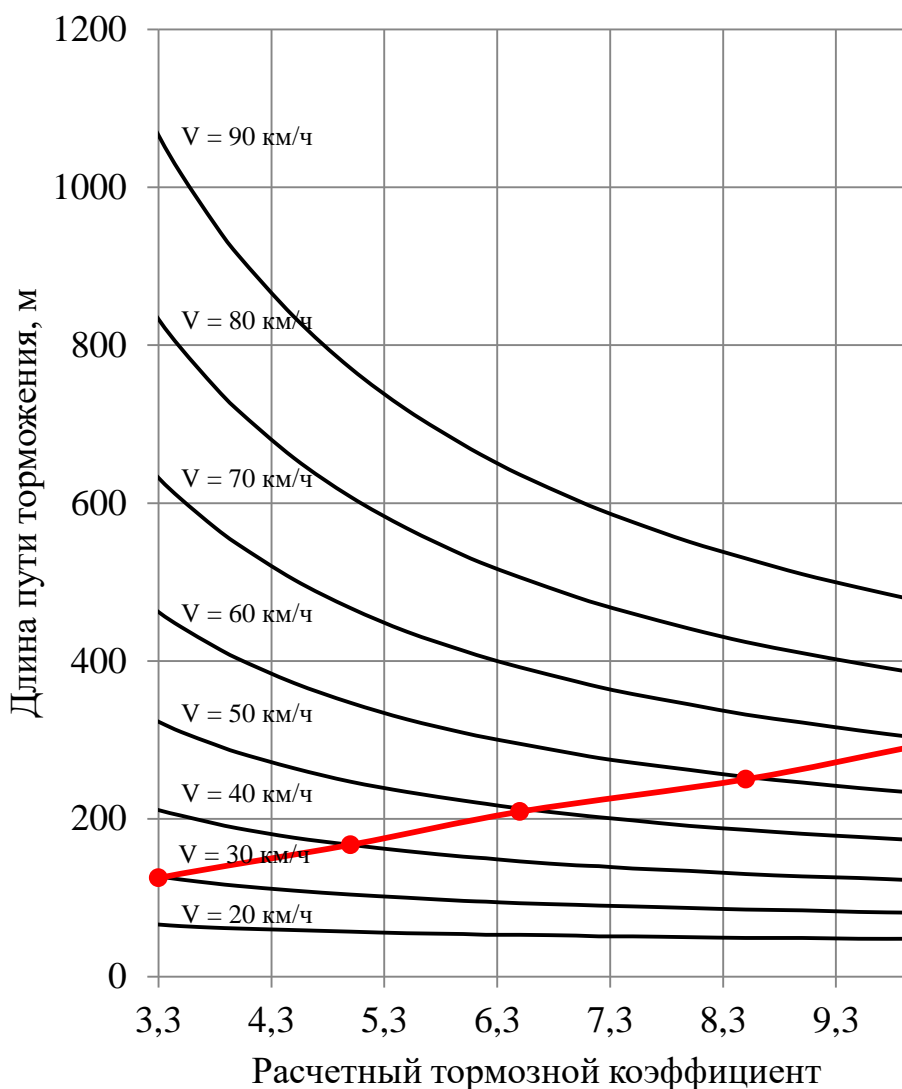


Рисунок 2 – Графическое решение неравенства для грузовых поездов

Остановка грузовых поездов перед переездом после его закрытия гарантируется только для скоростей движения не более 30 км/ч, остановка пассажирских поездов – не более 60 км/ч для всех допустимых значений тормозного коэффициента. Ситуация, когда поезд после закрытия переезда не сможет остановиться в случае необходимости, вполне вероятна. Существующий метод расчета участков извещения переездной сигнализации не обеспечивают возможности остановки поезда торможением перед переездом после его закрытия в случае необходимости.

Гарантированную остановку поезда перед переездом можно обеспечить за счет:

- увеличения длины участков извещения;
- снижения скорости движения поездов при проследовании переезда;
- совершенствования средств торможения поезда;

– управления переездной сигнализацией по характеристикам приближающегося поезда.

В диссертационном исследовании разработана система управления переездной сигнализацией по характеристикам приближающегося поезда, что позволит разрешить выявленное противоречие, одновременно снизив вероятность столкновений и время закрытия переезда для автотранспорта. Время извещения имеет минимальное значение такое, что его дальнейшее уменьшение не обеспечит требуемого уровня безопасности на переезде.

В имеющихся по теме исследования работах под понятием оптимальное время извещения (закрытия переезда) понимается время, необходимое находящемуся на переезде автотранспорту после включения переездной сигнализации, чтобы успеть его покинуть до приближения поезда.

По результатам проведенного исследования предлагается уточнить понятие оптимального времени извещения переездной сигнализации и понимать под ним время, обеспечивающее заданную вероятность безаварийного проследования при минимальном времени перекрытия переезда для автотранспорта, т.е. минимальное время для проследования поездом с текущей скоростью расстояния, достаточного для полной остановки поезда перед переездом путем торможения. Оптимальное время извещения обеспечивается при равенстве тормозного пути поезда и длины участка извещения.

В случае вынужденной остановки на переезде автотранспортного средства тормозной путь поезда можно рассматривать, как случайную величину S_T с плотностью распределения $f(s_T)$, которая зависит от параметров самого поезда. Получить значения тормозных путей поезда на каждом переезде экспериментальным путем не представляется возможным. Поэтому предлагается определить тормозные пути по известной модели торможения поезда, подставляя в нее значения экспериментально измеренных параметров движения поезда на переезде.

