

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Уральский государственный университет путей сообщения»  
(ФГБОУ ВО УрГУПС)

На правах рукописи



Гришаев Сергей Юрьевич

УПРАВЛЕНИЕ ПЕРЕЕЗДНОЙ СИГНАЛИЗАЦИЕЙ ПО  
ХАРАКТЕРИСТИКАМ ПРИБЛИЖАЮЩЕГОСЯ ПОЕЗДА

Специальность: 05.22.08 – Управление процессами перевозок (технические науки)

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель  
кандидат технических наук,  
Попов Антон Николаевич

Екатеринбург – 2021

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА.....	9
1.1. Классификация железнодорожных переездов .....	9
1.2. Анализ происшествий на переездах.....	13
1.3. Принципы управления переездом.....	19
1.4. Выводы по разделу и постановка задач исследования .....	33
2. МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗАКРЫТИЕМ ПЕРЕЕЗДА.....	35
2.1. Модель взаимодействия между поездом и автомобилями на переезде .....	35
2.2. Исследование соотношений между длиной участков извещения переездной сигнализации и тормозных путей поездов .....	42
2.3. Оценка вероятности столкновения при вынужденной остановке автотранспорта на переезде .....	50
2.4. Метод вычисления длины участка извещения по характеристикам приближающегося поезда .....	59
2.5. Алгоритм управления закрытием переезда.....	63
2.6. Автоматическая остановка поезда перед переездом.....	66
2.7. Контроль свободности закрытого переезда от автотранспорта.....	67
2.8. Выводы по разделу .....	70
3. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗАКРЫТИЕМ ПЕРЕЕЗДА ПО ХАРАКТЕРИСТИКАМ ПРИБЛИЖАЮЩЕГОСЯ ПОЕЗДА.....	72
3.1. Требования к системе управления закрытием переезда.....	72
3.2. Структурная схема системы .....	72
3.3. Реализация бортовой аппаратуры системы.....	75
3.4. Реализация переездной аппаратуры системы .....	78
3.5. Оповещение водителей транспортных средств о проходе поезда.....	85
3.6. Оповещение машиниста о состоянии переезда .....	88

3.7. Выводы по разделу .....	89
4. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДЛОЖЕННЫХ РЕШЕНИЙ .....	91
4.1. Оценка уменьшения времени закрытия переезда.....	91
4.2. Оценка уменьшения вероятности столкновения .....	102
4.3. Выводы по разделу .....	102
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	104
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	106
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	118
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	129
ПРИЛОЖЕНИЕ В .....	132
ПРИЛОЖЕНИЕ Г .....	140

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** 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 заграждения (УЗП) 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: Е. И. Годяев, Е. М. Тарасов, А. Б. Никитин, В. Л. Герус, Б. С. Сергеев, И. Г. Тильк, В. В. Ляной, 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.

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

Для достижения цели необходимо 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 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, рас-

четов тормозного пути поезда, методы теории функций алгебры логики, расчетно-аналитические методы математического анализа.

**Выносимые на защиту положения:**

– метод, позволяющий получить 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;

– понятие «оптимальное время извещения», как время, обеспечивающее 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 результатов работы:**

Основные положения и полученные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на научных конференциях, научно-технических советах и заседаниях кафедр:

– 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);

– заседание кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» г. Санкт-Петербург (ФБОУ ВО ПГУПС, 2020);

– заседание кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» г. Иркутск (ФГБОУ ВО ИрГУПС, 2020).

– заседание кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» г. Екатеринбург (ФГБОУ ВО УрГУПС, 2020).

**Публикации.** Основные положения диссертации полностью отражены в 11 публикациях, в том числе 6 – в журналах, рекомендованных ВАК. Получено 5 патентов (3 патента на полезную модель и 2 патента на изобретения).

## 1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА

### 1.1. Классификация железнодорожных переездов

Переездами называются места пересечения автомобильных дорог с железнодорожными путями в одном уровне, они оборудуются устройствами, обеспечивающими безопасность движения, улучшающими условия пропуска поездов и автотранспортных средств. Переезды должны располагаться преимущественно на прямых участках железных и автомобильных дорог вне пределов выемок и мест, где не обеспечиваются удовлетворительная видимость. Угол пересечения автомобильной дороги и железнодорожных путей должен составлять не менее  $60^\circ$ .

Всего на сети магистральных железных дорог на сегодняшний день эксплуатируется более 10,5 тыс. переездов, но в последние годы их число в эксплуатации непрерывно сокращалось. Динамика изменения количества переездов на железных дорогах РФ с 1993 по 2017 годы приведена на рисунок 1.1.

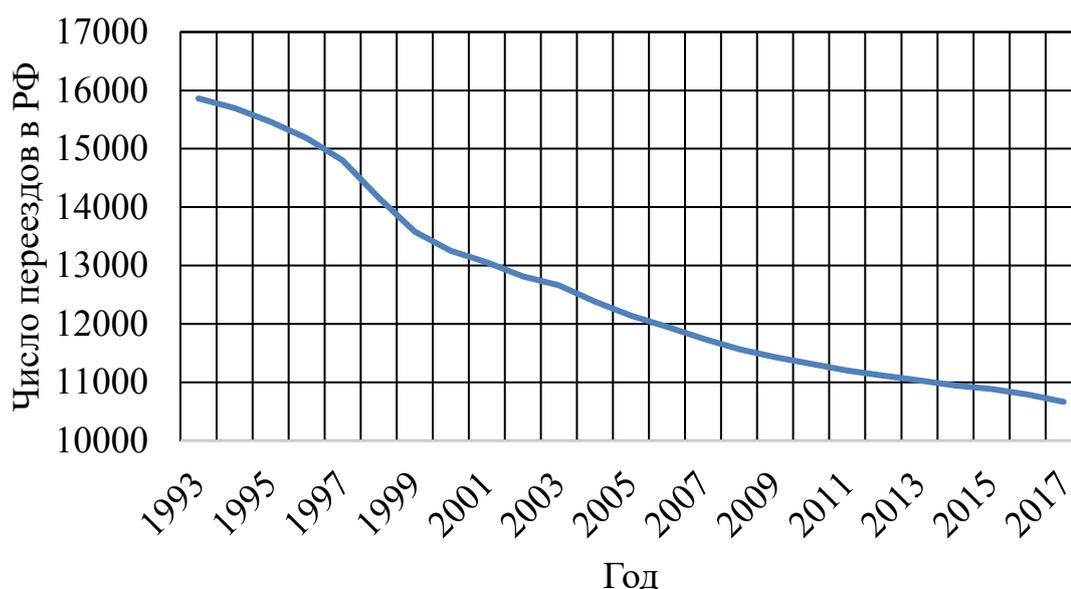


Рисунок 1.1. – Динамика уменьшения количества переездов на железных дорогах РФ

Анализ графика показывает постепенное снижение количества эксплуатируемых переездов на сети магистральных железных дорог

Количество эксплуатируемых переездов зависит от густоты сетей автомобильных и железных дорог, что связано с их протяженностью. Длина автомобильных дорог общего пользования на территории России с 2005 года выросла более чем в 2,5 раза, а эксплуатационная длина железнодорожных дорог за этот период практически не увеличилась [1] (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Изменение длины сетей автомобильных и железных дорог

Год	Эксплуатационная длина железнодорожных путей, тыс. км	Протяженность автомобильных дорог общего пользования, тыс. км
2005	85,2	581
2006	85,2	701
2007	85,2	747
2008	85,6	754
2009	85,6	793
2010	85,7	825
2011	85,5	927
2012	85,6	1278
2013	85,6	1396
2014	86,3	1451
2015	86,3	1481
2016	86,4	1498
2017	86,6	1508
2018	87	1529

В ближайшие годы прогнозируется расширение сети железных дорог и рост их протяженности на 30 % к 2030 году [2]. При сохранении тенденций ликвидации переездов и расширения сетей железных и автомобильных дорог следует ожидать увеличения нагрузки на оставшиеся переезды.

Классификация переездов приводятся во многих источниках, например в [2,3].

Эксплуатируемые железнодорожные переезды имеют следующие отличительные признаки в зависимости от расположения на пересечениях автомобильных дорог общего и необщего пользования с железнодорожными путями: т. е. делятся соответственно на переезды общего и необщего пользования.

В свою очередь переезды общего пользования подразделяются на регулируемые и нерегулируемые переезды. Переезды, оборудованные переездной сигнализацией или обслуживаемые дежурным работником, относятся к регулируемым переездам. К нерегулируемым относятся переезды, не оборудованные переездной сигнализацией и не обслуживаемые дежурным работником. На нерегулируемых переездах безопасность обеспечивается только водителями транспортных средств. Доля нерегулируемых переездов составляет примерно 20 % от их общего числа.

Классификация переездов приведена на рисунке 1.2.



Рисунок 1.2. – Классификация переездов

По интенсивности движения переезды подразделяются на четыре категории. Интенсивности движения, соответствующие каждой из категорий приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Категории переездов в зависимости от интенсивности движения

Интенсивность движения	Транспортные средства				
	Пар авт/сут				
	до 200	201-1000	1001-3000	3001-7000	более 7000

Поезда	Пар поездов /сут	до 16	IV	IV	IV	III	II
		17-100	IV	IV	III	II	I
		101-200	IV	III	II	I	I
		более 200	III	II	II	I	I
Скорость движения более 140 км/ч			I	I	I	I	I

Переезды, интенсивность движения на которых не приведена в таблице 2, относятся к IV категории. Все переезды, через которые организовано высокоскоростное движение поездов (со скоростью движения свыше 140 км/ч), относятся к I категории.

Решения по обслуживанию переезда дежурным работником и оборудованию средствами регулирования движения на переезде принимаются в соответствии с присвоенной категорией. Дежурными работниками обслуживается около 2,3 тыс. или 22 % от всех переездов, а переездной сигнализацией оборудовано примерно 60 % переездов. На долю переездов I категории приходится около 6 %, II категории – 11 %, III категории – 13 %, IV категории – 70 %.

Различают три вида регулируемых переездов: оборудованные только оповестительной сигнализацией; оборудованные автоматической переездной сигнализацией и обслуживаемые дежурным работником; регулируемые дежурным работником и не оборудованные переездной сигнализацией.

Обслуживаемые переезды могут оснащаться устройствами ограждения переездов (УЗП). Аппаратурой УЗП оборудовано примерно 1,9 тыс. (около 20 %) переездов.

При подходе к переезду автомобильных грунтовых дорог на протяжении не менее 10 м от головки крайнего рельса в обе стороны должно быть нанесено твердое покрытие. Сам переезд оборудуется специальными настилами. С наружной стороны колеи настил должен быть в одном уровне с верхом головок рельсов, не допускается отклонения верха головки рельсов, расположенных в пределах проезжей части, относительно покрытия, более 2 см. Настилы выполняются из резиновых плит или из композитных материалов.

При расположении переездов в населенных пунктах на автомобильных дорогах, имеющих тротуары, переезды обустривают пешеходными дорожками, которые оборудуются светофорами оповестительной пешеходной сигнализацией.

Выбор решений по оборудованию переезда средствами автоматики в настоящее время осуществляется в соответствии с периодически обновляемым приказом начальника управления автоматики и телемеханики центральной дирекции инфраструктуры «Об утверждении перечня систем, аппаратуры и оборудования железнодорожной автоматики и телемеханики разрешенных к проектированию».

## **1.2. Анализ происшествий на переездах**

Переезд – одно из наиболее опасных мест железнодорожной инфраструктуры. Анализ литературных источников показывает значимость проблемы безопасности на железнодорожных переездах. По данным работ [4-6] на железнодорожных переездах РФ число ДТП удалось снизить в 2,5 раза: с более чем 500 в 1993 году до 200 в 2009, а далее число ДТП стабилизировалось и находится в диапазоне 200-275 ДТП в год по настоящее время.

Число пострадавших в авариях на переездах, достигнув пика в 1994 году в 443 человека, сократилось почти в 3 раза к 2009 году, постепенно снизившись до 154, и стабилизировалось в диапазоне 180-230 человек в год. Однако в 2017 году число пострадавших составило 317 человек.

Количество погибших удалось сократить почти в 3,5 раза со 165 в 1994 году до 48 в 2009 году, в 2010 году число погибших выросло до 72, и до 2017 года этот показатель не превышал 60 человек в год. В 2017 году зарегистрировано 94 погибших в авариях на переездах.

Динамика изменения числа ДТП на переездах, пострадавших и погибших в них за период с 1993 по 2017 годы представлена на рисунок 1.3.



Рисунок 1.3. – Динамика изменения числа ДТП на переездах, пострадавших и погибших в них

В 2017 году наблюдается увеличение числа ДТП на переездах, пострадавших и погибших в них, что, скорее всего, связано с повышением интенсивности движения, как поездов, так и автомобильного транспорта. В работе [5] отмечается, что количество легковых автомобилей увеличилось в период с 2006 по 2016 год в 1,7 раза и если в 2006 году на один железнодорожный переезд приходилось 2250 автомобилей, то в 2016 – уже около 4 тысяч.

Анализ ситуации за рубежом [7,8] также подтверждает остроту проблемы безопасности на переездах.

Столкновения на переездах являются проблемой не только для автомобильного транспорта. В [9] приводятся статистические данные по столкновениям подвижного состава с препятствиями. Согласно европейским данным (отчет В 205.1/DT 357, ERRI) из 304 аварийных ситуаций, случившихся с пассажирским подвижным составом за 5 лет (с 1991 по 1995 гг., примерно 60 случаев в год), чаще всего аварийные столкновения происходят с железнодорожным вагоном (39 %) и препятствием на железнодорожных переездах (37 %), гораздо реже – с тупиковым упором (11 %) и с препятствием за пределами железнодорожных пе-

реездов (8 %). По аварийным ситуациям с грузовым подвижным составом информация не собиралась. По данным [10] ежегодно на российских железных дорогах число столкновений локомотива с транспортными средствами в среднем составляет 2–4 случая на каждые 100 железнодорожных переездов и около 90 % таких случаев происходит при скоростях 15-20 км/ч. При этом выходит из строя до 90 секций локомотивов. Значительно повреждаются и разрушаются элементы конструкций, наносится ущерб пассажирам и перевозимым грузам, возникают перемены в движении поездов.

Аварии на железнодорожных переездах отличаются от других ДТП тяжестью последствий. В [2] указано, что если в обычном ДТП соотношение числа погибших к общему числу травмированных составляет 11 человек на 100 травмированных, то на переездах эта статистика более трагическая и составляет 27 погибших из 100 травмированных.

Сложившаяся ситуация с безопасностью движения на переездах требует более подробнейшего изучения и выработки мер, которые позволят снизить число ДТП и их последствий.

Как отмечается в источниках [4,5,11], наиболее эффективной мерой повышения безопасности на переездах считается их ликвидация. Как указано выше, общее число переездов в РФ непрерывно сокращалось с 15 862 в 1993 году до 10 664 в 2017. Ликвидация переездов и обустройство эстакад вместо них требует больших капитальных затрат. Ликвидация переездов без строительства эстакад приводит к повышению нагрузки на не ликвидированные.

Для исследования роста нагрузки на переезды рассмотрим относительные показатели аварийности. Количество ДТП и число погибших, приходящиеся на один переезд уменьшилось с 1993 года на 24 % и 16 % соответственно, однако число пострадавших на один переезд возросло на 5 % (рисунок 1.4) [12].

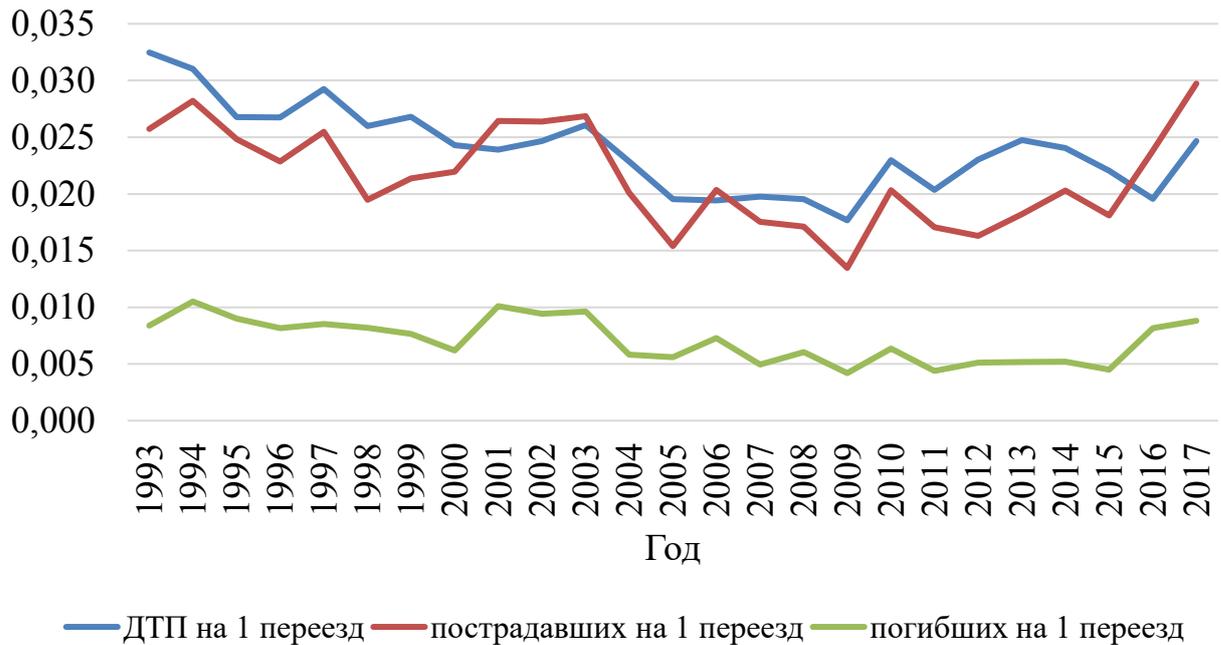


Рисунок 1.4 – Динамика изменения относительных показателей аварийности на один переезд

Наибольшая часть аварий приходится на нерегулируемые переезды, что говорит о высокой эффективности применяемых технических средств.

Предпринимаемые меры по обеспечению безопасности на не ликвидированных переездах позволили снизить количество ДТП и тяжесть их последствий даже в условиях повышения интенсивности движения, как поездов, так и автомобилей. Однако, ситуация с аварийностью на переездах продолжит ухудшаться, если не совершенствовать методы повышения безопасности. Наблюдается непрерывный рост общего числа транспортных средств на автомобильных дорогах [13]. Динамика изменения автотранспортных средств приведена на рисунке 1.5.