Тогда, случайная величина S_T может быть оценена как функция случайных аргументов от начальной скорости торможения v_n и действительного тормозного коэффициента ϑ_d :

$$\widehat{S}_T = \varphi(v_n, \vartheta_d). \quad (7)$$

Значения действительного тормозного коэффициента измеряются локомотивной аппаратурой САУТ-ЦМ/485, САУТ-К, БЛОК и БЛОК-М, которая также позволяет определять фактическое значение скорости в требуемых точках пути. Данные в поездке записываются на съемный носитель, который подключается к локомотивной аппаратуре с помощью блока согласования. Измеренные значения сохраняются в автоматизированной системе АСУТ-НБД2.

Для четырех переездов, расположенных на сети Свердловской железной дороги, по данным технических средств сбора и хранения регистраторов параметров движения АСУТ-НБД2 и системы передачи данных СВЛТР, получена выборка скоростей движения при пересечении подвижным составом переезда и выборка действительных тормозных коэффициентов этих поездов. Получена выборка значений действительного тормозного коэффициента объемом 314 записей регистраторов параметров движения САУТ-ЦМ/485, САУТ-К, БЛОК и БЛОК-М за май 2020 года.

Значения действительного тормозного коэффициента, определенного по результатам поездок поездов, в отличие от расчетного будут иметь разброс, который обусловлен невозможностью точного определения силы нажатия всех тормозных колодок и веса всех вагонов при формировании поезда в условиях эксплуатации. В диссертационном исследовании проверена и не опровергнута гипотеза о подчинении распределения действительного тормозного коэффициента распределению Коши, что совпадает с результатами, полученными в опубликованных работах других авторов.

Гистограмма распределения действительного тормозного коэффициента и закон распределения Коши приведены на рисунке 3.

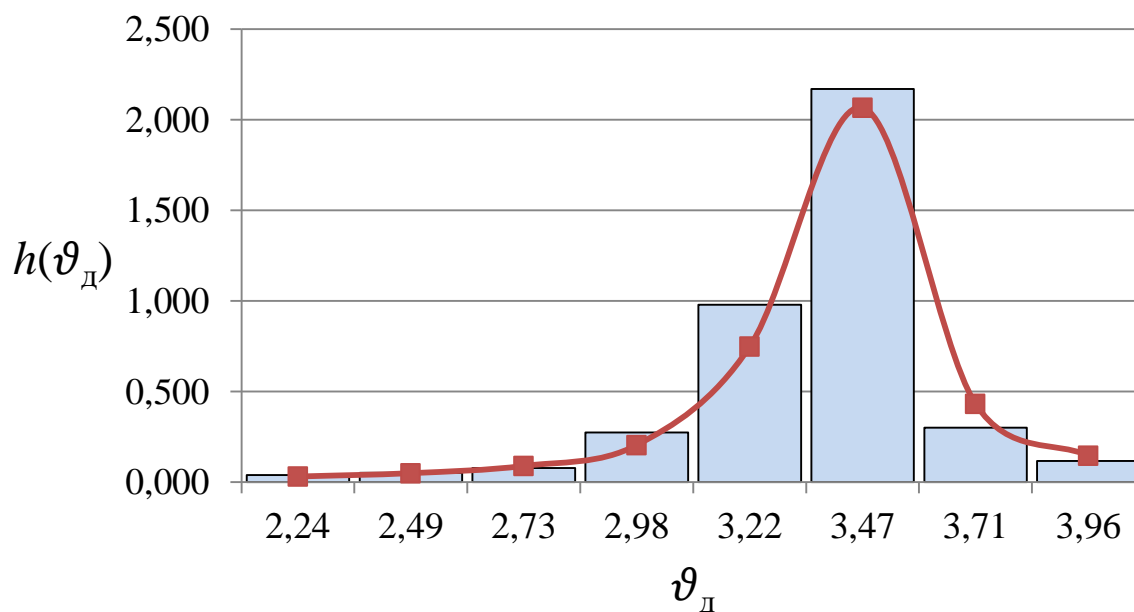


Рисунок 3 – Гистограмма плотности распределения действительного тормозного коэффициента и теоретической плотности распределения

Скорость движения поезда определяется принимаемыми кодовыми комбинациями локомотивной сигнализации: «З» – разрешает движение с максимальной установленной на участке скоростью, «Ж» – разрешает движение поезда со скоростью не более 60 км/ч, «КЖ» – требует выпол-

нить остановку перед следующим напольным светофором. Машинист должен вести поезд со скоростью, близкой к наибольшей разрешенной для текущей кодовой комбинации. Поэтому можно предположить полимодальное распределение плотности вероятности скорости поезда на переезде с количеством мод равным трем – по числу кодовых комбинаций. Каждая из мод подчиняется нормальному закону:

$$p(v_H) = \frac{P(З)}{\sigma_З\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(v_З-m_З)^2}{2\sigma_З^2}} + \frac{P(Ж)}{\sigma_Ж\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(v_Ж-m_Ж)^2}{2\sigma_Ж^2}} + \frac{P(КЖ)}{\sigma_{КЖ}\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(v_{КЖ}-m_{КЖ})^2}{2\sigma_{КЖ}^2}}, \quad (8)$$

где $P(З), P(Ж), P(КЖ)$ – вероятности приема кодов «З», «Ж» и «КЖ» соответственно.

Модель вероятностной смеси, в соответствии с (8), представлена на рисунке 4.

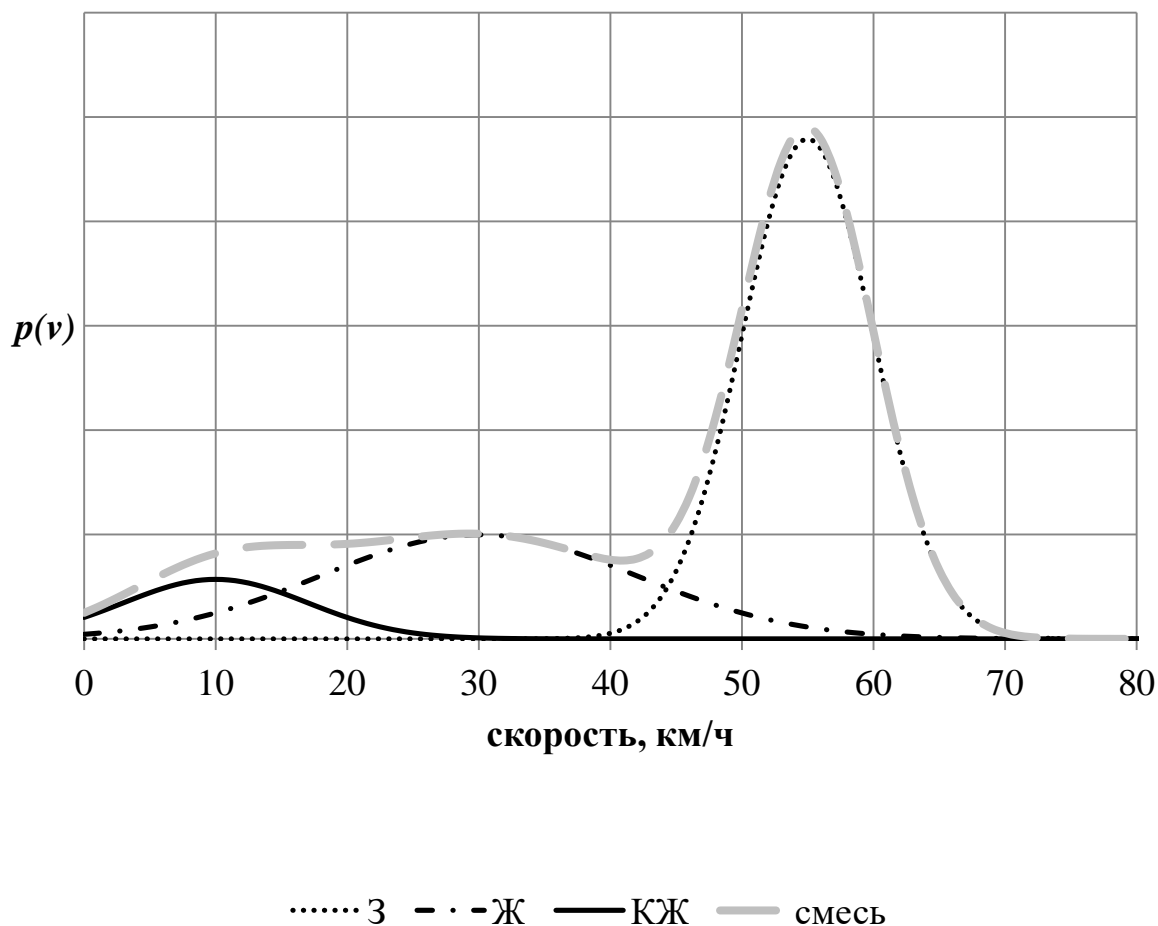


Рисунок 4 – Модель вероятностной смеси распределения скоростей

Вид гистограммы распределения скоростей, построенной по выборочным значениям (рисунок 5) соответствует предполагаемому в (8).

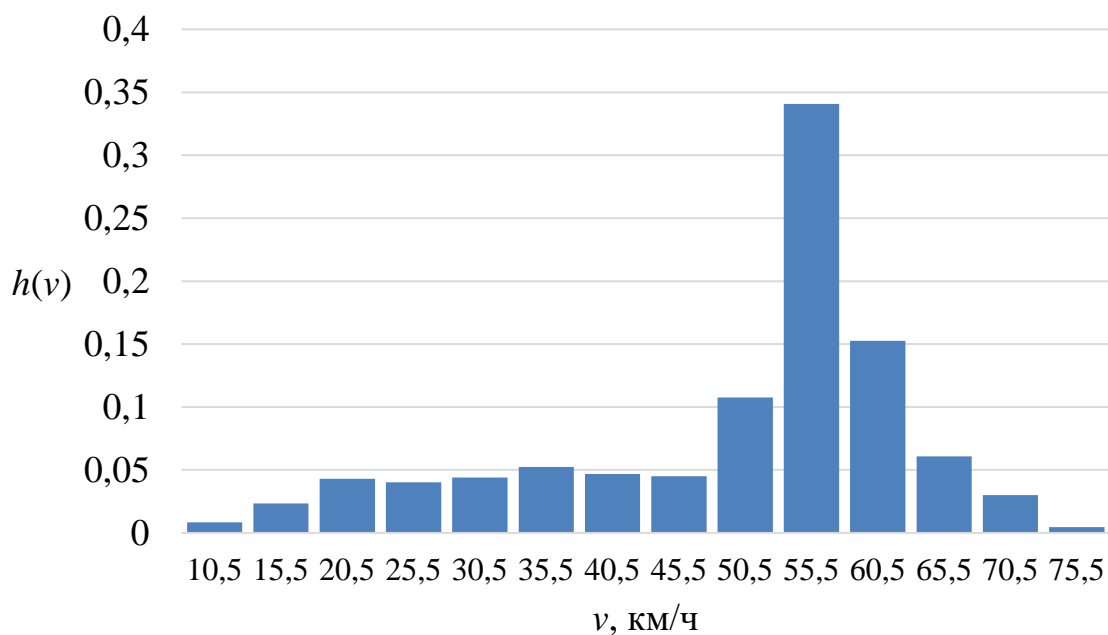


Рисунок 5 – Гистограмма распределения скорости поездов перед переездом

Для каждой пары выборочных значений (v_i, v_j) вычислим значения тормозного пути s_{ij} .