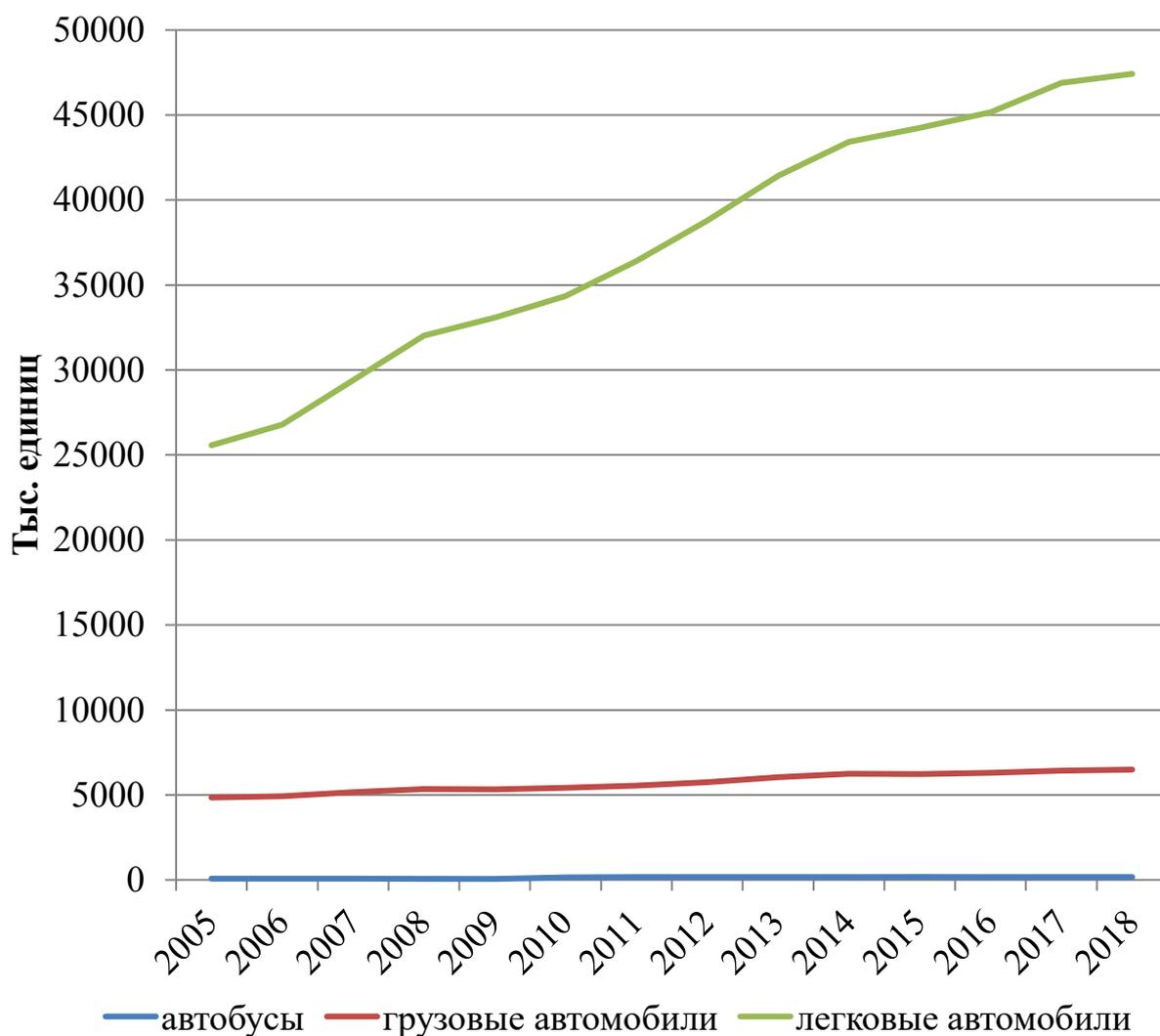


Рисунок 1.5 – Динамика изменения автотранспортных средств

По сравнению с 2005 годом число транспортных средств увеличилось почти на 80 %. Сохранение этой тенденции неизбежно приведет к повышению нагрузки на переезды, что вызовет повышение аварийности на них.

Ряд аварий происходит после вынужденной остановки автотранспорта на переезде, когда поезд не успевает остановиться. Безотказность автомобильного транспорта при проследовании железнодорожного переезда не гарантируется. В качестве примера приведем случай, который произошел 06 октября 2017 года (рисунок 1.6, а) во Владимирской области. Автобус, в котором находилось 58 человек, проезжал через железнодорожный переезд и заглох на путях. Дежурный по переезду незамедлительно включил заградительный сигнал. Со скоростью 90 км/ч

приближался поезд. За 400 м до переезда машинист применил экстренное торможение, подал световые и звуковые сигналы. Экстренное торможение позволило снизить скорость, но не до полной остановки. Тормозной путь поезда составил около 746 метров. В результате аварии погиб 21 человек.

Другой случай произошел 07 марта 2019 года на железнодорожном переезде перегона Перебор – Кунавино (рисунок 1.6, б). Водитель грузовика Freightliner с полуприцепом допустил на переезде отсоединение крестовины - в результате прицеп остался на рельсах. В это время к переезду приближался поезд. Водителю пришлось выбежать навстречу приближающемуся поезду, чтобы подать сигналы об остановке. Машинист среагировал вовремя – поезд только слегка задел полуприцеп.

В авариях на переездах ущерб получают не только водители и пассажиры автомобилей. В результате столкновения с грузовиком на перегоне Перебор - Кунавино участка Екатеринбург - Каменск-Уральский 4 декабря 2012 (рисунок 1.6, в) погибла локомотивная бригада – машинист и его помощник. Водитель грузовика был серьезно травмирован.



а)



б)



в)

Рисунок 1.6 – Последствия аварий на переездах

Рассмотренные случаи не являются исключительными, но исследования, посвященные проблеме столкновений поездов с вынуждено остановившимися на закрытом переезде автотранспортом, практически отсутствуют.

Для устранения причин возникновения происшествий на переездах, предполагают необходимость разработки технических средств и технологий для дальнейшего решения проблемы.

### 1.3. Принципы управления переездом

Как отмечается в работе [11] основная задача устройств автоматики на переезде заключается в безопасном разграничении транспортных потоков, следующих по автомобильным и железным дорогам, что обеспечивается за счет:

- подачи на переезд извещения о приближении поезда и контроль свободности переезда от подвижного состава;
- оповещения водителей о наличии переезда и его опасности занятия транспортным средством;
- механического предотвращения несанкционированного выезда транспортных средств на переезд в опасной близости от подвижного состава;
- ограждения переезда со стороны железной дороги;
- обнаружения на переезде препятствий для движения поезда с формированием соответствующего сигнала на борт локомотива поезда;
- контроля исправности находящихся на переезде устройств автоматики.

Для решения этой задачи наиболее часто используются: оповестительная автоматическая переездная сигнализация (АПС) со шлагбаумами различных принципов управления, а также без них; заградительные светофоры, устанавливаемые на расстоянии не менее 15 м и не более 800 м от переезда. В соответствии с действующими правилами на магистральных железных дорогах РФ, заградительные светофоры устанавливаются только перед переездами, обслуживаемыми дежурным работником.

На обслуживаемых переездах с интенсивным движением АПС может дополняться УЗП (рисунок 1.7), которые препятствуют несанкционированному выезду транспортных средств на переезд, используя для этого четыре автоматических барьера [14, 15].

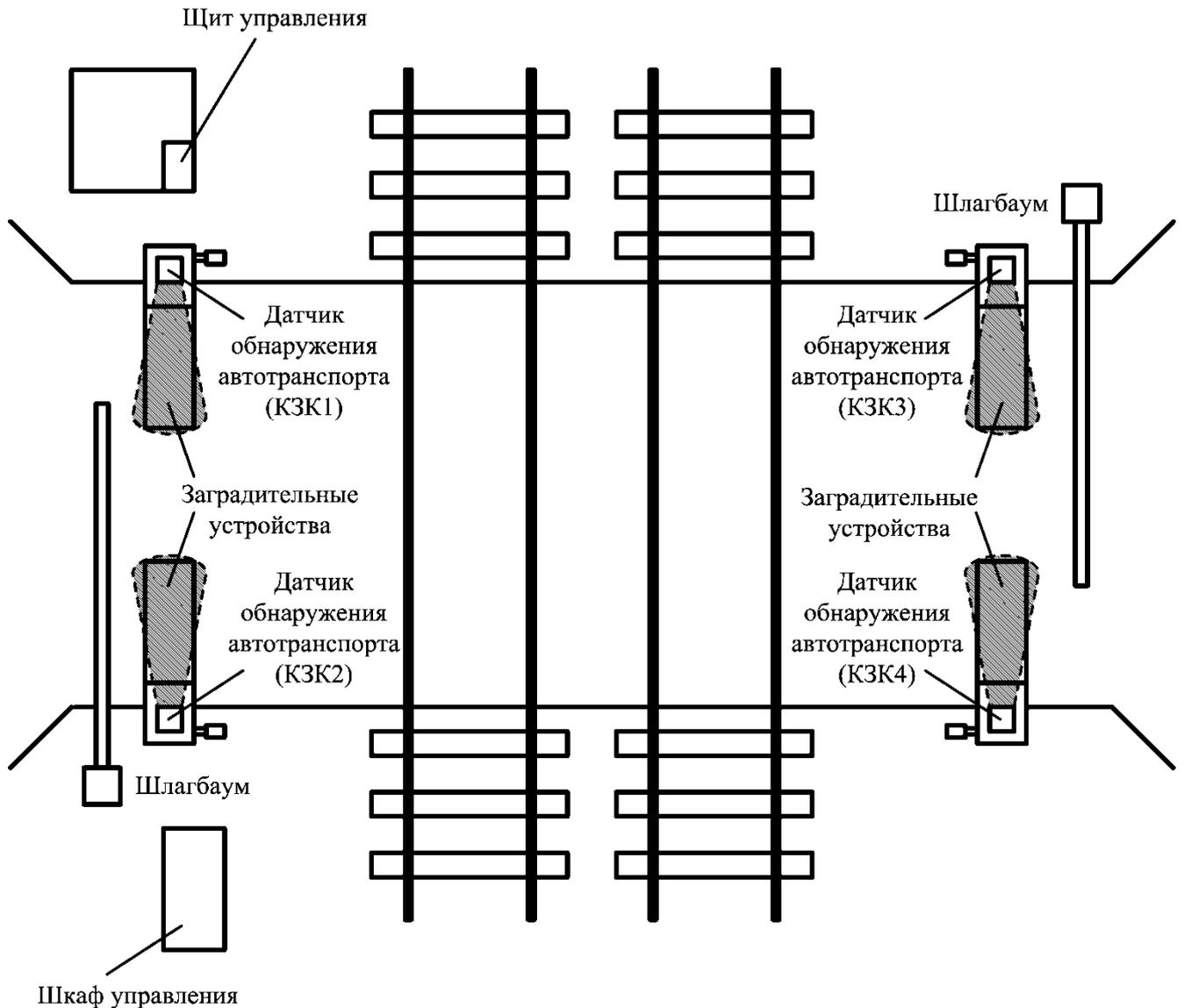


Рисунок 1.7 – Схема размещения оборудования, входящего в комплект УЗП

УЗП в автоматическом режиме работает по сигналам АПС при появлении поезда на участке извещения перед переездом. Информация от АПС поступает на схему обработки в шкаф управления, которая выдает соответствующую команду на приводы заградительных устройств. При отсутствии транспорта над крышками заградительных устройств после опускания шлагбаумов крышки поднимаются, а при наличии – подъем крышки блокируется до полного ее освобождения. Наличие транспортных средств в зоне заградительных устройств проверяется ультразвуковыми датчиками. Датчики позволяют также обнаружить автотранспорт, ока-

завшейся на огражденном переезде, чтобы обеспечить ему возможность выехать, удерживая крышки в опущенном положении.

В работе [16] приводится описание универсального устройства заграждения на переездах без дежурного работника (УЗПУ), которое эксплуатируется с декабря 2013 года на переезде возле станции Мраморская Свердловской железной дороги. Универсальное устройство УЗПУ управляется единым контроллером управления переездом (ЕКУП), который включает в себя следующие подсистемы:

- модернизированные электромеханические заградители УЗм в антивандальном исполнении;
- подсистему выявления препятствий для движения поезда через переезд, использующую три датчика различных принципов действия;
- подсистему автоматического оповещения локомотивных бригад о наличии препятствия на переезде;
- подсистему контроля несанкционированного доступа к техническим средствам УЗПУ;
- подсистему акустического оповещения участников дорожного движения.

Функциональная схема комплекса УЗПУ приведена на рисунке 1.8.

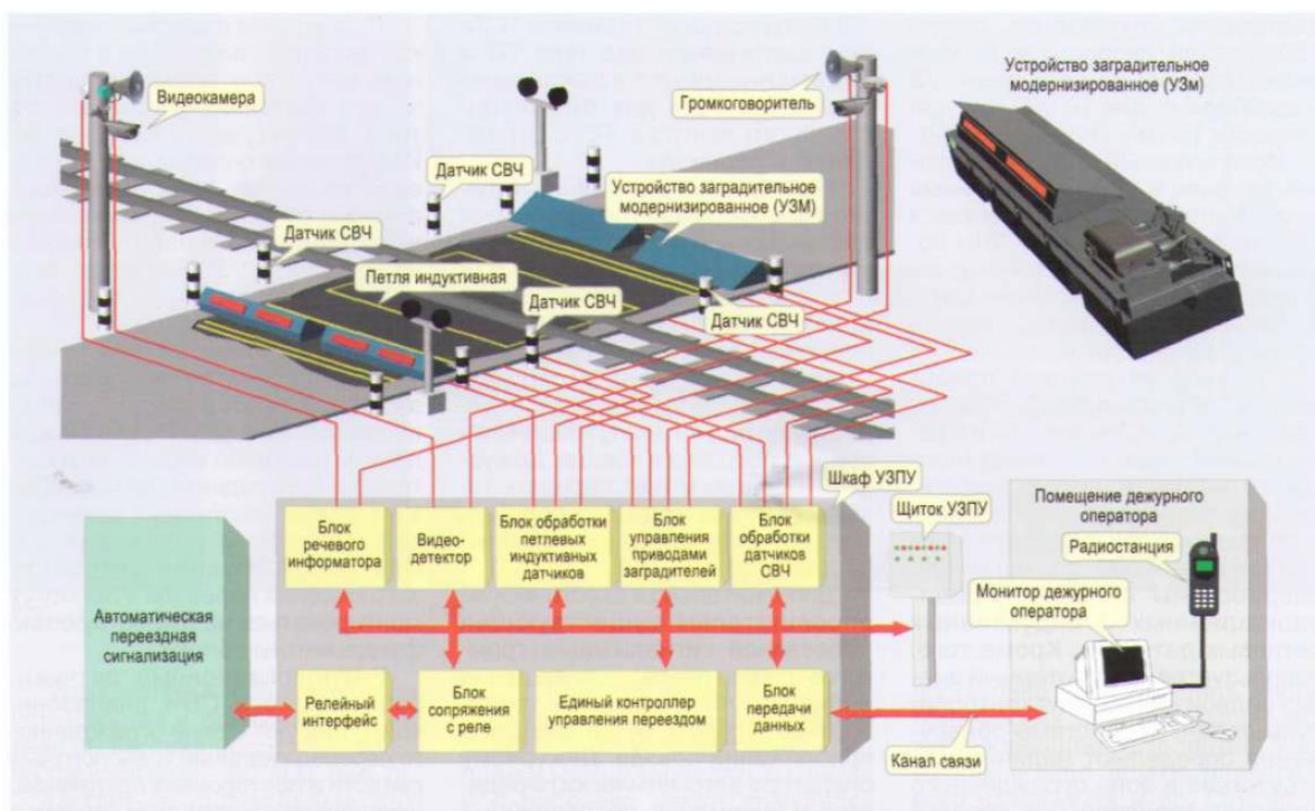


Рисунок 1.8 – Функциональная схема комплекса УЗПУ

Для переездов с участками извещения, выполненными на основе тональных рельсовых цепей, предусматривается алгоритм контроля последовательного занятия рельсовых цепей участка извещения и участка удаления, что позволяет исключить факты несвоевременного открытия и повторного закрытия переезда в случае неисправной работы рельсовых цепей. Организуется передача речевой информации на локомотив при включении заградительной переездной сигнализации [17].

Переезды оборудуются комплексами автоматической фиксации (рисунок 1.9) (в т. ч. видеофиксации) нарушений правил пересечения автотранспортом железнодорожных путей [18].

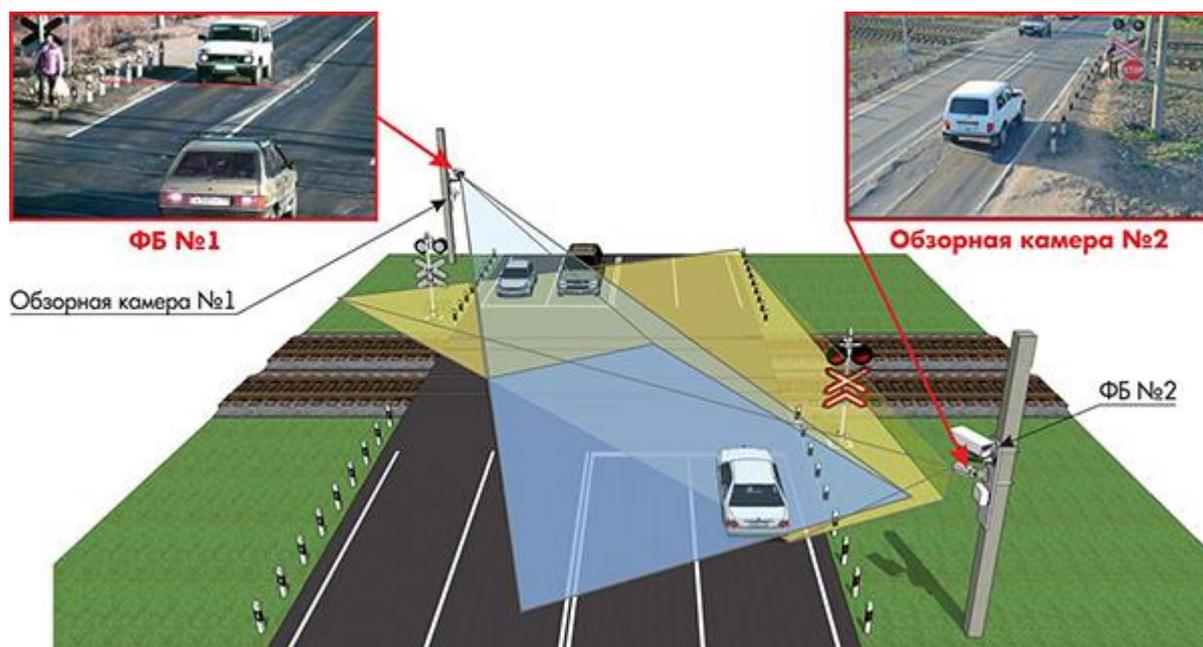


Рисунок 1.9 – Комплекс с видеофиксацией «Кордон-М»

Для повышения безопасности имеются предложения оборудовать переезд информационным табло для оповещения водителей автотранспорта и пешеходов о времени до проследования поезда, что позволит снизить риск проезда закрытого переезда автотранспортом [19,20].

В работах [21-23] предложено разместить видеокамеру (тепловизионную камеру) для наблюдения за переездом и передавать на локомотив изображения и данные о наличии препятствия по средствам беспроводной связи, позволяет оповестить машиниста о неисправности устройств переездной сигнализации или нахождении транспортного средства на переезде, а также задать допустимую скорость проследования переезда.