Выполнять остановку поезда перед еще не закрытым переездом не имеет смысла. Торможение следует осуществлять только после полного закрытия переезда, в случае, когда наблюдается вынужденная остановка автотранспорта и невозможность его перемещения. В расчетной модели необходимо уменьшить длину участка извещения на расстояние, которое проходит поезд за время закрытия переезда, которое является постоянной величиной и составляет 15 с, расстояние, проходимое поездом за это время, будет зависеть от скорости поезда. Поэтому целесообразно увеличить тормозной путь поезда на расстояние, которое он пройдет за время закрытия переезда. Также требуется учитывать расстояние, проходимое поездом за время реакции машиниста на возникшую на переезде ситуацию $t_{\text{реак}}$.

С учетом приведенных выше замечаний, определим значения k_{ij} , показывающие, во сколько раз тормозной путь поезда, с учетом времени на закрытие переезда, превышает длину участка извещения:

$$k_{ij} = \frac{1}{L_{\text{изв}}} \left[s_{ij} + \frac{v_i(t_{\text{закр}} + t_{\text{реак}})}{3,6} \right]. \quad (9)$$

По полученным значениям k_{ij} гистограмму $h(k_{ij})$, которая является оценкой плотности распределения вероятностей $f(K)$. Гистограмма представлена на рисунке 6.

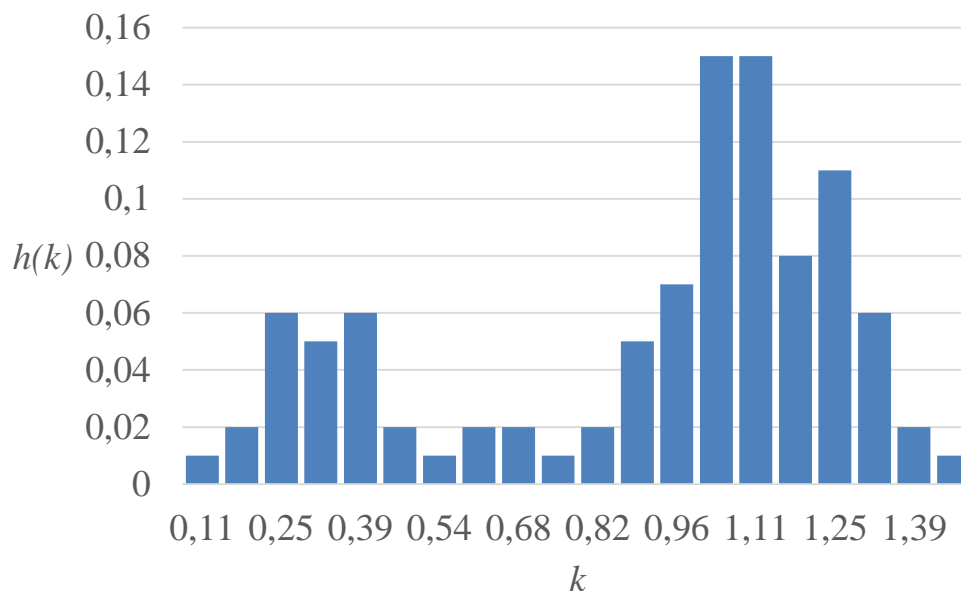


Рисунок 6 – Гистограмма распределения тормозного пути, нормированная к длине участка извещения

Вероятность безаварийной остановки поезда перед переездом занятым автотранспортом можно определить по выражению:

$$P_{\text{ба}} = \int_{-\infty}^1 f(K)dk, \quad (10)$$

ее оценка может быть получена суммированием k_{ij} , со значениями меньше 1:

$$\hat{P}_{\text{ба}} = \frac{\sum_i \sum_j k_{ij}}{ij}, k_{ij} < 1. \quad (11)$$

а вероятность столкновения поезда с вынужденно остановившимся транспортным средством на переезде будет определяться формулой:

$$P_c = 1 - P_{\text{ба}}, \quad (12)$$

Вероятность безаварийной остановки, рассчитанная в соответствии с (10) по имеющимся выборкам составляет $P_{ба} = 0,42$, а вероятность столкновения - $P_c = 0,58$. Необходимо отметить, что при вычислении вероятностей не учитывалось время реакции машиниста. Было принято, что машинист применяет торможение сразу после поломки автомобиля на переезде.

Полученные значения вероятностей показывают, что алгоритмы управления АПС не могут не учитывать возможность поломки автомобиля на переезде и предотвращать столкновения.

Вероятностью столкновения на переезде можно управлять, изменяя длину участка извещения.

В третьей главе сформулированы требования и предложена структура построения системы управления закрытием переезда по характеристикам приближающегося поезда. Предлагаемая система должна включать в себя бортовую локомотивную аппаратуру и стационарную (переездную) аппаратуру, размещенную на переезде (рисунок 7).

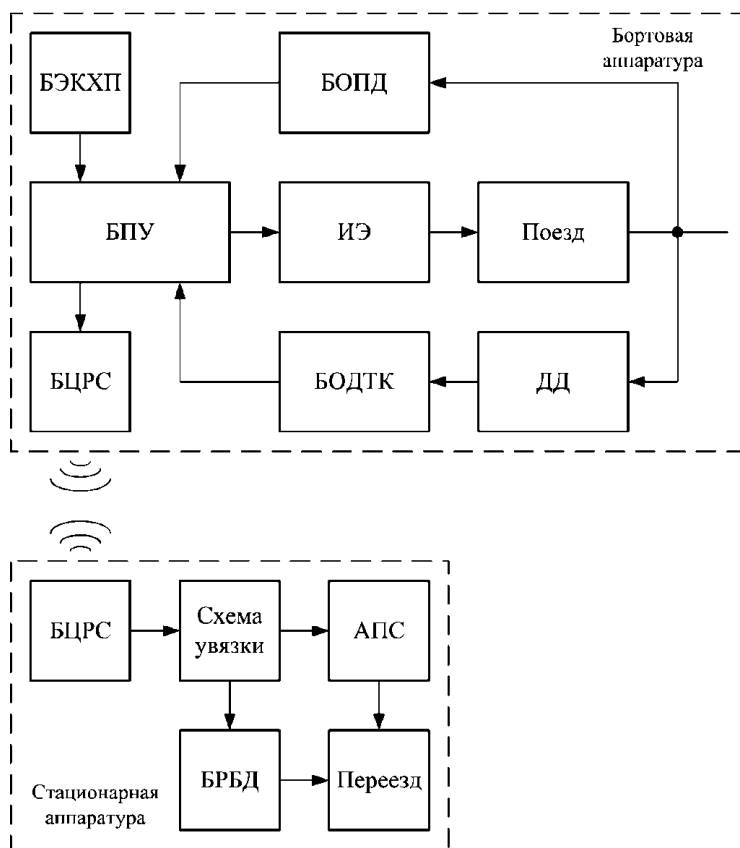


Рисунок 7 – Структурная схема системы управления автоматической переездной сигнализацией

Для выполнения автоматической остановки поезда перед переездом необходимы следующие функциональные блоки:

- блок программного управления (БПУ);
- блок оценки действительного тормозного коэффициента (БОДТК) и датчик давления сжатого воздуха в тормозной магистрали поезда (ДД);
- исполнительный элемент (ИЭ), непосредственно изменяющий управляющее воздействие на объект управления;
- блок электронной карты и характеристик поезда (БЭКХП);
- блок определения параметров движения (БОПД).

Для реализации бортовой аппаратуры целесообразно выбрать существующие локомотивные микропроцессорные системы и комплексы. На начало 2019 года эксплуатируемые локомотивы оборудованы 11,6 тыс. релейных дешифраторов АЛСН, 2,9 тыс. микропроцессорных дешифраторов ДКСВ-М, 255 устройств КЛУБ, 9,7 тыс. устройств КЛУБ-У, 11,9 тыс. СА-УТ, 1,7 тыс. комплексов БЛОК.

Для реализации стационарной аппаратуры целесообразно расширить функционал существующих систем АПС, решающих задачу управления автомобильными светофорами, шлагбаумами, устройствами заграждения переезда.

Схема подключения к промышленному компьютеру через релейный интерфейс на реле I класса надежности приведена на рисунке 8.

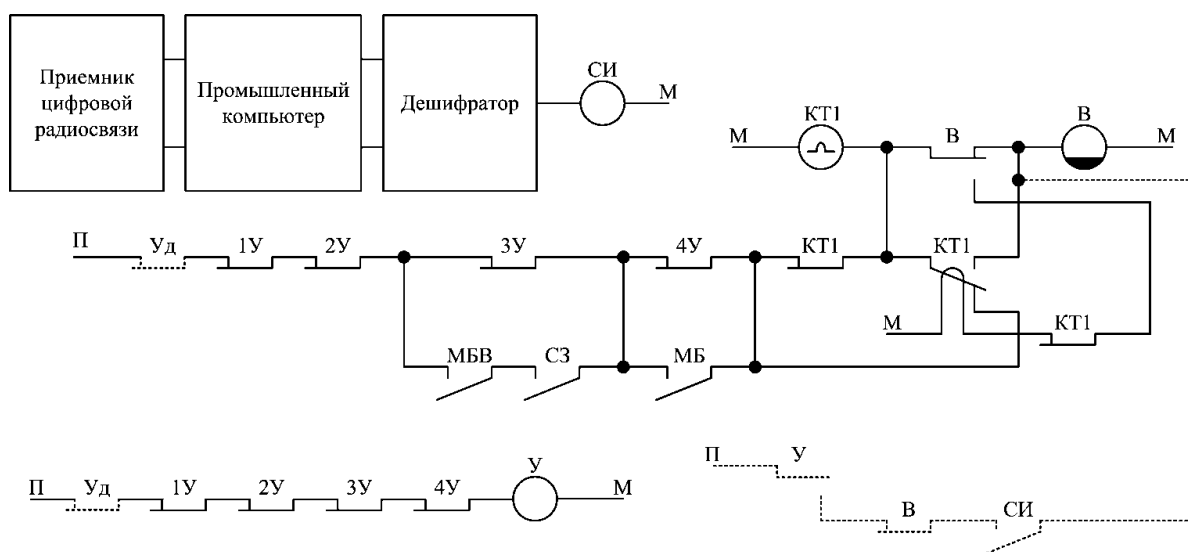


Рисунок 8 – Подключение АПС к промышленному компьютеру через релейный интерфейс

Увязка микропроцессорных систем переездной сигнализации с предлагаемыми решениями может быть выполнена на уровне программного обеспечения, а дополнительная аппаратура может подключаться по стандартным интерфейсам передачи данных.