В [24] приведены результаты исследований, содержащие приемлемые, по мнению водителей автотранспорта, значений времени ожидания поезда после запрета выезда на переезд. В Германии пользователи автодорог считают допустимым время ожидания 2 мин, в Канаде – до 35 сек. Проведенные в Австралии исследования показали, что взаимосвязанность переездной сигнализации с фазами автодорожных сигналов способствуют сокращению заторов на переездах, оснащенных шлагбаумами, на 15 %. Отмечается, что различные варианты информиро-

вания водителей о ситуации на переезде, а также об альтернативных маршрутах объезда также способствуют улучшению ситуации.

Работа переездной сигнализации начинается при приближении поезда к переезду на определенное (расчетное, в зависимости от скорости движения поезда) расстояние. Для обнаружения факта приближения поезда организуются участки извещения, которые реализуют на основе рельсовых цепей или счетчиков осей. При занятии поездом участка извещения, на переезде включается световая и звуковая сигнализация для автотранспорта, чтобы выехавшие после включения сигнализации на переезд транспортные средства успели его покинуть до прохода поезда. Если переезд оборудован автоматическими или полуавтоматическими шлагбаумами, то их опускание происходит по истечении выдержки времени после срабатывания переездной сигнализации, а затем поднимаются барьеры УЗП.

Выделяют два типа систем переездной сигнализации: управляемые участком извещения постоянной длины и управляемые по постоянному времени извещения. Системы первого типа характеризуются подачей сигнала извещения на расстоянии, определяемом для максимальной скорости движения поезда через переезд:

$$L = V_{max} T_{изв}, \quad (1.1)$$

где:  $L$  – длина участка извещения;  $V_{max}$  – максимальная скорость поезда на участке извещения;  $T_{изв}$  – время извещения.

При этом длина участка извещения постоянна для любых скоростей движения поездов на участке, а время извещения определяется как интервал между подачей извещения и вступлением поезда на переезд. Системы с постоянной длиной участка извещения широко применяются на сети железных дорог РФ и стран СНГ.

Существующий порядок расчета длины участка извещения приведен в методических указаниях [25].

Системы с постоянным временем извещения измеряют фактическое расстояние между приближающимся поездом и переездом, а также фактическую скорость поезда. Команда на закрытие переезда подается в зависимости от этих полученных значений таким образом, чтобы обеспечить постоянное время перекрытия переезда не зависимо от скорости поезда. Системы с постоянным временем извещения распространены на железных дорогах США, Канады и некоторых европейских стран.

В отечественной литературе [3, 26, 27] упоминается переездной автоматический комплекс устройств (ПАКУ), разработанный ГТСС и позволяющий сократить время закрытого состояния переезда путем определения фактического расстояния до переезда, скорости и ускорения поезда.

Устройство ПАКУ подробно описывается в работе [28]. Комплекс применяется для дополнительного оборудования охраняемых переездов железных дорог. Он позволяет уменьшить время закрытого состояния переезда за счет определения расстояния до приближающегося к переезду поезда и скорости его движения и определить момент закрытия переезда в функции от расстояния до поезда, его скорости, а также возможного ускорения движения; повысить безопасность движения поездов за счет повышения доверия водителей автотранспорта к работе автоматических устройств переезда и дополнительной информированности водителей о направлении приближения поездов к переезду. Комплекс решает задачу оптимизации времени закрытого состояния переезда. Дается оценка, что применение комплекса может сократить время закрытого состояния переезда на 20 % по сравнению с традиционными АПС, а на переездах, где обращаются поезда со значительным разбросом скоростей, при наличии остановочных платформ, на подходах к станциям сокращение времени закрытого состояния переезда достигает 50 %. В состав ПАКУ входят:

- типовые устройства автоматической переездной сигнализации (АПС);
- шкаф переездного комплекса (ШПК) и размещенный в нем переездной контроллер (ПК) с управляющими микропроцессорными модулями и выходных реле управления;

– указатели направления приближения поезда (УНП) в виде светящихся стрелок для дополнительного информирования водителей автотранспорта при закрытом переезде.

Принцип действия закрытия переезда ПАКУ основан на использовании специальных рельсовых цепей с импульсным зондированием, состоящих из специального генератора и приемника, а также модуля с программой математической обработки электрических сигналов. В рельсовую цепь подаются прямоугольные импульсы амплитудой 30 В и 20 А длительностью 0,1-0,2 с и периодом 10 с, измеряется их форма по току и напряжению, по результатам измерений рассчитываются параметры рельсовой линии. Расстояние до подвижной единицы вычисляется как отношение вычисленного значения общей индуктивности рельсовой линии к удельной ее индуктивности, которая является постоянной величиной, практически не зависит от погодных условий и составляет примерно 0,0023 Гн/км. Для вычисления общей индуктивности рельсовой линии используется однозвенная модель, представляющая рельсовую линию как  $RL$ -цепь с сосредоточенной индуктивностью. Это позволяет оценивать расстояние до поезда, если оно не превышает 9 км. Значение общей индуктивности цепей рельсовой линии определяется из известных уравнений, описывающих переходный процесс [29].

В основу алгоритма работы ПАКУ положены следующие принципы:

- время появления поезда на переезде не должно быть меньше времени извещения, рассчитываемого исходя из параметров переезда;
- время появления поезда на переезде рассчитывается для наиболее неблагоприятного характера движения поезда;
- поезд не может двигаться с ускорением, больше заданного в расчетах;
- поезд не может двигаться со скоростью, больше заданной.

Комплекс ПАКУ был включен в опытную эксплуатацию на переезде 31 км перегона Красное Село – Тайцы Октябрьской дороги, но в настоящее время широкого распространения не получил.

Вопрос создания систем с постоянным временем извещения, в зависимости от фактической скорости поезда исследуется давно. Так, еще в отечественных

учебниках 40–50 годов XX века [30, 31] рассматриваются схемы переездной сигнализации с контролем скорости приближения поездов к переезду, которые основаны на применении нескольких изолированных рельсовых контрольных секций и специального реле с выдержкой времени на притяжение якоря. Количество и длину контрольных секций устанавливают в зависимости от разнообразия скоростей поездов и желательной степени снижения получившихся задержек на переезде. Каждая контрольная секция соответствует некоторому интервалу скоростей движения поездов, для которых закрытие переезда выполняется при вступлении на соответствующую секцию.

В [32, 33] также поднимается вопрос простоя автотранспорта перед закрытым переездом при движении поезда со скоростью ниже максимальной. Предлагается организовать участок извещения с помощью аппаратуры на основе счетчиков осей. Частота сигналов от счетчиков пропорциональна частоте проследования осей поезда над датчиками, что позволяет определять фактическую скорость поезда. В зависимости от значений фактической скорости движения поезда можно управлять закрытием переезда. Точность прогнозируемого времени приближения поезда к переезду повышается, если увеличивается число точек определения скорости. Поэтому наилучший прогноз времени приближения дает непрерывное измерение скорости движения поезда.

В работе [33] предлагается для управления переездной сигнализацией с помощью датчиков счета осей организовать два перекрывающихся контрольных участка таким образом, чтобы сам переезд находился внутри зоны перекрытия. Такое решение позволит обеспечить возможность открыть переезд сразу после прохода поезда. В [34] предложено улучшить решение из [33]: сократить число датчиков счета осей, оставив по одному на каждом железнодорожном пути, но организовать связь с бортовыми устройствами локомотива для получения скорости движения устройствам переездной сигнализации. Момент открытия переезда предложено определять на основе данных о проследовании всех осей поезда и его скорости. В качестве результата заявлено повышение надежности и безопасности

функционирования устройств управления движением на железнодорожном переезде и снижение расходов на техническое содержание переезда.

В [35, 36] предложено оборудовать переезд двумя приемо-передатчиками и сравнивать информацию, поступающую от них для повышения надежности работы устройств управления переездом и обеспечения требований стандарта SIL4.

В [37] описана система управления переездом на основе датчиков счета осей, получающая через радиоканал от локомотива значения координаты и скорости. Координаты предлагается получать от пассивных меток с фиксированными координатами, установленных вдоль рельсовой линии по пути следования поезда на участке приближения на некотором расстоянии друг от друга, например на столбах вдоль железнодорожного полотна. Каждая метка должна иметь свой индивидуальный идентификационный номер, а на локомотиве должно быть установлено соответствующее считывающее устройство.

В работах [19, 38, 39] предложен способ и система для определения фактической координаты и скорости поезда за счет анализа амплитуды и фазы сигналов в рельсовой цепи участка извещения. В рельсовую линию на питающем конце подают сигнал переменного тока и на том же конце непрерывно измеряют амплитуду напряжения и тока. Предварительно проводят измерения при наложении шунта в различные места рельсовой цепи, строят зависимости координаты наложения шунта от значений измеренных амплитуды и фазы. При проследовании поезда измеряются амплитуда и фаза напряжения, по которым вычисляется значение координаты, скорости и ускорения. Амплитуда и фаза сигналов рельсовой цепи зависят от первичных параметров рельсовой линии и сопротивлений по ее концам, что приводит к появлению ошибки, корректировать которую предлагается самонастраивающимся уравнением вычисления координаты поезда.

В работе [40] указывается, что на железных дорогах Германии шлагбаумы, перекрывающие всю ширину проезжей части могут устанавливаться только совместно с датчиками определения свободности переезда, для управления показанием поездного светофора, ограждающего переезд. Без датчиков допускается уста-

новка полушлагбаумов, которые в Германии разрешены только при расчетном времени извещения не более 240 с.

Для уменьшения времени извещения предлагается радиопередающий извещатель приближения к переезду (рисунок 1.10) производства компании Siemens, позволяющий уменьшить максимальное время между включением переездной сигнализации и вступлением поезда на переезд, что осуществляется за счет задержки включения времени в зависимости от скорости приближающегося поезда.

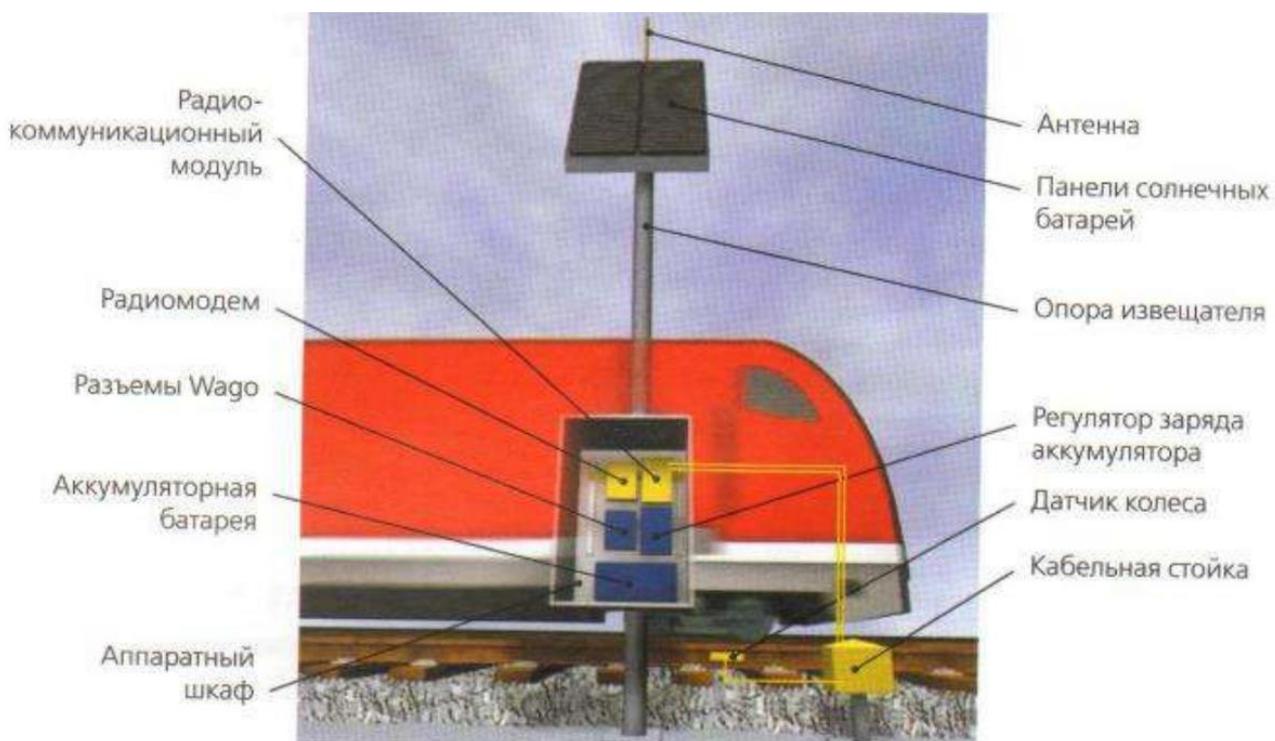


Рисунок 1.10 – Радиопередающий излучатель приближения к переезду

Радиопередающий извещатель содержит: датчик колеса, радиокоммуникационный модуль с вычислительным блоком, радиомодем, антенну, аккумуляторную батарею с регулятором заряда аккумулятора. Задержка включения переездной сигнализации определяется на основе информации от извещателя, который срабатывает при проследовании первой колесной пары над датчиком колеса, расположенным в точке начала участка извещения. Длина участка приближения к переезду рассчитываются таким образом, чтобы при движении с установленной скоростью самого быстрого регулярного поезда включение переездной сигнали-

зации осуществлялось за оптимальное время. Таким образом, интервал между проследованием датчика и вступлением на переезд самого медленного поезда может превысить максимально допустимое время приближения к переезду с полушлагбаумами, равное 240 с. При использовании радиопередающего извещателя на настраиваемом расстоянии от первого датчика устанавливают второй, что позволяет определять скорость и ускорение по первой колесной паре и передавать извещение с необходимой задержкой.

Программа блока вычисления радиопередающего извещателя позволяет определять тип подвижного состава на основе конструкции тележек с учетом последовательности осей и межосевого расстояния. Подвижной состав подразделяется на три группы: грузовые поезда, пассажирские поезда, одиночные локомотивы, что позволяет определять время извещения с учетом возможной динамики разгона для различных типов подвижного состава. Функция динамического определения ускорения может быть расширена за счет непрерывного измерения всех колесных пар поезда. Радиопередающий извещатель нельзя использовать без ограждения переезда основным сигналом [40].

Рассмотренные решения направлены на оптимизацию принципа действия переездной сигнализации – на сокращение времени излишнего простоя автотранспорта у закрытого переезда за счет определения скорости движения приближающегося поезда и управления закрытием переезда в зависимости от нее. Далее рассмотрим оценки эффективности средств переездной сигнализации.

В работе [41] предложено оценивать эффективность систем переездной сигнализации через дополнительные потери от излишнего простоя автотранспорта у закрытого переезда. При движении поезда со скоростью 10 км/ч по участку извещения фиксированной длины, рассчитанного из условия движения с максимальной скоростью 60 км/ч, время ожидания составит 4,3 мин, а при максимальной скорости 220 км/ч – более 25 мин. В результате проведенных расчетов установлено, что на переезде со средней интенсивностью движения в течение года теряется несколько тысяч автомобиле-часов из-за преждевременного закрытия переезда.

Сравнение систем с постоянной длиной участка извещения и систем с постоянным временем извещения выполнено в [42], где исследуется время от момента включения устройств оповещения до фактического вступления поезда на переезд. Отмечается, что с целью обеспечения безопасности движения при оценке расстояния между поездом и переездом, на котором включаются устройства ограждения, следует учитывать возможность увеличения скорости поезда в любой момент следования по участку извещения с максимально возможным ускорением. Если поезд начинает разгон после включения устройств оповещения, то могут быть нарушены условия обеспечения безопасности движения. В результате возникнет вероятность того, что фактическое время извещения будет меньше необходимого. В рассматриваемой работе сделаны выводы о том, что при обращении на участке переезда поездов с высокими динамическими характеристиками (большим ускорением) применение систем с постоянным временем извещения не дает значительного сокращения времени извещения. Сокращение времени подачи извещения на переезд, оборудованный системами с постоянным временем извещения, может быть достигнуто только за счет нарушения условий безопасности движения поездов. Однако, как указано в работе [42], приведенные выводы справедливы при отсутствии инструкций, ограничивающих возможность ускорения движения на участках приближения к переездам.

В [43] приводятся результаты расчетов стоимости задержек для интенсивности движения 1500 автомобилей/ч в ежедневные часы пик (продолжительностью 3 ч/сут). Оказалось, что стоимость задержек превышает 23 тыс. дол. США/сут. Не учитывались стоимость дополнительно потребляемого топлива, расходы, связанные с выбросами в атмосферу, и убытки от срыва назначенных встреч.

В работе [44] предложены рекомендации по определению экономических потерь от простоя транспорта перед закрытым переездом. Оценка основана на сравнении условий движения автотранспорта по участку дороги через переезд и при его отсутствии.

В рассмотренных работах выполнены оценки эффективности работы переездной сигнализации, под которой понимается время между моментом закрытия переезда и моментом вступления поезда на переезд. Имеются противоречивые оценки эффективности систем с постоянным временем извещения по сравнению с системами с участком извещения постоянной длины.

При скоростях движения поездов более 140 км/ч работа переезда должна соответствовать требованиям, предъявляемым к участкам с высокоскоростным движением.

Для участков со смешанным движением обычных и скоростных поездов организуется передача на переезд признака скоростного поезда, либо переезд закрывает дежурный не менее чем за 5 мин до проследования скоростного поезда и открывает его спустя 3 мин после удаления [17].

Устройство участков извещения переездов на линиях с высокоскоростным движением поездов рассматривается в работах [45,46]. На высокоскоростных магистралях предусмотрено закрытие переезда за 10 мин до прохода поезда, если его скорость не превышает 250 км/ч, и за 15 мин, если его скорость выше 250 км/ч, чтобы обеспечить безопасность безостановочного пропуска через станцию.

Пересечения, расположенные в одном уровне автодорог высокоскоростных магистралей, оборудуются противотаранными устройствами (ПТУ), которые полностью перекрывают дорожное полотно шириной 7,5 м. Основная задача ПТУ гарантированно остановить автотранспорт массой до 20 т при скорости движения до 40 км/ч [47].

В основе принципа действия АПС и закрытия переезда лежит извещение о приближении поезда. Участки извещения формируются рельсовыми цепями или датчиками счета осей. Длина участка извещения определяется по установленной максимальной скорости движения поездов. Переезд может закрываться сразу после вступления поезда на участок извещения или после выдержки времени, что определяется фактической скоростью поезда. Организация участка извещения и

обеспечение времени подачи извещения влияют на обеспечение безопасности на переезде и величину времени простоя автотранспорта у закрытого переезда.

#### **1.4. Выводы по разделу и постановка задач исследования**

1. Состояние безопасности на переездах является тревожным. 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.

Существующие средства обеспечения безопасности позволяют только сдерживать рост аварий на переездах. Поэтому исследование, направленное на совершенствование мер по обеспечению безопасности на переездах, является актуальным.

2. 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 фактическим и расчетным 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 автотранспорта 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.

3. 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. 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 и тормозных путей поездов и уточнения понятия оптимальное время закрытия переезда.

4. Имеются противоречивые оценки эффективности систем с постоянным временем извещения по сравнению с системами с постоянной длиной участка извещения. Эффективность систем с постоянным временем извещения ограничивается в случае существенного различия ускорений поездов, следующих через переезд.

5. Для достижения поставленной в диссертационной работе цели требуется решить следующие задачи:

- разработать модель взаимодействия поезд-автомобиль-переезд;
- 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.

## 2. МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗАКРЫТИЕМ ПЕРЕЕЗДА

### 2.1. Модель взаимодействия между поездом и автомобилями на переезде

Как показано в главе 1 диссертационной работы, на переездах наблюдаются случаи столкновения поездов, которые машинисты не успевают остановить экстренным торможением, с автотранспортом, вынуждено остановившимся на закрытом переезде. Для исследования этого вопроса необходима модель, описывающая взаимодействие между поездом и автомобилями на переезде. Рассмотрим переезд с некоторой известной длиной участка извещения  $L_{изв}$ , диаграмма работы которого приведена на рисунке 2.1.

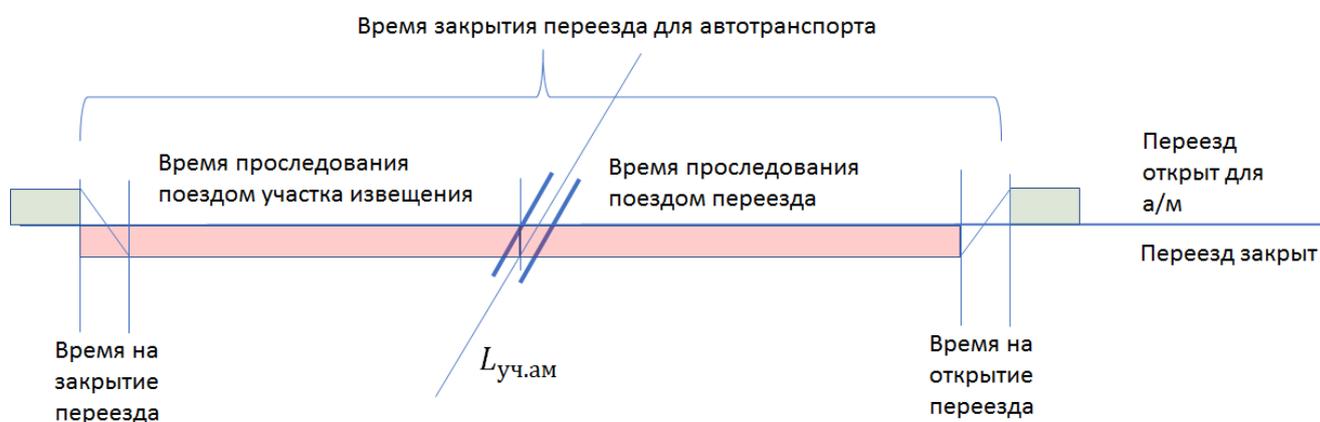


Рисунок 2.1 – Диаграмма работы железнодорожного переезда

Для описания взаимодействий на переезде введем три функции:

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

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

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

Движение поезда происходит под действием внешних сил, действующих на поезд:

- силы тяги  $F_K$ ;
- силы сопротивления движению  $W_K$ ;
- тормозной силы  $B_T$ .

$$R = F_K - W_K - B_T. \quad (2.1)$$

Алгебраическая сумма этих сил определяет равнодействующую  $R$ , по которой можно судить о характере движения поезда. Перейдем к удельной равнодействующей силе  $r$ , измеряемой в Ньютонах и действующей на единицу массы:

$$r = \frac{R}{P + Q}, \quad (2.2)$$

где:  $P$  – масса локомотива;

$Q$  – масса вагонов.

Составим уравнение, описывающее функцию изменения координаты поезда во времени:

$$X(t) = \int_{t_0}^t \left( \int_{t_0}^{\tau} r(t) dt \right) d\tau, \quad (2.3)$$

где:  $t_0 \leq \tau \leq t$ .

Интегрирование (2.3) позволяет перейти к известному уравнению движения поезда [48-51]:

$$\frac{d^2 X}{dt^2} = \frac{1}{(1 + \gamma)} [f_T - w(v) - w(i) - \vartheta_p \varphi_{кр}(v)], \quad (2.4)$$

где:  $\gamma$  – коэффициент инерции вращающихся масс;

$f_T$  – удельная сила тяги локомотива;

$\varphi_{кр}(v)$  – расчетный коэффициент трения тормозной колодки о бандаж;

$\vartheta_p$  – расчетный тормозной коэффициент;

$w(v)$  – удельная основная сила сопротивления движению;

$w(i)$  – удельная сила сопротивления движению от уклонов и кривых.

При торможении поезда на него не действует сила тяги, поэтому можем записать:

$$\frac{d^2X}{dt^2} = -\frac{1}{(1 + \gamma)} (w(v) + w(i) + \vartheta_p \varphi_{кр}(v)), \quad (2.5)$$

Тормозной путь поезда  $S_T$  как функцию от скорости  $v$  можно определить из (2.5) в виде зависимости:

$$S_T = \frac{1}{(1 + \gamma)} \int_0^v \frac{v dv}{w(v) + w(i) + \vartheta_p \varphi_{кр}(v)}, \quad (2.6)$$

Силы сопротивления движению не доступны для управления в процессе движения. Управлять остановкой поезда возможно только за счет изменения тормозной силы. При определении тормозной силы учитываются расчетный тормозной коэффициент  $\vartheta_p$ , расчетный коэффициент трения колодки о колесо  $\varphi_{кр}$  и коэффициент учета вида торможения  $C$ :

$$b_T = \vartheta_p \cdot \varphi_{кр} \cdot C. \quad (2.7)$$

Расчетный тормозной коэффициент характеризует средства торможения поезда и представляет собой отношение суммы сил нажатия тормозных колодок к массе поезда:

$$\vartheta_p = \frac{\sum K_p}{(Q + P)}, \quad (2.8)$$

где:  $\sum K_p$  – суммарная расчетная сила нажатия тормозных колодок;

$P$  – масса локомотива;

$Q$  – масса вагонов.

Расчетный коэффициент трения колодок зависит от их материала, для стандартных чугунных колодок равен:

$$\varphi_{кр} = 0,27 \frac{v + 100}{5v + 100}. \quad (2.9)$$

Коэффициент учета вида торможения  $C$  принимается равным 1 при экстренном торможении, при других видах торможения он находится в пределах от 0 до 1.

Уравнение движения поезда может быть решено интегрированием по интервалам скорости, либо по интервалам времени [48–50]. Наиболее распространен аналитический метод расчета длины тормозного пути, при котором численно интегрируют уравнение движения поезда по интервалам скорости. Тормозной путь разбивается на два участка: подготовительный  $S_{тп}$  и действительный  $S_{тд}$ . В расчете принимается, что тормоза не работают при прохождении подготовительного пути, а на участке действительного тормозного пути они действуют с неизменным максимальным давлением в тормозных цилиндрах (ТЦ), которое возникает скачкообразно. Длина тормозного пути по интервалам скорости рассчитывается по формуле:

$$S_T = S_{тп} + S_{тд} = \frac{v_0 t_{п}}{3,6} + \sum \frac{500(v_H^2 - v_K^2)}{(1 + \gamma) [w_{ox} + w_c + 1000 \vartheta_p \varphi_{кр}]}, \quad (2.10)$$

где:  $v_H$  – начальное значение скорости;

$v_K$  – значение, до которого следует снизить скорость;

$w_{ox}$  – основное удельное сопротивление движению поезда при холостом ходе локомотива;  $w_c = 9,81i$  – дополнительное удельное сопротивление движению от спрямленного профиля и плана,  $i$  – уклон;

$\varphi_{кр}$  – коэффициент трения колодок;

$\vartheta_p$  – тормозной коэффициент поезда.

Известно, что расчеты по скачкообразной диаграмме наполнения ТЦ, дают удовлетворительную точность для скоростей до 40 км/ч, на спусках до 20 ‰. Применение скачкообразной диаграммы приводит к появлению существенных ошибок, в случае, когда остановка поезда происходит до наполнения ТЦ, что приводит к значительному увеличению расчетного тормозного пути.

Более точную оценку тормозного пути дает метод интегрирования уравнения движения поезда по интервалам времени, в котором изменение скорости  $\Delta v$  в интервале  $\Delta t$  вычисляется по выражению:

$$\Delta v = -\frac{(1 + \gamma)}{3600} (w_{ox} + w_c + 1000\vartheta_p\varphi_{кр})\Delta t, \quad (2.11)$$

Приращение длины тормозного пути  $\Delta S_T$  в интервале  $\Delta t$  находят по скорости движения на предыдущем расчетном шаге  $v_n$ , получив среднюю:

$$\Delta S_T = \frac{v_n + \Delta v}{2} \cdot \frac{\Delta t}{3,6}. \quad (2.12)$$

Все полученные отрезки  $\Delta S_T$  складываются для вычисления полного тормозного пути.

Следует отметить, что при интегрировании по интервалам времени учитывается изменение расчетного тормозного коэффициента в процессе торможения  $\vartheta_p$ :

при  $t \leq t_0$ ,  $\vartheta_p = 0$ ;

при  $t > t_0$  и  $t < t_{\max}$ ,  $\vartheta_p = a_{\text{ср}} \sin(b_{\text{тп}} (t - t_0)) \vartheta_{p \max}$ ;

при  $t \geq t_{\max}$ ,  $\vartheta_p = a_{\text{ср}} \vartheta_{p \max}$ ,

где:  $t$  – текущее время;

$t_0$  – время от момента начала торможения до начала повышения расчетного тормозного коэффициента в процессе наполнения тормозных цилиндров в поезде;

$a_{\text{ср}}$  – параметр, характеризующий планируемую степень реализации полного расчетного тормозного коэффициента при различных видах торможения;

$b_{\text{тп}}$  – параметр, характеризующий темп повышения расчетного тормозного коэффициента в процессе наполнения тормозных цилиндров в поезде;

$\vartheta_{p \max}$  – полный расчетный тормозной коэффициент;

$t_{\max}$  – время от момента начала торможения до момента достижения установившегося (максимального) давления во всех тормозных цилиндрах поезда.

Аналогично можем записать  $Y(t)$  функцию изменения координаты одиночного автомобиля во времени:

$$Y(t) = \int_{t_0}^{t_1} \left( \int_{t_0}^{\tau_1} r_a(t) dt \right) d\tau, \quad (2.13)$$

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:

$$T_i = \int_{l_1}^{l_2} \left( \frac{1}{v_{AM}^{\text{ср}}(l)} - \frac{1}{v_{AM}^F(l)} \right) dl, \quad (2.14)$$

где:  $dl$  – элементарный участок дороги;

$v_{AM}^F$  – скорость транспортного потока свободного движения;

$v_{AM}^{\text{ср}}$  – 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:

$$Z(t) = \begin{cases} 0, X(t) \notin (S_0; S_0 + L_{изв} + L_{п}), \\ 1, X(t) \in [S_0; S_0 + L_{изв} + L_{п}]. \end{cases} \quad (2.15)$$

Взаимодействие поезда и автомобилей на переезде показано графически на рисунке 2.2.

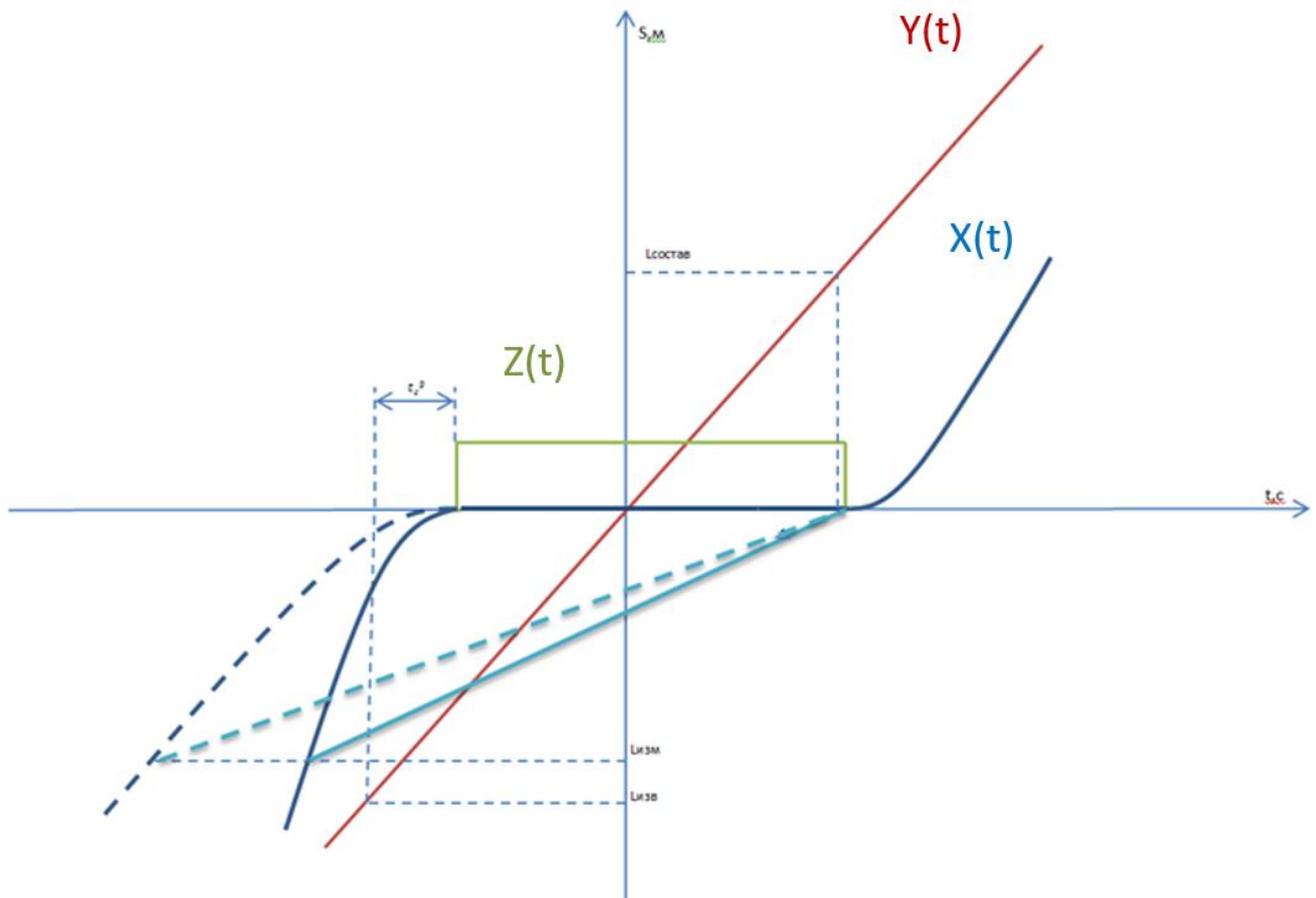


Рисунок 2.2 – Взаимодействие поезда и автомобилей на переезде

Предложенная модель [52] позволяет исследовать соотношения между длиной участков извещения переездной сигнализации и тормозных путей поездов, оценить вероятность столкновения при вынужденной остановке автомобиля

на переезде, определить эффективность технических решений переездной сигнализации.

## 2.2. Исследование соотношений между длиной участков извещения переездной сигнализации и тормозных путей поездов

Длина участка извещения рассчитывается в соответствии с методическими указаниями [25] по выражению:

$$l_{\text{изв}} = \frac{v_{\text{max}} \cdot t_c^{\text{p}}}{3,6}, \quad (2.16)$$

где:  $v_{\text{max}}$  – максимальная скорость движения поездов на участке, где расположен переезд;  
 $t_c^{\text{p}}$  – расчетное время извещения, 3,6 – коэффициент перевода км/ч в м/с.

Длина участка извещения принимается исходя из максимальной скорости движения поездов, установленной на данном участке, но не более 140 км/ч. При больших скоростях работа переезда осуществляется в соответствии с требованиями, предъявляемыми к участкам с высокоскоростным движением.

Расчетное время извещения определяется из условия гарантированного освобождения переезда транспортными средствами, находящимися на нем после включения переездной сигнализации, и равно:

$$t_c^{\text{p}} = \frac{3,6(l_{\text{пер}} + l_{\text{эк}} + l_0)}{v_{\text{эк}}} + t_{\text{пр}} + t_{\text{г}}, \quad (2.17)$$

где:  $l_{\text{пер}}$  – ширина переезда в метрах;

$l_{\text{эк}} = 24$  – максимальная длина экипажа (автомобиля), м;

$l_0 = 5$  – расстояние от переездного светофора шлагбаума до линии остановки автотранспорта, м;

$v_{\text{эк}} = 8$  – расчетная скорость автотранспорта, км/ч;

$t_{\text{пр}}$  – время срабатывания приборов извещения и управления переездной сигнализацией, с, если в участок извещения входят импульсные (кодовые) рельсовые цепи, то  $t_{\text{пр}} = 4\text{с}$ , иначе  $t_{\text{пр}} = 2\text{с}$ ;  
 $t_r = 10$  – гарантийное время, с.

Анализ соотношений (2.16) и (2.17) показывает, что длина участка извещения зависит от максимальной скорости движения поездов по переезду и ширины (количества железнодорожных путей, через которые проходит автомобильная дорога) самого переезда. В выражениях для расчета длины участка извещения (2.16) и времени извещения (2.17) не учитываются характеристики поезда и длина пути торможения.

Ширина переезда, относительно траектории движения поездов, определяется из следующих соображений. Расчетная ширина переезда равна расстоянию от переездного светофора (основного или дублирующего), наиболее удаленного от крайнего рельса до противоположного крайнего рельса, увеличенное на расстояние необходимое для безопасной остановки автомобиля после проследования переезда (принимается равным 2,5 м). Минимальное расстояние установки переездного автомобильного светофора от крайнего рельса должно быть не менее 6 м. На переездах с двумя и более полосами для движения автотранспорта в данном направлении, где видимость сигналов переездных светофоров может быть затруднена, предусматривают установку дополнительных (одного или двух) светофоров. Полученная величина округляется до ближайшего целого числа в большую сторону.

Сформулируем условие остановки поезда торможением перед переездом, оно заключается в том, что тормозной путь поезда должен быть не более расстояния, оставшегося поезду до переезда после его закрытия [53]:

$$S_T \leq l_{\text{изв}} - l_{\text{закр}}, \quad (2.18)$$

где:  $S_T$  – тормозной путь поезда;

$l_{\text{изв}}$  – длина участка извещения;

$l_{\text{закр}}$  – расстояние, которое проходит поезд за время его закрытия для автотранспорта.

Значение  $l_{изв}$  определяется по выражению (2.16), величина  $l_{закр}$  определяется скоростью поезда при движении по участку извещения и временем замедления на срабатывание аппаратуры АПС, может быть вычислено по выражению:

$$l_{закр} = \frac{v \cdot t_{зам}}{3,6}, \quad (2.19)$$

где:  $t_{зам} = 15$  с – замедление на срабатывание устройств АПС.