В предлагаемой системе следует применить дополнительные меры повышения безопасности на переезде такие, как информирование водите-

лей автотранспорта о времени до закрытия, времени до открытия и направлении приближения поезда, а также вопросы информирования машиниста о состоянии переезда.

В четвертой главе выполнена оценка эффективности предложенных решений. Под эффективностью систем переездной сигнализации понимают время излишнего простоя автотранспорта перед закрытым переездом. Величина этого времени ограничивается снизу соображениями безопасности. На рисунке 9 представлены графики зависимости времени проследования участка извещения от скорости для участка извещения с фиксированной длиной и для участка с переменной длиной.

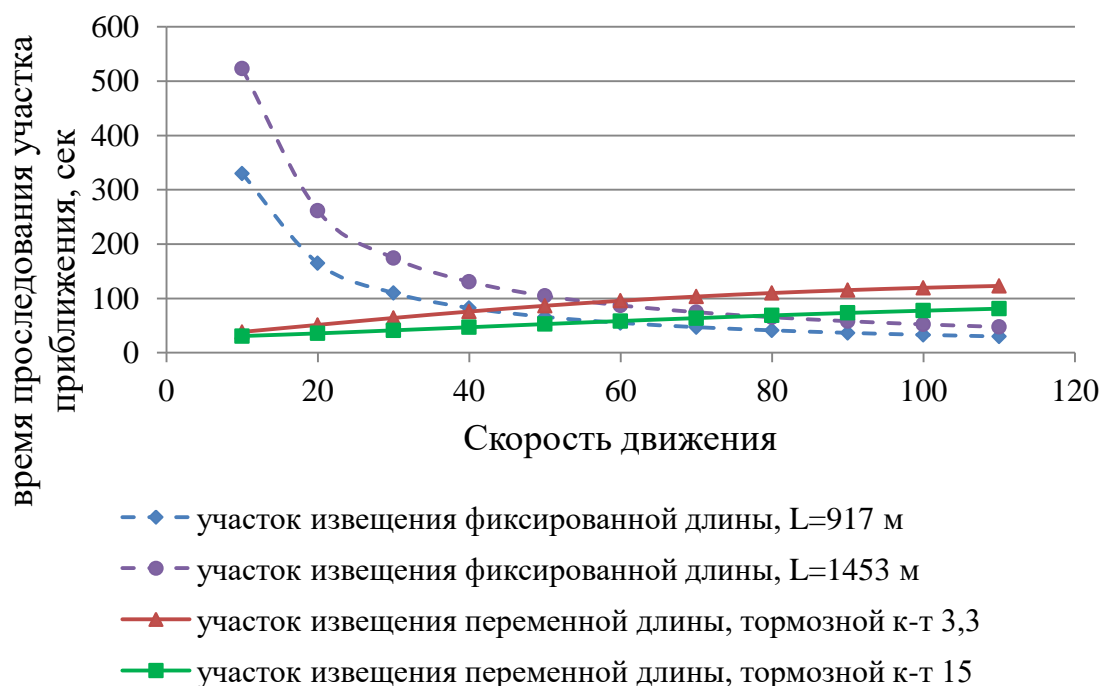


Рисунок 9 – Зависимости времени проследования участка извещения от скорости

Длина участков извещения, сформированных по параметрам поезда, определяется длиной тормозного пути, а более короткие участки не позволят остановить поезд при наличии автотранспорта в пределах закрытого переезда. Поэтому меньшее время закрытия переездов с участком извещения фиксированной длины обусловлено повышенным риском столкновения на переезде.

Известно, что эффективность систем с постоянным временем извещения ограничивается в случае существенного различия ускорений поездов, следующих через переезд. В предлагаемой системе ускорение подвижного состава принудительно ограничивается из расчета выполнения гарантированной остановки перед переездом.

Время полного проследования (от закрытия до полного открытия) поездом переезда T_i можно вычислить по формуле:

$$T_i = \int_{S_0}^{S_0 + L_{\text{изв}} + L_{\text{п}}} \frac{dS}{v(S)} + t_{\text{откр}}, \quad (13)$$

где $L_{\text{п}}$ – длина поезда; $L_{\text{изв}}$ – длина участка извещения исследуемого переезда; S_0 – координата начала участка извещения, $t_{\text{откр}}$ – время, затрачиваемое на открытие переезда.

Выполним расчеты времени перекрытия переезда для традиционной АПС и АПС с управлением по характеристикам приближающегося поезда. Исходными данными для расчетов служат записи бортовых локомотивных комплексов, полученные в мае-июне 2020 года. В расчетах принято: $t_{\text{откр}} = 4$ сек., $L_{\text{изв}} = 700$ м, $t_{\text{обм}} = 5$ сек. – время обмена данными локомотивной и переездной аппаратуры.

Гистограммы распределения времени перекрытия переезда, полученные из расчетов по данным бортовых комплексов, представлены на рисунке 10.