Для выполнения расчетов возьмем наиболее неблагоприятные условия остановки поезда. Если поезд движется по участку извещения с максимально допустимой скоростью  $v = v_{max}$ , то условие (2.18) можно переписать в виде:

$$S_T \leq \frac{v_{max} \cdot (t_c^p - t_{зам})}{3,6}, \quad (2.20)$$

Вычислим значения правой части неравенства (2.20) для переезда шириной 11 м и различных значений скоростей движения и представим в виде таблицы 2.1. Время замедления на срабатывание аппаратуры АПС принято равным 15 с.

Таблица 2.1 – Расстояние до переезда после опускания шлагбаума

Ширина переезда, м	Время извещения, с	Расстояние, между поездом и переездом после опускания шлагбаума, м (при движении с постоянной скоростью)												
		Скорость движения поезда, км/ч												
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
11	30,0	83	125	167	209	250	292	334	375	417	459	500	542	584

На основании выражений 2.10 и (2.16 - 2.20) определяется условие, при котором поезд сможет остановиться перед автотранспортом, задержавшемся на переезде после его закрытия:

$$0,278v_0t_{\Pi} + \sum \frac{500(v_{\text{н}}^2 - v_{\text{к}}^2)}{\zeta[w_{ox} + w_c + 1000\vartheta_p\varphi_{\text{кр}}]} \leq \frac{v_{\text{max}} \cdot (t_c^{\text{п}} - t_{\text{зам}})}{3,6}, \quad (2.21)$$

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  $\vartheta_p$ .

Рассмотрим случай, когда отсутствует уклон участка, на котором расположен переезд, а приближающейся к переезду поезд имеет чугунные тормозные колодки.

По условиям безопасности наименьшее значение тормозного коэффициента для грузовых поездов  $\vartheta_p = 3,3$  при движении со скоростями до 90 км/ч, для пассажирских –  $\vartheta_p = 6$  при движении со скоростями до 120 км/ч [50].

Неравенство решается графическим способом, на графике зависимостей тормозных путей грузовых (рисунок 2.3) и пассажирских (рисунок 2.4) поездов при экстренном торможении от тормозного коэффициента нанесем рассчитанные длины участков извещения.

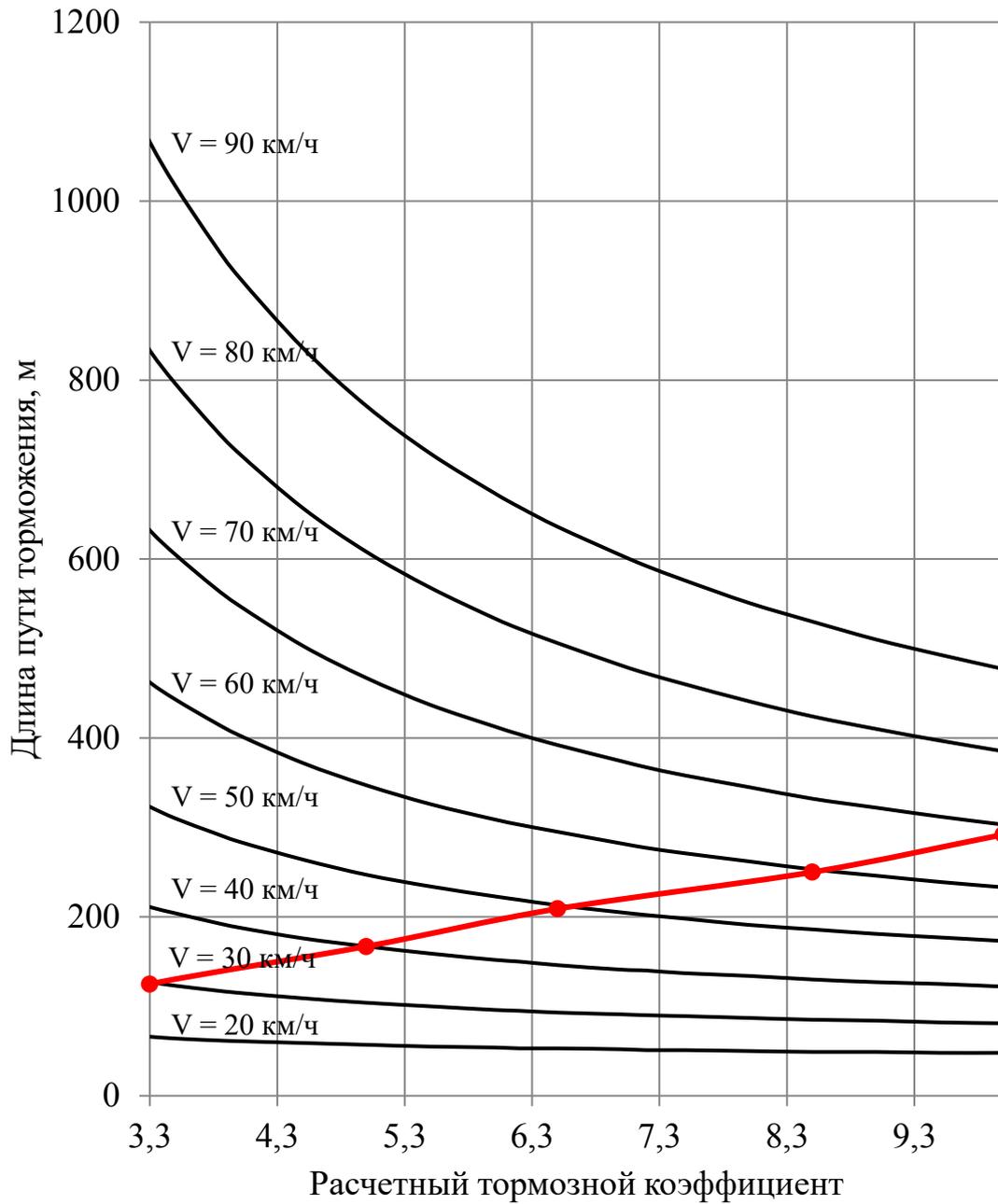


Рисунок 2.3 – Графическое решение неравенства для грузовых поездов

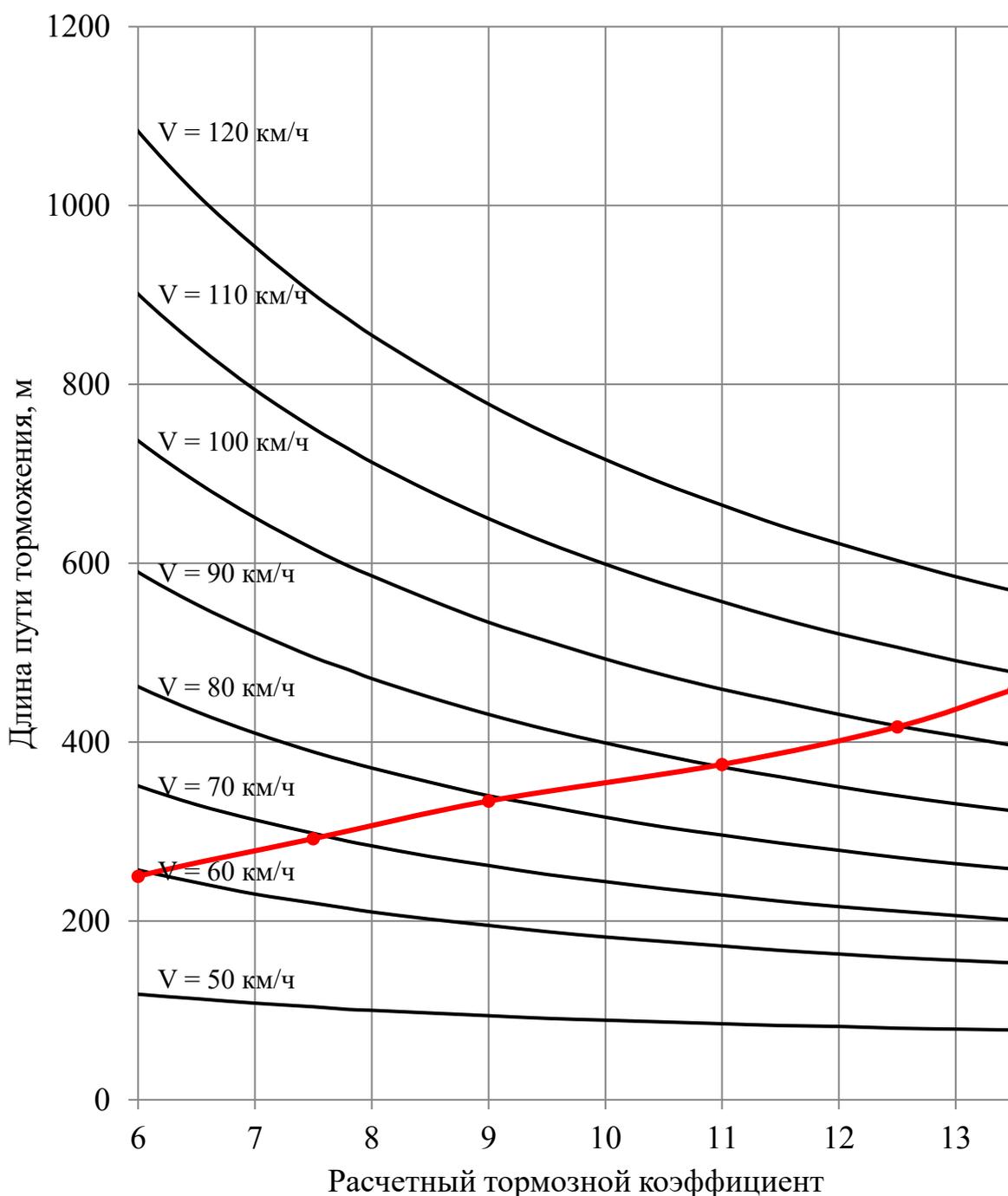


Рисунок 2.4 – Графическое решение неравенства для пассажирских поездов

Графическое решение неравенства (2.21) показывает: 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. Ситуация, когда поезд после закрытия переезда не сможет остановиться в случае необходимости, вполне вероятна.

Так же данную ситуацию можно отобразить, применяя разработанную модель «поезд-переезд-автомобиль» (рисунок 2.5). Модель построена для максимальной скорости поезда на участке 60 км/ч, тормозном коэффициенте 3,3, время закрытия и открытия переезда 15 сек и 13 сек. соответственно, длина состава 1100 м. Все остальные параметры рассчитываются согласно приведенной выше методике.

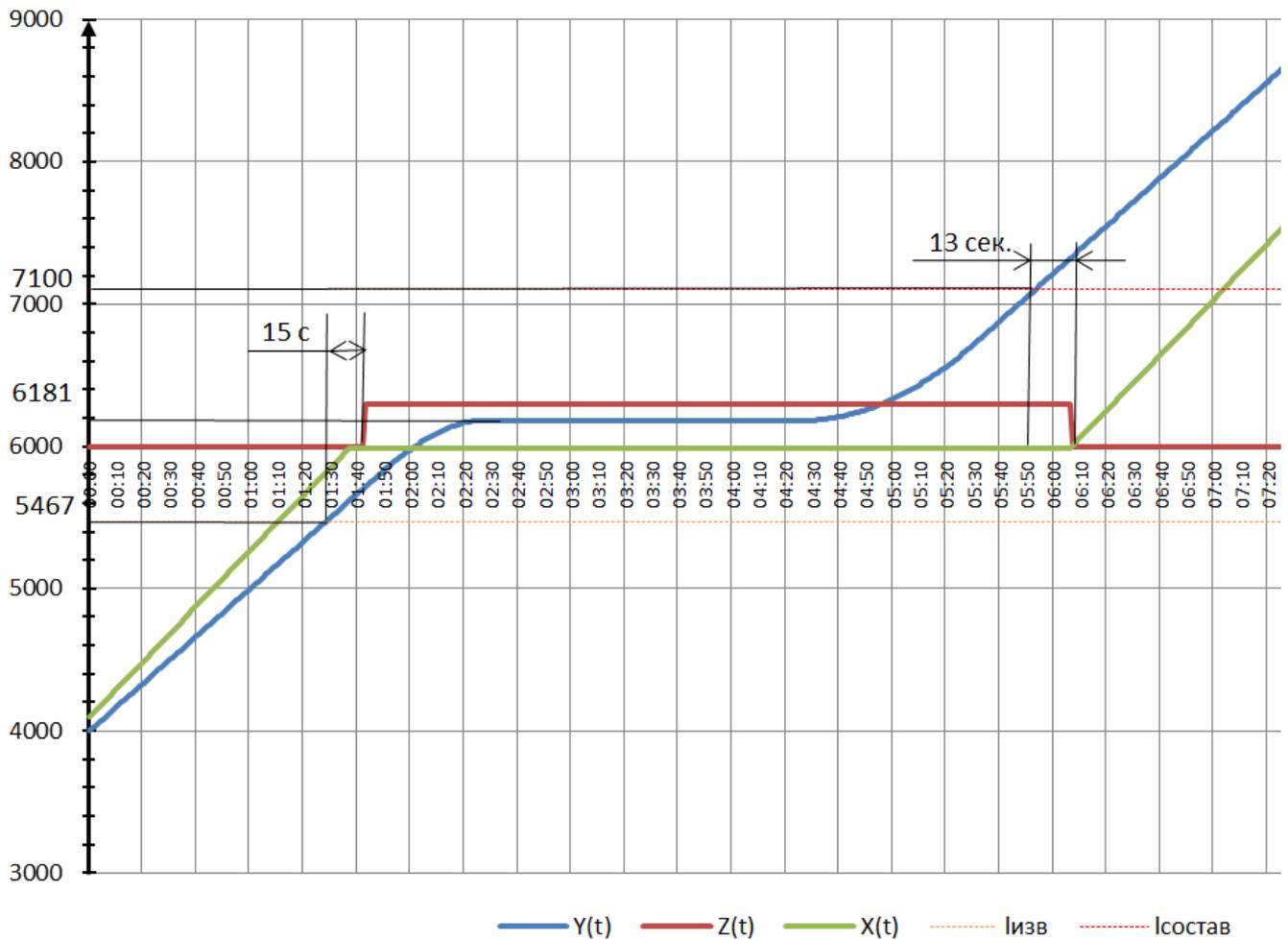


Рисунок 2.5 – Расчеты по предложенной модели

Поезда, следующие через переезд, имеют различные характеристики: скорость движения и тормозной коэффициент. Поэтому требуется выполнить оценку вероятности столкновения при вынужденной остановке автотранспорта на переезде.

Существующие методы 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.

Удлинение участка извещения приводит к снижению пропускной способности автомобильной дороги из-за увеличения времени закрытия шлагбаума, т. е. обостряется проблема простоя автотранспорта у закрытого переезда. Другими словами, в существующих системах АПС обеспечение безопасности движения (снижение вероятности столкновений) на переезде, приводит к ухудшению эксплуатационных характеристик (уменьшению пропускной способности) дорог, проходящих через переезд.

Снижение скорости движения поездов позволяет существенно уменьшить тормозной путь поезда, но приводит к уменьшению пропускной способности железной дороги. Систематическое снижение скорости перед переездами негативно повлияет на работу загруженных участков. Поэтому уменьшение вероятности столкновения путем снижения скорости перед переездами допустимо на малодеятельных линиях.

Совершенствование средств торможения предполагает увеличение тормозного коэффициента. Расчетный тормозной коэффициент представляет собой отношение суммы сил нажатия тормозных колодок к весу поезда. Значительное повышение тормозного коэффициента так же, как и динамическое изменение его значения в поездке, не представляется возможным, поскольку требует увеличения силы нажатия тормозных колодок, либо уменьшения веса поезда.

Управление АПС по характеристикам приближающегося поезда 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. Поэтому имеет смысл использовать понятие оптимального времени извещения.

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. Для обеспечения оптимального времени работы АПС необходимы технические решения, позволяющие автоматически остановить поезд при занятости закрытого переезда автомобильным транспортом. Поэтому требуется разработка метода вычисления длины участка извещения по характеристикам приближающегося поезда.

### **2.3. Оценка вероятности столкновения при вынужденной остановке автотранспорта на переезде**

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 [54]. Получить значения тормозных путей поезда на каждом переезде эксперименталь-

ным путем не представляется возможным. Поэтому предлагается определить тормозные пути по известной модели торможения поезда (2.6), 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  $\vartheta_d$ :

$$\widehat{S}_T = \varphi(v_n, \vartheta_d) \quad (2.22)$$

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 (СН), который подключается к локомотивной аппаратуре с помощью блока согласования (БС-СН) [55]. 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.

Средства торможения поезда должны обеспечивать безопасность при остановке на любой допустимой скорости движения при значениях расчетного тормозного коэффициента равного для грузовых поездов и скоростей движения до 90 км/ч – не менее 3,3, пассажирских со скоростями до 120 км/ч – не менее 6.

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.

Определим закон распределения действительного тормозного коэффициента  $\vartheta_p$ , что требует выполнения следующих этапов:

- выбор теоретического закона распределения;
- оценка параметров распределения по экспериментальным данным;
- вычисление теоретических значений частот и сравнение их с выборочными;
- анализ значения статистики  $\chi^2$  и вывод о согласии экспериментальных данных с теоретическим законом распределения.

В литературе [48, 56] теоретически получено и обосновано выражение для определения плотности распределения фактических значений тормозного коэффициента:

$$p(\vartheta_{сл}) = \frac{1}{\sqrt{\pi a}} \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{\vartheta_{сл}}{a}\right)^2} \cdot \frac{B}{A} e^{\frac{B^2}{A} - C}, \quad (2.23)$$

где:  $\vartheta_{сл}$  – случайное значение тормозного коэффициента, возможное в рассматриваемых условиях;

$a, A, B, C$  – параметры, зависящие от средних значений случайной силы нажатия тормозов и случайного веса поезда, а также от их дисперсий.

По выражению (2.23) можно предположить, что плотность распределения тормозного коэффициента подчиняется закону Коши. Верность данного предположения подтверждается тем фактом, что отношение независимых нормально распределенных случайных величин (в данном случае сумма сил нажатий тормозных колодок и вес поезда) распределено по закону Коши [57-59].

Случайная величина, подчиняющаяся закону Коши, имеет плотность распределения:

$$p(\vartheta_d) = \frac{1}{\sqrt{\pi}b} \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{(\vartheta_d - a)}{b}\right)^2}, \quad (2.24)$$

где  $a$  – параметр положения;

$b$  – параметр масштаба, характеризующий центр распределения.

Распределение Коши не имеет моментов вследствие расходимости определяющих их интегралов, относится к классу распределений с тяжелыми хвостами – распределений, для которых не выполнен закон больших чисел. Это означает, что существуют выборочные оценки для среднего значения и среднего квадратического отклонения, однако они ни к чему не сходятся и не имеют функциональной связи с параметрами распределения. Оценка параметров на основе экспериментальных данных представляет трудности. Наиболее точные оценки могут быть получены методом максимального правдоподобия и поисковыми алгоритмами [60]. Для получения оценок указанным методом целесообразно использовать компьютерные программы.

По имеющейся выборке значений действительного тормозного коэффициента получены оценки:  $\hat{a} = 3,3$ ,  $\hat{b} = 0,14$ .

Проверим гипотезу о том, что распределение значений действительного тормозного коэффициента подчиняется закону Коши с помощью критерия согласия Пирсона  $\chi^2$ . По формуле Стерджесса оптимальное количество интервалов группировки данных равно 9. Сведем в таблицу 2.2 статистический ряд, построенный по выборочным значениям.

Таблица 2.2 – Статистический ряд распределения действительного тормозного коэффициента

$\vartheta_{d_i}$	2,12	2,37	2,61	2,86	3,1	3,34	3,59	3,83	4,08
$\omega_i$	0,01	0,013	0,019	0,067	0,24	0,53	0,073	0,029	0,019
$h_i$	0,039	0,052	0,078	0,274	0,980	2,170	0,301	0,118	0,078
$p(\vartheta_{d_i})$	0,032	0,050	0,090	0,205	0,784	2,067	0,433	0,147	0,071

где:  $\vartheta_{d_i}$  – середины частотных интервалов;

$\omega_i$  – относительные частоты;

$h_i$  – плотность относительных частот;

$p(\vartheta_{d_i})$  – значения плотности теоретического распределения в серединах частотных интервалов.

Наблюдаемое значение статистики  $\chi^2_{\text{набл}} = 11,5$ . Критическое значение статистики  $\chi^2_{\text{критич}} = 15,5$  на уровне значимости 0,05 и числа степеней свободы 8. Так как  $\chi^2_{\text{набл}} < \chi^2_{\text{критич}}$  гипотеза о подчинении выборочных значений действительного тормозного коэффициента не отвергается.

Гистограмма распределения действительного тормозного коэффициента и закон распределения Коши приведены на рисунке 2.6.

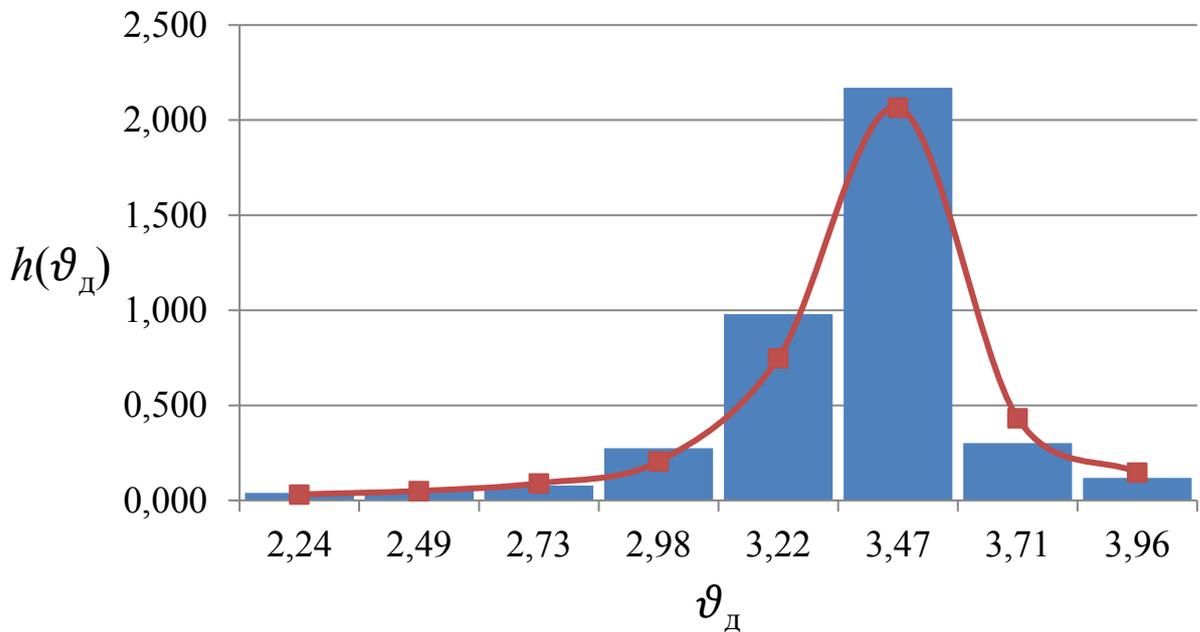


Рисунок 2.6 – Гистограмма плотности распределения действительного тормозного коэффициента и теоретической плотности распределения

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 выполнить 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:

$$p(v_n) = \frac{P(З)}{\sigma_З\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(v_З-m_З)^2}{2\sigma_З^2}} + \frac{P(Ж)}{\sigma_Ж\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(v_Ж-m_Ж)^2}{2\sigma_Ж^2}} + \frac{P(КЖ)}{\sigma_{КЖ}\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(v_{КЖ}-m_{КЖ})^2}{2\sigma_{КЖ}^2}}, \quad (2.25)$$

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

Модель вероятностной смеси, в соответствии с (2.25), представлена на рисунке 2.7.

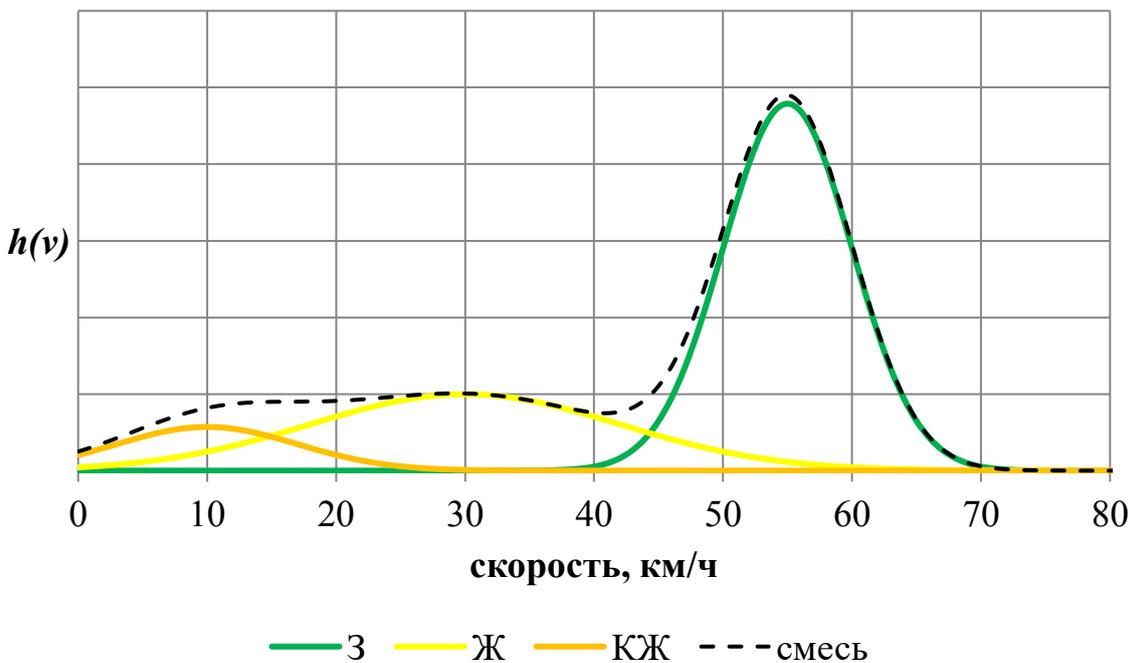


Рисунок 2.7 – Модель вероятностной смеси распределения скоростей

Вид гистограммы распределения скоростей, построенной по выборочным значениям (рисунок 2.8) соответствует предполагаемому в (2.25).

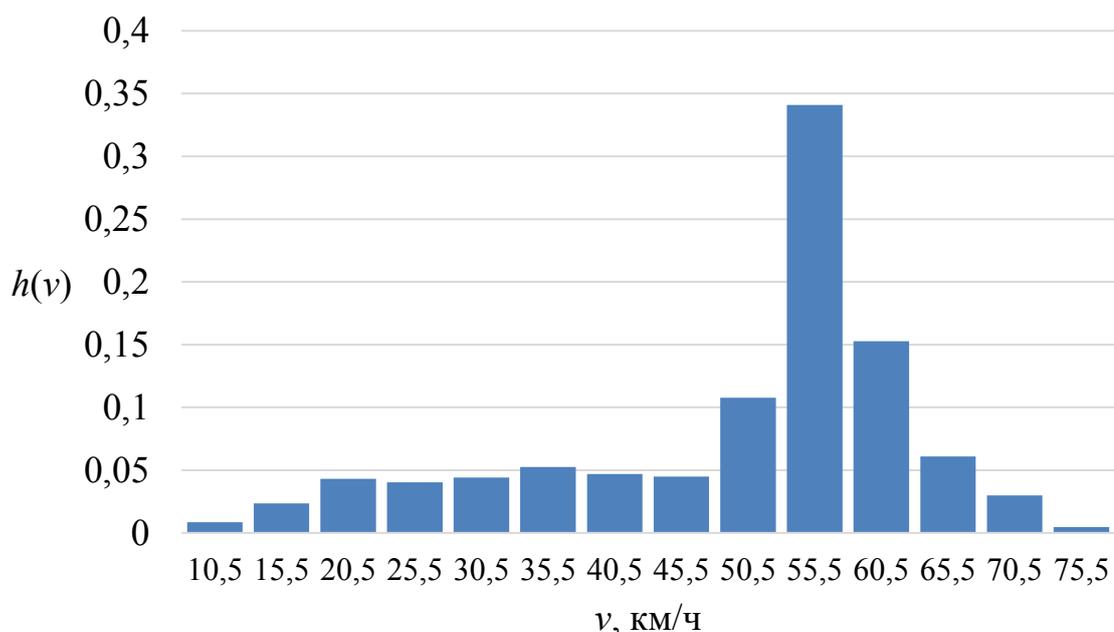


Рисунок 2.8 – Гистограмма распределения скорости поездов перед переездом

Решим задачу нахождения вероятности безаварийной остановки поезда перед переездом по известным выборкам значений скорости и тормозных коэффициентов.

Обозначим  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_i, \dots, v_N\}$  – выборку из  $N$  элементов скоростей поездов перед переездом, а  $\theta = \{\vartheta_1, \vartheta_2, \dots, \vartheta_j, \dots, \vartheta_M\}$  – выборку из  $M$  элементов значений тормозного коэффициента.

Для каждой пары выборочных значений  $(v_i, \vartheta_j)$  вычислим значения тормозного пути  $s_{ij}$ , для чего используем метод интервалов скоростей (2.10).

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. Так как время закрытия переезда 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.

Кроме того, 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:

$$k_{ij} = \frac{1}{L_{\text{изв}}} \left[ s_{ij} + \frac{v_i(t_{\text{закр}} + t_{\text{реак}})}{3,6} \right]. \quad (2.26)$$

По полученным значениям  $k_{ij}$  гистограмму  $h(k_{ij})$ , которая является оценкой плотности распределения вероятностей  $f(K)$ . Гистограмма представлена на рисунок 2.9.

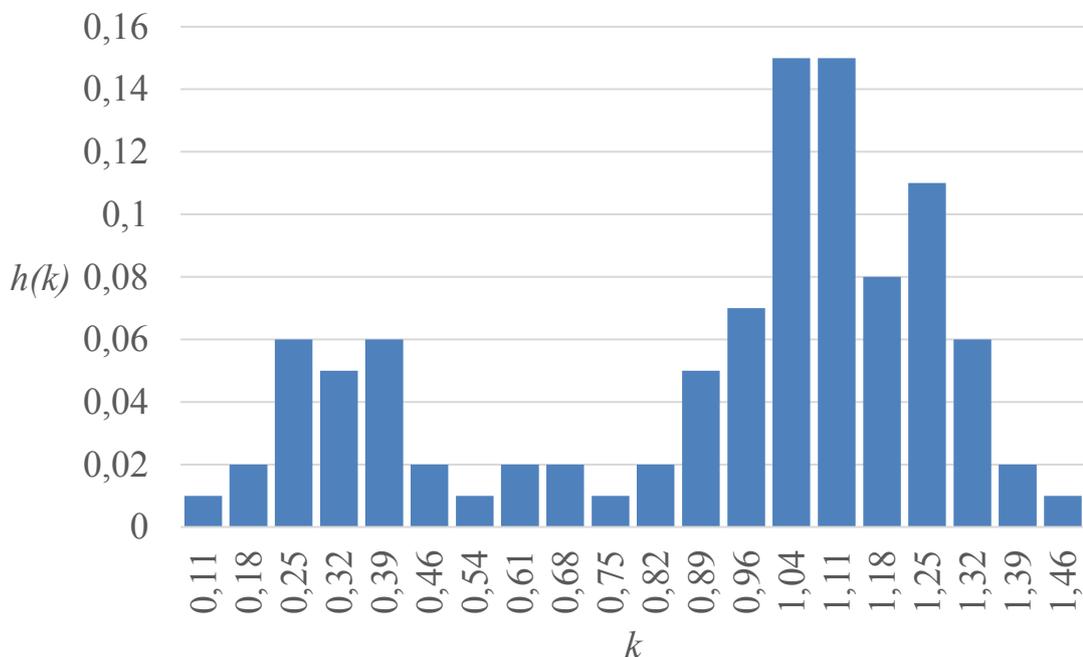


Рисунок 2.9 – Гистограмма распределения тормозного пути, нормированная к длине участка извещения

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

$$P_{\text{ба}} = \int_{-\infty}^1 f(K) dk, \quad (2.27)$$

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

$$\hat{P}_{\text{ба}} = \frac{\sum_i \sum_j k_{ij}}{ij}, k_{ij} < 1. \quad (2.28)$$

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

$$P_c = 1 - P_{\text{ба}}. \quad (2.29)$$

Вероятность безаварийной остановки, рассчитанная в соответствии с (2.27) по имеющимся выборкам составляет  $P_{\text{ба}} = 0,42$ , 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. Зная распределения скорости и действительного тормозного коэффициента поездов, следующих через конкретный железнодорожный переезд, можно обеспечить вероятность столкновения любой малости, изменяя длину участка извещения.

Существующие технические средства позволяют реализовать систему управления переездной сигнализацией по характеристикам приближающегося поезда, что позволит обеспечить безопасность на переездах и уменьшить время закрытия переезда для автотранспорта. Такая система должна, кроме управления переездной сигнализацией, автоматически выполнять остановку поезда перед переездом в случае необходимости.

#### **2.4. Метод вычисления длины участка извещения по характеристикам приближающегося поезда**

В разделе 2.1 обоснована разработка метода вычисления участка извещения по характеристикам приближающегося поезда, включая скорость движения и тормозной коэффициент, а также с учетом дополнительного удельного сопротивления движению от спрямленного профиля и плана.

Получить фактическую скорость можно как от бортовых средств локомотива, так и с помощью напольных устройств. Сведения о профиле и плане могут храниться в бортовой электронной карте железной дороги, либо храниться в памяти переездной аппаратуры. Значение тормозного коэффициента можно узнать только по показаниям бортовой аппаратуры локомотива. Поэтому формировать команду на закрытие переезда необходимо на локомотиве и передавать на переезд. Для обеспечения передачи данных с локомотива на переезд требуется организовать соответствующий канал связи.

Метод управления закрытием переезда на основе расчета участка извещения по характеристикам приближающегося поезда состоит в следующем [61]. При приближении поезда к переезду требуется рассчитать две координаты:  $S_1$  (начало участка извещения), где должна быть передана команда на закрытие переезда;  $S_2$ , проезд которой должен приводить к срабатыванию средств торможения, при условии, что переезд закрыт и занят (рисунок 2.10).

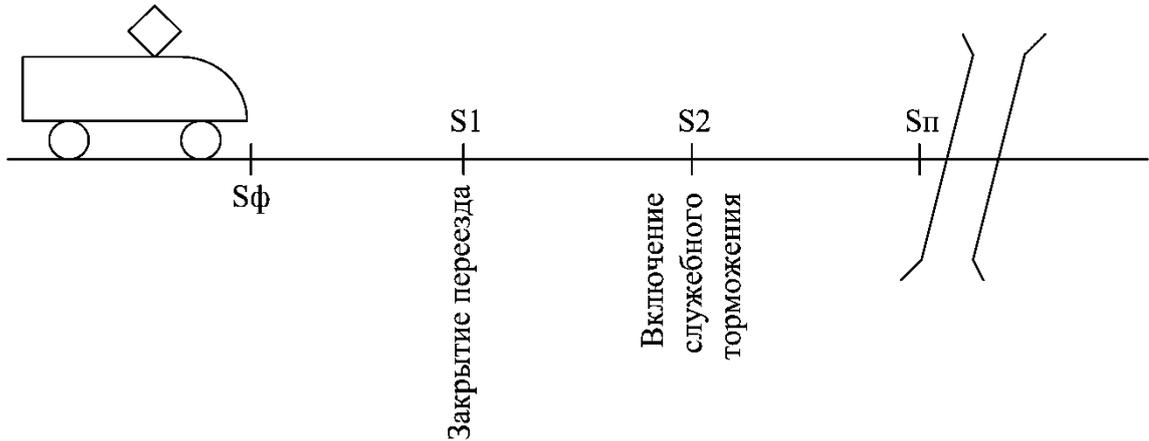


Рисунок 2.10 – Приближение поезда к переезду

Координата  $S_2$  соответствует расстоянию, достаточному для остановки поезда перед переездом торможением, а  $S_1$  – сумме расстояния между  $S_2$  и переездом и расстояния, проходимого поездом за время закрытия переезда, за время проверки свободности переезда от автотранспорта и исправности устройств переездной сигнализации, за время обмена данными между локомотивом и переездом:

$$S_2 = S_T(v, \vartheta_d, W_c), \quad (2.30)$$

$$S_1 = S_2 + S_{\text{закр}}(v, t_{\text{закр}}) + S_{\text{пров}}(v, t_{\text{пров}}) + S_{\text{обмена}}(v, t_{\text{обм}}), \quad (2.31)$$

где:  $t_{\text{закр}}$  – время закрытия переезда;

$t_{\text{пров}}$  – время проверки свободности закрытого переезда;

$t_{\text{обм}}$  – время, необходимое для обмена данными между аппаратурой локомотива и переезда.

Будем исходить из предположения, что скорость поезда останется неизменной на участке  $S_1 - S_2$ . Тогда  $S_1$  определим по выражению:

$$S_1 = S_2 + 0,278(vt_{\text{закр}} + vt_{\text{пров}} + vt_{\text{обм}}), \quad (2.32)$$

Значения  $S_1$  и  $S_2$  должны вычисляться при приближении к переезду и непрерывно сравниваться с фактической координатой поезда. При равенстве  $S_1$  и фактической координаты поезда должна передаваться команда на закрытие переезда.

При равенстве между  $S_2$  и фактической координатой поезда  $S_{\phi}$  решение об автоматическом снижении скорости должно приниматься в зависимости от наличия подтверждения о свободности переезда и исправности переездных устройств. Если подтверждения о закрытии, свободности и исправности переездных устройств не поступило, а оставшееся расстояние до переезда сравнялось с тормозным путем, то следует применить торможение до получения соответствующего подтверждения, либо до полной остановки поезда.