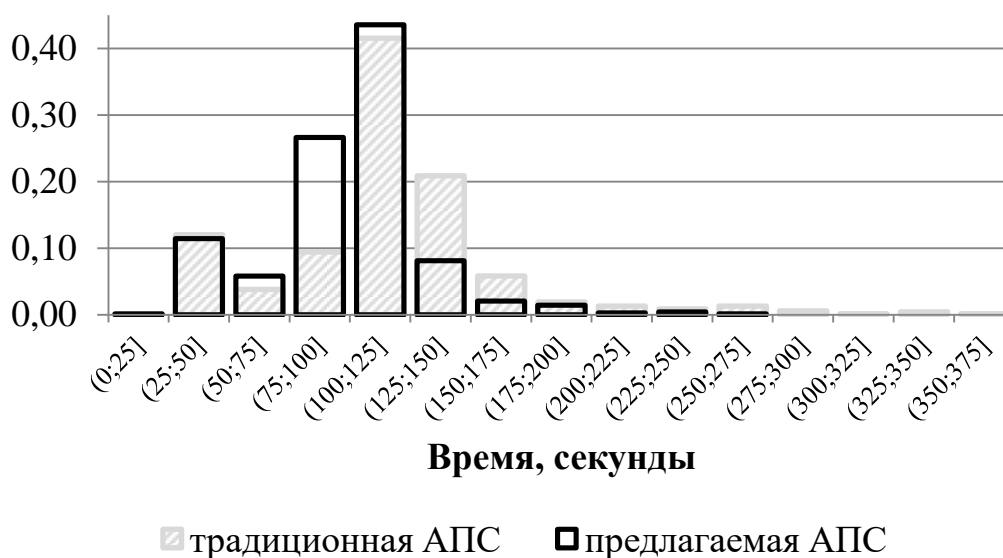


Рисунок 10 – Распределение времени перекрытия переезда для АПС с различными принципами управления

Расчеты показывают, что АПС с управлением по характеристикам приближающегося поезда позволяет сократить время перекрытия переезда в среднем примерно на 15 % по отношению к традиционным АПС для указанных расчетных параметров. При применении традиционной АПС пере-

езд в среднем закрыт 94 мин в сутки (1,57 часа в сутки), предлагаемая АПС позволяет снизить время закрытия до 80 мин в сутки (1,33 часа в сутки).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе содержится решение новой научно-технической задачи оценки вероятности столкновения на железнодорожном переезде при вынужденной остановке на нем автотранспорта, имеющей значение для повышения уровня безопасности на железнодорожных переездах за счет управления переездной сигнализацией по характеристикам приближающегося поезда. Основные теоретические и практические результаты, полученные в диссертационной работе, заключаются в следующем:

1. Анализ существующих литературных источников показал, что в опубликованных исследованиях не проработаны вопросы предотвращения столкновений при вынужденной остановке автотранспорта в зоне габарита поезда на переезде.
2. Исследованы соотношения между длиной участков извещения переездной сигнализации и длинами тормозного пути поездов. Установлено, что существующие методы расчета участков извещения переездной сигнализации не обеспечивают возможности остановки поезда торможением перед переездом после его закрытия в случае необходимости.
3. Уточнено понятие оптимального времени извещения переездной сигнализации, под которым предложено понимать время, достаточное для полной остановки поезда перед переездом путем торможения. Уменьшение этого времени может привести к нарушению условий безопасности, его увеличение – к необоснованному простоя автотранспорта у переезда.
4. Предложен метод и выполнена численная оценка вероятности столкновения поезда при остановке автомобиля на переезде.
5. Предложены метод и алгоритмы управления переездной сигнализацией по характеристикам приближающегося поезда, обеспечивающие оптимальное время извещения в предложенной формулировке.
6. Сформулированы требования и предложена структура построения системы управления закрытием переезда по характеристикам приближающегося поезда. Рассмотрены варианты реализации технических решений локомотивной и стационарной аппаратуры предлагаемой системы.
7. Зная распределения скорости и действительного тормозного коэффициента поездов, следующих через конкретный железнодорожный переезд, можно обеспечить любую требуемую вероятность столкновения, изменяя длину участка извещения.

8. Предложенный в работе метод оценки эффективности АПС по данным с бортовых комплексов показал, что АПС с управлением по характеристикам приближающегося поезда позволяет сократить время перекрытия переезда в среднем примерно на 15 % по отношению к традиционным системам.

9. Перспективы дальнейшей разработки темы диссертационного исследования открывают возможность создания новых методов и систем железнодорожной автоматики и телемеханики на основе данных от бортовых локомотивных комплексов, что позволит повысить точность управления процессами перевозок за счет более точного учета параметров поездов.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

а) в изданиях из перечня ВАК

1. Гришаев С. Ю. Современное поколение путевых устройств САУТ / Б. И. Ветлугин, А. Н. Кондратьев, С. Ю. Гришаев // Автоматика, связь, информатика. – № 12, 2014, С. 50-51.

2. Гришаев С. Ю. Электропневматический клапан автостопа с функцией резервирования ЭПК-АС / В. С. Наговицын, А. Н. Антропов, А. Л. Ципп, С. Ю. Гришаев // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2017. – № 2(34). – С. 28-39.

3. Гришаев С. Ю. Инновационные технологии для создания автоматической системы управления движением / С. Ю. Гришаев, А. Н. Попов // Автоматика, связь, информатика. – 2019. – № 8. – С. 9-11.

4. Гришаев С. Ю. Безопасность движения при остановке автотранспорта на железнодорожных переездах перед приближающимся поездом / А. Н. Попов, С. Ю. Гришаев // Транспорт Урала. – 2020. – № 1 (64). – С. 39-42.

5. Гришаев С.Ю. Время закрытия переезда при различных способах формирования участков извещения / А. Н. Попов, С. Ю. Гришаев // Транспорт Урала. – 2020. – № 4 (67). – С. 29-33.

6. Гришаев С.Ю. Автоматическое управление закрытием переезда по характеристикам приближающегося поезда / С.В. Бушуев, А.Н. Попов, С.Ю. Гришаев // Транспорт Урала. – 2021. – № 1 (68). – С. 3-7.