Координаты  $S_1$  и  $S_2$  численно должны определяться по следующим выражениям:

$$\begin{cases} S_2 = 0,278v_0t_{\pi} + \sum \frac{500(v_{\text{н}}^2 - v_{\text{к}}^2)}{\zeta[w_{ox} + w_c + 1000\vartheta_{\text{д}}\varphi_{\text{кр}}]}, \\ S_1 = S_2 + 0,278(v_0t_{\text{закр}} + v_0t_{\text{пров}} + v_0t_{\text{обм}}) \end{cases} \quad (2.33)$$

Следует отметить, что остановка поезда торможением выполняется только при условии занятости закрытого переезда автотранспортом или неисправности переездной сигнализации, а в случае штатной работы АПС поезд проследует переезд без снижения скорости. Приближение поезда к переезду может осуществляться по двум траекториям (рисунок 2.11).

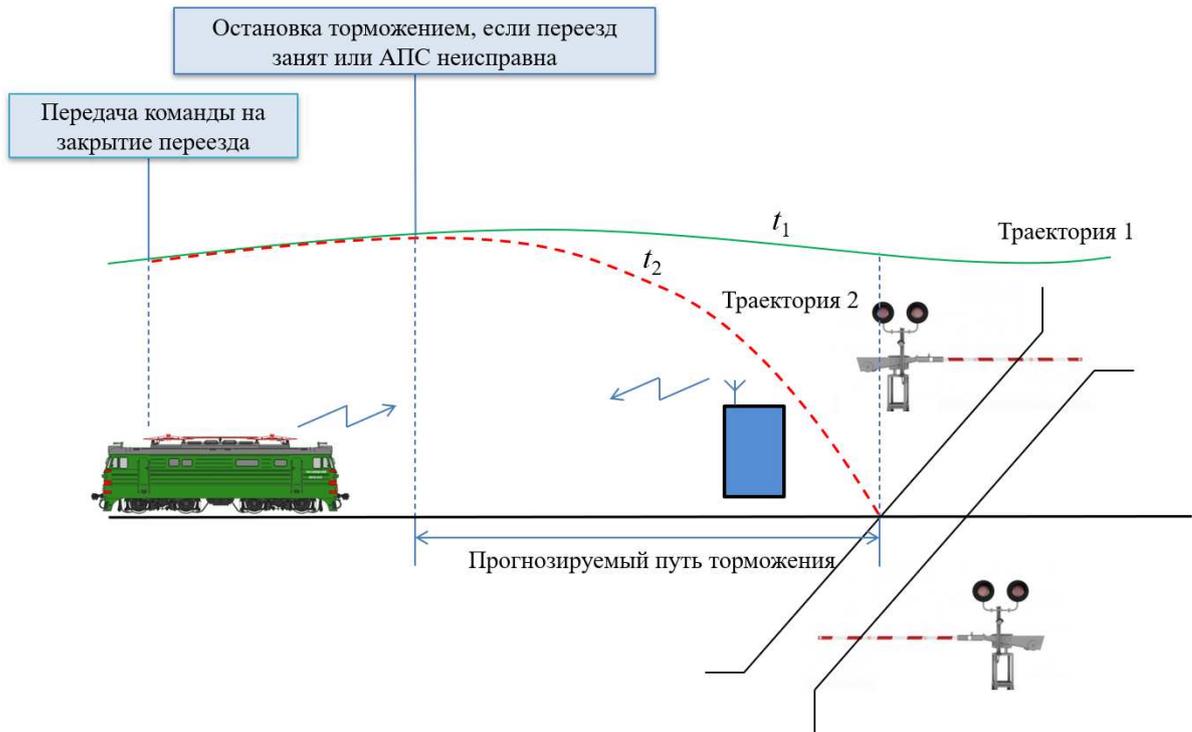


Рисунок 2.11 – Траектории приближения поезда к переезду

Поезд проследует свободный от автотранспорта переезд по траектории 1 за время  $t_1$ . Остановка поезда по траектории 2 выполняется за время  $t_2$  только при условии, что автотранспорт не смог покинуть переезд после опускания шлагбаумов. Очевидно, что время  $t_2$  будет превышать  $t_1$ , но движение поезда по траектории 1 через переезд будет выполняться гораздо чаще, чем остановка перед переездом по траектории 2. Поэтому расчет времени извещения целесообразно вести используя значение времени  $t_1$ .

Столкновения, допускаемые на оборудованных традиционной системой АПС переездах, зачастую приводят к длительному перерыву в движении поездов. Остановка поезда по траектории 2 перед занятым переездом без столкновения, несмотря на увеличение времени проследования переезда в сравнении с движением по траектории 1, окажет меньшее влияние на пропускную способность железной дороги, чем существующие системы АПС.

Для реализации предложенного метода требуется разработать алгоритмы управления закрытием переезда (передачи команды на закрытие переезда и про-

верки условия свободности переезда от автотранспорта); автоматической остановки поезда перед переездом; контроля свободности закрытого переезда от автотранспорта.

## 2.5. Алгоритм управления закрытием переезда

Алгоритм управления закрытием переезда в существующих системах АПС использует сигналы рельсовых цепей или счетчиков осей о занятии участка извещения. Это не позволяет учесть все характеристики приближающегося поезда и реализовать предложенный в диссертационной работе метод. Поэтому необходимо разработать алгоритм, позволяющий выполнить закрытие переезда по команде с локомотива. Для управления закрытием переезда необходимо сформулировать условие передачи соответствующей команды, а также, в зависимости от состояния переезда, определить условие принятия одного из двух решений:

- не воздействовать на снижение скорости поезда, при свободном и исправном состоянии переезда;
- автоматически снижать скорость до полной остановки при занятом или неисправном состоянии переезда, либо до освобождения переезда автотранспортом.

Условия передачи от локомотива на переезд команды  $p_1$  – «закрытие переезда» можно сформулировать следующим образом. Когда расстояние между локомотивом и переездом не превышает расстояния между переездом и вычисленной координатой начала участка извещения  $S_1$ , следует передать команду  $p_1$ , иначе эту команду передавать не следует. Формально условие можно записать в виде системы:

$$\begin{cases} p_1 = 1, & |S_{\pi} - S_{\phi}| \leq |S_{\pi} - S_1|, \\ p_1 = 0, & |S_{\pi} - S_{\phi}| > |S_{\pi} - S_1| \end{cases} \quad (2.34)$$

где  $S_{\pi}$  – координата переезда;

$S_{\phi}$  – фактическая координата локомотива.

Подача команды  $p_2$  – начало торможения определяется четырьмя условиями:

- оставшимся расстоянием до переезда ( $A = 1$  – расстояние до переезда меньше или равно тормозному пути при торможении);
- закрытием переезда ( $B = 1$  – переезд открыт);
- свободностью переезда от автотранспорта ( $C = 1$  – переезд занят);
- исправностью автоматической переездной сигнализации ( $D = 1$  – сигнализация неисправна).

Используя теорию функций алгебры логики, составив таблицу истинности для  $p_2 = f(A, B, C, D)$  и, минимизировав ее известными методами, получим выражение для включения торможения:

$$p_2 = A(B \vee C \vee D). \quad (2.35)$$

Если переезд не успел закрыться при равенстве расстояния от локомотива до переезда и тормозного пути поезда, то включается автоматическое торможение, чем обеспечивается ограничение динамических характеристик поезда.

В случаях, если радиосвязь между локомотивной и переездной аппаратурой не установлена, АПС должна функционировать по существующим традиционным алгоритмам, работающим по сигналам рельсовых цепей участка извещения или от счетчиков осей.

Блок-схема алгоритма управления АПС по характеристикам приближающегося поезда приведена на рисунок 2.12.

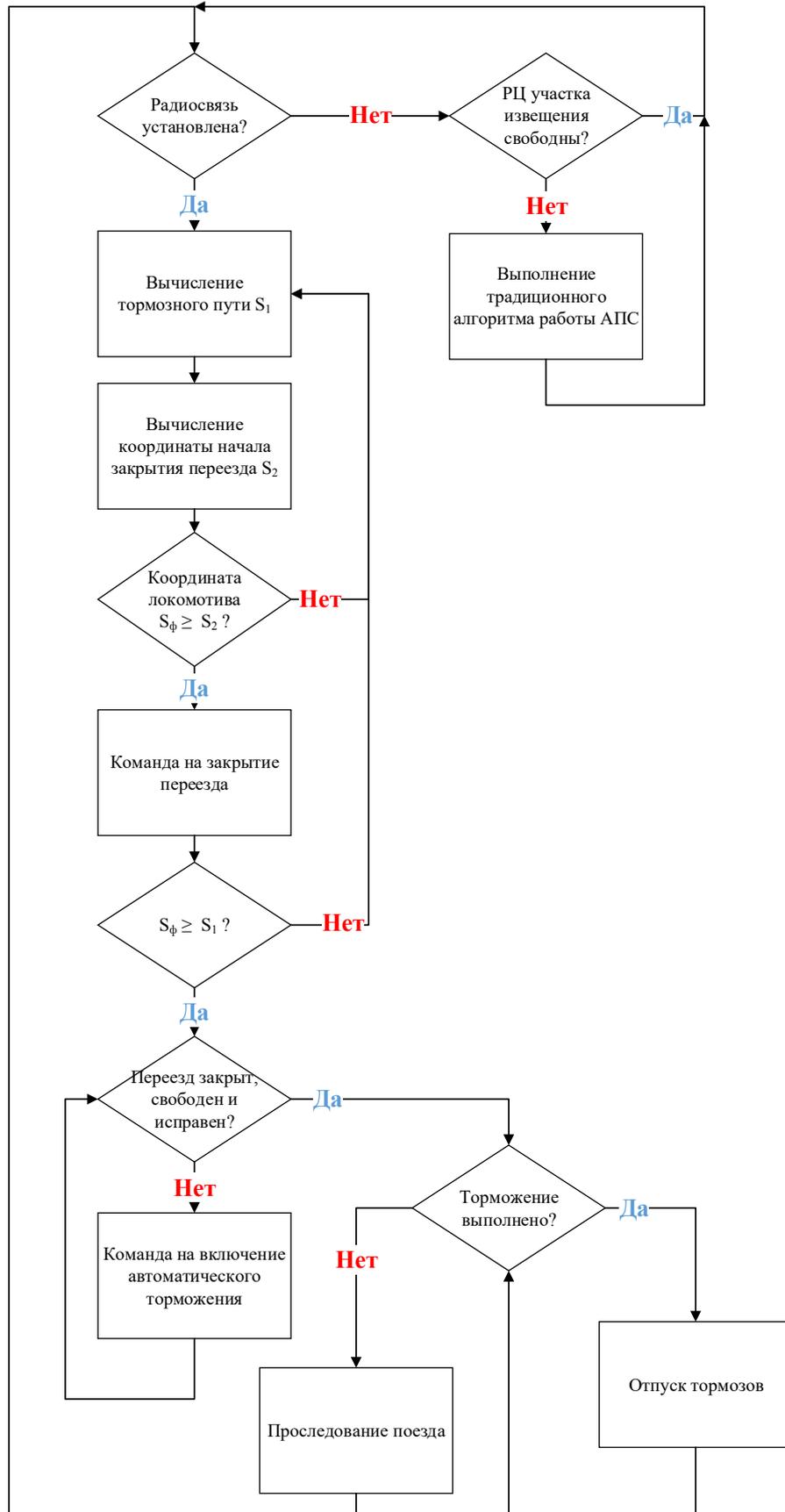


Рисунок 2.12 – Блок-схема алгоритма управления АПС по характеристикам приближающегося поезда

Предложенный алгоритм управления закрытием переезда позволяет управлять переездной сигнализацией с оптимальным временем извещения для обеспечения возможности остановки поезда перед переездом в случае возникновения нештатной ситуации.

## **2.6. Автоматическая остановка поезда перед переездом**

Методы и алгоритмы автоматической остановки поезда разрабатывались для решения задач остановки поезда перед светофором с запрещающим показанием [62-65] и задач остановки перед тупиковой призмой пассажирской платформы [66]. Основное отличие между остановкой поезда перед запрещающим огнем светофора и остановкой перед переездом, занятым автомобилем заключается в автоматическом формировании сигналов занятости: в первом случае сигнал передается датчиком занятости участка пути под воздействием колесных пар поезда, а для второго случая сигнал должен быть подан при обнаружении занятости переезда автотранспортом, воздействие которого не фиксируется датчиками определения свободности пути и требует наличия соответствующих датчиков. Поэтому для автоматической остановки поезда могут быть использованы существующие методы, алгоритмы и технические средства.

Отличия пригородных, пассажирских и грузовых поездов обуславливает необходимость учитывать специфику каждого вида подвижного состава при разработке алгоритмов автоматического торможения. На сегодняшний день имеется возможность управлять и пневматическими, и электропневматическими тормозами, что позволяет автоматически останавливать пригородные, пассажирские и грузовые поезда. При управлении электропневматическими тормозами имеется возможность выполнять ступенчатое торможение и отпуск, а при управлении пневматическими тормозами – только ступенчатое торможение.

Различают экстренное, полное служебное и ступенчатое служебное торможения в зависимости от давления сжатого воздуха в тормозной магистрали.

Экстренное торможение обеспечивает наиболее быструю остановку и наименьший тормозной путь, но экстренное торможение нельзя отменить, а при трогании с места после остановки время с момента перевода ручки крана машиниста в положение отпуска до включения тяги должно быть не менее 8 мин (в зимнее время в 1,5 раза больше). К тому же применение экстренного торможения может приводит к повреждениям колес и рельсов.

Полное служебное и ступенчатое служебное торможение могут быть отменены до полной остановки поезда, но предполагают больший тормозной путь по отношению к экстренному торможению. Время до включения тяги с момента отпуска тормозов составляет 3 и 4 минуты соответственно для ступенчатого и полного служебного торможения.

Особенности торможения различных видов и используемая для этого аппаратура подробно рассмотрены в работах [48, 50, 67–71].

Тормозной коэффициент может определяться итерационным методом, при котором выходной параметр  $\vartheta_p$  в каждом цикле расчета корректируется на постоянную величину  $d\vartheta_p$  таким образом, чтобы прогнозируемое замедление поезда приближалось к фактическому, а их разность после нескольких циклов расчета была равна нулю. Кроме того, оценка действительного тормозного коэффициента может быть получена по значению фактической скорости поезда и величине давления в тормозных цилиндрах.

Накопленный опыт эксплуатации САУТ показал существенное снижение числа проездов запрещающих показаний. Применение средств автоматической остановки поездов торможением перед закрытыми переездами, занятыми автотранспортом, позволит сократить количество столкновений и уменьшит тяжесть их последствий.

## **2.7. Контроль свободности закрытого переезда от автотранспорта**

На железных дорогах мира существуют технические средства автоматического контроля свободности переезда с использованием различных технических

решений. К таким решениям относятся системы, датчики которых расположены под поверхностью автодороги или над ней. Примерами систем первого вида являются индукционные шлейфы, которые реагируют на металлическую массу автотранспортных средств, а также заполненные воздухом шланги и пьезоэлектрические кабели, реагирующие только на вес объекта. Примерами систем второго вида являются радиолокационные и инфракрасные датчики, а также камеры видеонаблюдения, подключенные к устройствам обработки изображений.

В большинстве случаев информация о свободности используется:

- в качестве предварительного условия для подачи разрешающего сигнала поездного светофора;
- непрерывного контроля свободности переезда и остановки поезда экстренным торможением при помощи АЛС или автоматического закрытия поездного светофора в случае опасности [72].

Единственная внедренная технология автоматического определения свободности переезда от автотранспорта на железных дорогах Германии – радиолокационное сканирование. Технические средства на основе этой технологии используются с 2000 г., но постепенно выводятся из эксплуатации. Для вновь проектируемых переездов эта технология запрещена к применению [40].

Для контроля отсутствия автотранспорта в зоне крышек УЗП применяются методы ультразвукового контроля свободности. Рядом с устройствами заграждения устанавливаются датчики контроля закрытия крышек (КЗК) [14, 15].

В универсальном устройстве заграждения на переездах без дежурного работника (УЗПУ), описание которого приводится в работе [16], подсистема выявления препятствий для движения поезда через переезд содержит три вида датчиков различного принципа действия: радиолокационные, индуктивные петлевые датчики, компьютерный анализ на видеоизображения контролируемой зоны. Подсистема датчиков построена на принципах резервирования и позволяет обнаруживать в зоне переезда транспортные средства, а также крупные посторонние предметы, находящиеся на путях и угрожающих безопасности движения поездов. Подсистема блокирует подъем заграждающего элемента УЗм при нахождении над

ним транспортного средства и подъем выездных заграждающих элементов УЗм для беспрепятственного выпуска автотранспорта с огражденного переезда. Радиолокационные датчики, работающие в СВЧ диапазоне, выполнены в виде направляющих столбиков расположенных на расстоянии не менее 1,7 м от крайних рельсов и 1,5 м от рельсов в междупутье. Углы диаграмм направленности излучающей и принимающей антенн по вертикали составляют  $5^\circ$ , по горизонтали –  $90^\circ$ . Петлевые индуктивные датчики монтируются в полотне автодороги на глубине 80–100 мм. Видеокамеры расположены на высоте 3,5–4 м на опорах, установленных на расстоянии 10–15 м от крайних рельсов со стороны выездных УЗм. При обнаружении занятия зоны переезда перед приближающимся поездом автоматически закрываются заградительные светофоры и передается сообщение локомотивной бригаде.

Как было установлено в работах [73,74] современные алгоритмы компьютерного зрения без дополнительных исследований и их адаптации к задаче не позволяют с достаточной вероятностью выявлять различные объекты на железнодорожных переездах. Успех работы алгоритмов напрямую зависит от находящегося на переезде объекта и от конкретных условий. Для улучшения достоверности выявления объектов рекомендуется использовать комбинации различных алгоритмов с разными способами получения информации об объекте. Различные помехи (например, тени) существенно влияют на работу алгоритмов компьютерного зрения. Для разработки практически применимых алгоритмов требуется объемная база примеров изображений, снятых для различных погодных условий и содержащих различные объекты.

Определение свободности переезда от автотранспорта может быть реализовано за счет применения датчиков, устанавливаемых под поверхность автодороги, средств и методов технического зрения, ультразвукового контроля, радиолокационного контроля, либо комбинаций перечисленных средств. Наиболее предпочтительным является комбинация нескольких (комплекса) средств, имеющих различный принцип действия.

## 2.8. Выводы по разделу

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

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. Предложено уточненное понятие «оптимальное время извещения переездной сигнализации», т. е. времени, обеспечивающего заданную вероятность безаварийного проследования при минимальном времени перекрытия переезда для автотранспорта. Уменьшение этого времени может привести к нарушению условий безопасности, его увеличение – к необоснованному простоя автотранспорта у переезда.

4. Предложен метод и выполнена оценка вероятности столкновения поезда при остановке автомобиля на переезде.

5. Разработана методика управления переездной сигнализацией, которая обеспечивает оптимальное время извещения в предложенной формулировке за счет учета фактической скорости движения поезда и его характеристик.

6. Предложен алгоритм управления закрытием переезда с локомотива таким образом, чтобы обеспечить оптимальное время извещения о необходимости закрытия переезда.

7. Подтверждена возможность использования в разрабатываемой системе переездной сигнализации существующих алгоритмов автоматической остановки

поезда и технические решения контроля свободности закрытого переезда от автотранспорта.