б) в других изданиях

7. Гришаев С. Ю. Развитие системы автостопного торможения / М. И. Глушко, А. Н. Антропов, С. Ю. Гришаев, А. Л. Ципп / Инновационный транспорт - 2016: специализация железных дорог. – 2017. – С. 243-251.

8. Гришаев С. Ю. Экстренное торможение в автостопном режиме / М. И. Глушко, А. Н. Антропов, С. Ю. Гришаев, А. Л. Ципп / Инновационный транспорт - 2016: специализация железных дорог. Материалы Международной научно-технической конференции, посвященная 60-летию основания Уральского государственного университета путей сообщения. Ответственный за выпуск С. В. Бушуев. – 2017. – С. 260-267.

9. Гришаев С. Ю. Проблема безопасности движения поездов и пути ее решения / В. Н. Коваленко, В. С. Наговицын, С. Ю. Гришаев // Инновационный транспорт. – 2016. – № 3 (21). – С. 53-59.
10. Гришаев С. Ю. Обеспечение безопасности на железнодорожных переездах за счет управления переездной сигнализацией на основе данных бортовых локомотивных устройств / А. Н. Попов, С. Ю. Гришаев / Актуальные вопросы развития железнодорожного транспорта: материалы Всероссийской науч.-практической конференции к 75-летию аспирантуры Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. Часть 2 / под ред. А. Б. Косарева, Г. В. Гогричиани. – М.: РАС, 2019. – С. 184-192.
11. Гришаев С. Ю. Модель взаимодействия между поездом и автотранспортом на железнодорожном переезде / С.Ю. Гришаев / Наука и образование транспорту: материалы XIII Международной научно-практической конференции. – Самара, 2020. – С. 282-285.

в) патенты

12. Гришаев С. Ю. Бесконтактное устройство записи и хранения оперативной информации / А. И. Галеев, С. Ю. Гришаев, Е. А. Гриньков, С. А. Лукина, Г. Д. Масалов, А. В. Сулоев, Е. Е. Шухина, А. М. Хаванских / Патент на полезную модель RU 128748 U1, 27.05.2013.
13. Гришаев С. Ю. Безопасный локомотивный объединенный комплекс / В. В. Висков, А. В. Гурьянов, И. Н. Гринфельд, Г. К. Кисельгоф, А. С. Корвин, Д. М. Красовицкий, Г. Д. Масалов, А. Ю. Сафронов, Е. Е. Шухина, С. Ю. Гришаев, Е. А. Гриньков / Патент на изобретение RU 2475396 C1, 20.02.2013.
14. Гришаев С. Ю. Локомотивное устройство управления движением поезда / И. Н. Гринфельд, С. Ю. Гришаев, Г. К. Кисельгоф, В. С. Миронов, Е. Н. Розенберг, С. В. Румянцев, Е. Е. Шухина / Патент на изобретение RU 2629582 C1, 30.08.2017.
15. Гришаев С. Ю. Устройство блокировки тормозов локомотива / М. И. Глушко, В. С. Наговицын, А. Н. Антропов, С. Ю. Гришаев, А. Л. Ципп / Патент на полезную модель RU 177291 U1, 15.02.2018.
16. Гришаев С. Ю. Тормозной блок железнодорожного тягового средства / М. И. Глушко, В. С. Наговицын, А. Н. Антропов, С. Ю. Гришаев, А. Л. Ципп, Е. В. Краев / Патент на полезную модель RU 177916 U1, 15.03.2018.

ЛИЧНЫЙ ВКЛАД АВТОРА

Основные положения диссертационной работы и результаты проведенных исследований получены автором самостоятельно: В работах, опубликованных в соавторстве, вклад автора диссертационной работы заключается в следующем: [11] – написана лично, без соавторов, [1] – выполнен анализ систем обеспечения безопасности движения поездов, разра-

ботанных при участии автора; [2, 6, 7, 14, 15, 16] – проведен анализ методов служебного и экстренного торможения поездов, а также приборов для их осуществления. Предложена конструкция электропневматического клапана с резервированием; [3] – сформулирован принцип управления переездной сигнализацией по характеристикам приближающегося поезда. Выбрана локомотивная аппаратура для реализации управления переездной сигнализацией по характеристикам приближающегося поезда; [4] – исследованы соотношения между тормозными путями поездов и длинами участков извещения, рассчитанными по существующей методике. Обоснован вывод о необходимости разработки системы управления переездной сигнализацией по характеристикам приближающегося поезда; [5] – предложен метод управления закрытием переезда по характеристикам приближающегося поезда. Для реализации метода разработаны алгоритмы и структурная схема системы управления; [8] – исследованы различные способы реализации функций на аппаратуре локомотивных бортовых комплексов; [9] – обоснована актуальность совершенствования технических средств управления автоматической переездной сигнализацией, проанализированы предлагаемые технические решения. Предложено создать систему управления переездной сигнализацией по характеристикам приближающегося поезда; [10] – предложена структура устройств бесконтактной записи и хранения параметров поезда; [12, 13] – предложена структура безопасного локомотивного объединенного комплекса.

ГРИШАЕВ Сергей Юрьевич

УПРАВЛЕНИЕ ПЕРЕЕЗДНОЙ СИГНАЛИЗАЦИЕЙ ПО
ХАРАКТЕРИСТИКАМ ПРИБЛИЖАЮЩЕГОСЯ ПОЕЗДА

2.9.4 – Управление процессами перевозок
(технические науки)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 24.06.2021.
Формат 60 x 84/16. Усл. печ. л. 1,4.
Заказ 25. Тираж 100 экз.

УрГУПС
620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66