### **3. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗАКРЫТИЕМ ПЕРЕЕЗДА ПО ХАРАКТЕРИСТИКАМ ПРИБЛИЖАЮЩЕГОСЯ ПОЕЗДА**

#### **3.1. Требования к системе управления закрытием переезда**

В главе 2 были разработаны методы и алгоритмы работы автоматической системы управления закрытием переезда по радиоканалу в зависимости от параметров движения поезда и его тормозных характеристик.

Разрабатываемая система должна позволить достигнуть следующих целей:

- снижение вероятности ДТП на переездах;
- уменьшения времени закрытия переезда для автотранспорта.

Достижение поставленных целей возможно за счет решения следующих задач:

- реализации разработанного метода вычисления длины участка извещения по характеристикам приближающегося поезда и алгоритма закрытия переезда;
- организации обмена данными между локомотивной аппаратурой и аппаратурой автоматической переездной сигнализации;
- обеспечения автоматического определения свободности переезда от автотранспорта;
- автоматической корректировки скорости поезда (полной остановки) в случаях остановки автотранспорта внутри закрытого переезда.

#### **3.2. Структурная схема системы**

Для решения этих задач необходима система, которая будет осуществлять воздействие на параметры движения поезда, и управлять переездными устройствами, а значит, система должна включать в себя бортовую локомотивную аппаратуру и стационарную (переездную) аппаратуру, размещенную на переезде.

Метод вычисления длины участка извещения по характеристикам приближающегося поезда и алгоритм закрытия переезда реализуются блоком программного управления (БПУ).

Для обмена данными в функциональной схеме системы служат блоки цифровой радиосвязи (БЦРС), которыми должны быть оборудованы все переезды участка и все локомотивы, обращающиеся на данном участке. Для обеспечения приема и передачи сигналов между локомотивом и переездом существуют средства цифровой передачи данных и соответствующие им методы на основе стандартов DMR, TETRA и LTE, а также новейшее инновационное решение – цифровой радиомодем РМЦ/2.150, который представляет собой устройство цифровой передачи и приема данных в пределах полосы радиочастот, выделенной для поездной радиосвязи (2,13 МГц и 2,15 МГц). Передача данных осуществляется одновременно с работой поездной радиостанции, и не влияет на качество переговоров. Радиомодем не требует расширения частотного диапазона, выделенного для поездной радиосвязи, и не занимает дополнительных радиочастот. В отличие от решений, основанных на стандартах DMR, TETRA и LTE, РМЦ/2.150, за счет использования частот диапазона поездной радиосвязи позволяет передавать данные между локомотивом и стационарным постом на расстояния до 25 км, между локомотивами – до (5...6) км. На основе локомотивного комплекса БЛОК-М, дополненного РМЦ/2.150 реализована технология «Виртуальной сцепки» [75].

Задачу автоматического определения свободности переезда от автотранспорта решает функциональный блок разрешения безопасного движения поездов (БРБД), который подключен к БЦРС и автоматической переездной сигнализацией через схему увязки. Определение свободности переезда от автотранспорта может быть реализовано за счет применения средств и методов технического зрения, ультразвукового контроля, радиолокационного контроля, либо комбинаций перечисленных средств.

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).

Структурная схема, составленная из перечисленных блоков (рисунок 3.1), как отмечалось, содержит локомотивную и стационарную аппаратуру.

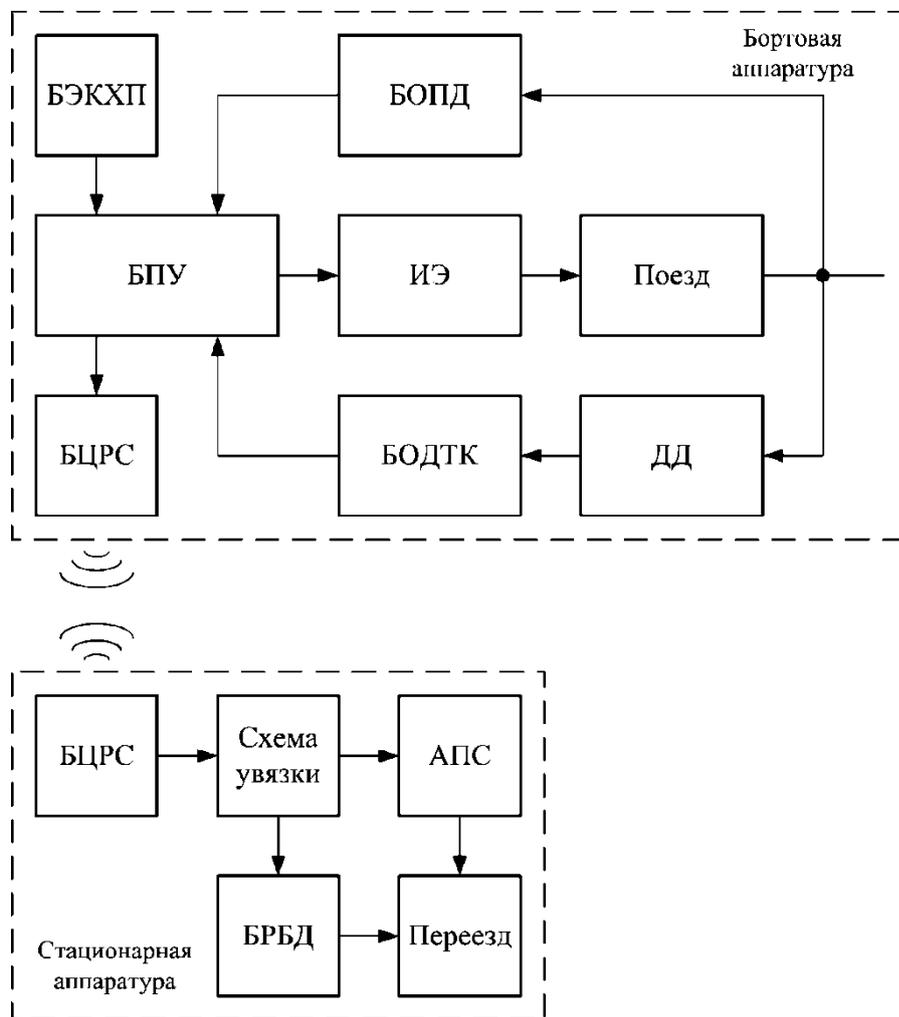


Рисунок 3.1 – Структурная схема системы управления автоматической переездной сигнализацией

Бортовая локомотивная аппаратура предназначена для решения следующих задач:

- организация цифрового радиоканала со стационарной аппаратурой;
- расчет траектории торможения и определение момента закрытия переезда;
- автоматическая корректировка скорости движения, остановка поезда при занятости переезда после закрытия шлагбаумов или при неисправности устройств переездной сигнализации.

Стационарная аппаратура предназначена для решения следующих задач:

- организация радиоканала с локомотивной бортовой аппаратурой;
- управление автомобильными светофорами, шлагбаумами, устройствами заграждения переезда в зависимости от переданной информации от бортовой локомотивной аппаратуры;

- информирование водителей автотранспорта о времени до открытия и закрытия переезда;

- проверка свободности переезда от автотранспорта и исправности устройств переездной сигнализации, передача результатов проверки бортовой аппаратуре.

Расчет траектории торможения и определение момента закрытия переезда могут выполняться как бортовой аппаратурой, так и стационарной аппаратурой, либо, для повышения надежности расчетов и обеспечения безопасной работы АПС, сразу двумя независимыми каналами с последующим сравнением.

### **3.3. Реализация бортовой аппаратуры системы**

Для реализации бортовой аппаратуры целесообразно выбрать существующие локомотивные микропроцессорные системы и комплексы, которые должны удовлетворять следующим требованиям:

- возможность автоматической остановки поезда торможением;
- подключение аппаратуры цифровой радиосвязи по стандартным интерфейсам;
- возможность расширения функционала за счет изменения управляющей программы.

Среди локомотивных систем и комплексов обеспечения безопасности в настоящее время находятся в эксплуатации [76–78]:

- локомотивные дешифраторы автоматической локомотивной сигнализации непрерывного типа (АЛСН) [79,80];
- микропроцессорных дешифраторов АЛСН (ДКСВ-М);
- комплексные локомотивные устройства безопасности КЛУБ и КЛУБ-У [81–84];
- система автоматического управления торможением (САУТ) [62-65,85,86];
- безопасный локомотивный объединенный комплекс (БЛОК) [76,87-92].

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. САУТ, 1,7 тыс. комплексов БЛОК.

В релейной локомотивной аппаратуре АЛСН автоматическое управление остановкой поезда, подключение аппаратуры радиосвязи и изменение функционала программными средствами не могут быть реализованы. Для замены локомотивной аппаратуры АЛСН разработаны устройства КЛУБ и КЛУБ-У, которые выполняют автоматическую остановку поезда по табулированной кривой программной скорости, хранящейся в памяти, что завышает расчетное значение тормозного пути, относительно фактического, т. е. поезд будет не доезжать до требуемой точки остановки. Технология САУТ позволяет реализовать расчет траектории торможения и точную автоматическую остановку, однако подключение цифровой радиосвязи вызовет трудности. Предложенная система может быть реализована с помощью комбинации КЛУБ-У и САУТ. Также подходящим вариантом является комплекс БЛОК. Комбинация средств КЛУБ-У и САУТ-ЦМ/485, а также комплекс БЛОК имеют закрытую программную архитектуру, что потребует переработки программного обеспечения всех программно-аппаратных узлов, входящих в состав КЛУБ-У, САУТ-ЦМ/485 или БЛОК для реализации предложенных решений.

Поэтому, для расширения функционала за счет добавления программных модулей при участии автора диссертационной работы был разработан масштабируемый безопасный локомотивный объединенный комплекс (БЛОК-М), который соответствует всем сформулированным в разделе 3.1 требованиям и имеет возможность модификации путем добавления программных модулей. Структурная схема построения комплекса БЛОК-М представлена на рисунке 3.2.

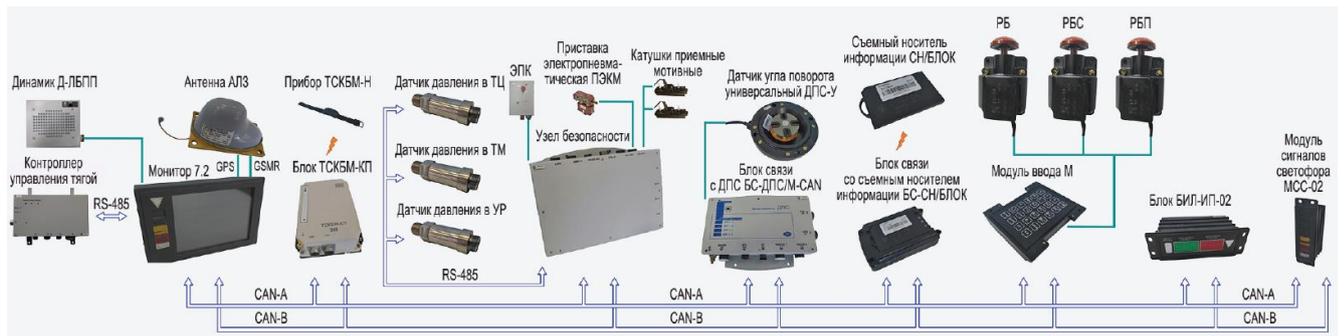


Рисунок 3.2 – Структурная схема построения комплекса БЛОК-М

Локомотивный монитор представляет собой промышленный моноблочный компьютер, который выполняет алгоритмы управления поездом. В локомотивном мониторе хранится электронная карта железной дороги. Элементы локомотивного монитора тестируются узлом безопасности, чем обеспечивается правильность работы алгоритмов. Узел безопасности состоит из двух одинаковых комплектов, один из которых активный, другой – находится в резерве. Активный комплект управляет торможением поезда, воздействуя на электропневматический клапан напрямую (в случае экстренного торможения) или через приставку электропневматическую ПЭКМ (в случае служебного торможения), а также отключая тягу. Информация о пройденном пути и фактической скорости рассчитывается блоком БС-ДПС по показаниям датчиков ДПС-У. Коды АЛСН и сигналы от шлейфов САУТ-ЦМ/НСП поступают в комплекс через приемные катушки АЛСН/САУТ. Определение характеристик торможения выполняется по показаниям датчиков давления сжатого воздуха в тормозной магистрали и в уравнительном резервуаре локомотива. Регистрация работы комплекса ведется на съемный носитель

СН/БЛОК с помощью блока связи БС-СН/БЛОК (БС-СН/САУТ). Для взаимодействия с машинистом предусмотрены модуль ввода, рукоятки бдительности, блок индикации и модуль светофора. Контроль бдительности машиниста выполняется системой ТСКБМ.

Устройства цифровой радиосвязи подключаются к комплексу по стандартным интерфейсам CAN или RS-485.

Программные модули локомотивного блока взаимодействуют друг с другом по виртуальному интерфейсу, совместимому с Ethernet: каждому программному модулю присваивается собственный MAC адрес, чем обеспечивается открытость программной архитектуры и расширяемость функционала комплекса.

### **3.4. Реализация переездной аппаратуры системы**

Устанавливаемая на переезде стационарная аппаратура системы должна решать следующие задачи:

- управление автомобильными светофорами, шлагбаумами, устройствами заграждения переезда в зависимости от переданной информации с бортовой аппаратуры;
- организация радиоканала с бортовой аппаратурой;
- информирование автотранспорта о времени до открытия и закрытия переезда;
- проверка свободности переезда от автотранспорта и исправности устройств переездной сигнализации, передача результатов проверки бортовой аппаратуре.

Целесообразно расширить функционал существующих систем АПС, решающих задачу управления автомобильными светофорами, шлагбаумами, устройствами заграждения переезда.

Находящиеся в эксплуатации системы АПС по применяемой элементной базе можно разделить на два вида: релейные и микропроцессорные. Типовые решения по оборудованию переездов релейными АПС содержатся в альбомах

[93,94]. В эксплуатации находятся микропроцессорные системы АПС такие, как МАПС и МПАБ различных модификаций.

Для решения всех необходимых задач переездная аппаратура должна содержать промышленный компьютер, подключаемый к релейным АПС с помощью схем увязки, либо – к микропроцессорным АПС по стандартным интерфейсам.

В последних технических решениях релейных АПС используется принцип подача извещения на переезд и контроль проследования поезда через переезд выполнены с применением тональных рельсовых цепей. Как правило, переезд оборудуется четырьмя тональными рельсовыми цепями по каждому железнодорожному пути. Рельсовые цепи участков извещения могут быть наложены на имеющиеся рельсовые цепи системы автоблокировки, которой оборудован данный участок. Например, рельсовые цепи числовой кодовой автоблокировки или рельсовые цепи автоблокировки постоянного тока.

Перед переездами, оборудованными переездной сигнализацией, для автомобильного транспорта устанавливаются светофоры с двумя горизонтально расположенными и попеременно мигающими красными сигналами. Если в участки извещения не входят станционные рельсовые цепи, светофор дополнительно оборудуется бело-лунным мигающим огнем.

Извещение на переезд подается при вступлении поезда на участок приближения, следующего в любом направлении, независимо от специализации путей и направления действия путевой блокировки. При этом на переезде бело-лунный мигающий огонь гаснет и загораются красные мигающие огни.

Красные огни на переездном светофоре выключаются после освобождения переезда хвостом поезда, следующего в установленном направлении по правильному или неправильному пути, а при движении поезда в неустановленном направлении – после освобождения всех участков приближения и удаления. Повторное включение красных огней возможно после проследования поездом всех рельсовых цепей, входящих в участки приближения и удаления. Защита от выключения красных огней при ложном появлении шунта осуществляется контролем последовательности занятия участков 1У, 2У, 3У, 4У, входящих в участки из-

вещения и удаления с тремя защитными интервалами времени: не менее 15 с между занятием поездом участков 1У и 2У, не менее 3 с между занятием участков 2У и 3У, не более 30 с между занятием участков 3У и 4У. Включение бело-лунного мигающего огня осуществляется после освобождения поездом зоны за переездом, длиной не менее 150 м, что обеспечивает безопасность при возвращении обратно хозяйственного поезда.

Рельсовые цепи участков извещения управляют состоянием реле 1У, 2У, 3У и 4У, которые включают и выключают реле В, обеспечивающее закрытие и открытие переезда. Схема включения реле В приведена на рисунке 3.3.

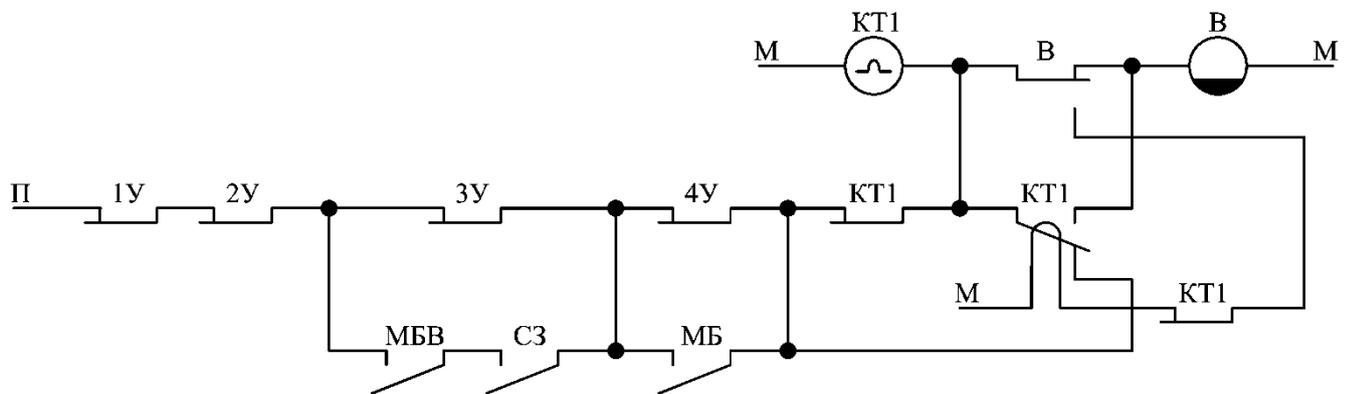


Рисунок 3.3 – Схема включения реле В

Состояние участков извещения контролируют реле 1У и 2У, участков удаления – 3У и 4У.

При выключении реле В обесточиваются реле, выключающие бело-лунный мигающий огонь и включающие мигающие красные огни, срабатывают цепи опускания шлагбаума. В схеме (рисунок 3.3) реле КТ1, содержащее термоэлемент, служит для защиты от кратковременного пропадания шунта. Цепи, состоящие из контактов реле МБВ, СЗ и МБ, шунтирующие контакты реле 3У и 4У позволяют открыть переезд сразу после освобождения рельсовых цепей участков приближения.

После освобождения поездом участков извещения – под ток встают реле 1У и 2У. Через контакты реле МБВ, СЗ и МБ и тыловой контакт термоэлемента

включается обмотка реле КТ1. Через фронтальный контакт КТ1 и тыловой контакт реле В происходит нагрев термоэлемента и замыкание его фронтального контакта, что создает цепь включения реле В и выключает цепь нагрева термоэлемента.

Для реализации предложенных в ходе диссертационного исследования принципов на основе релейных АПС необходимо подключить к схеме (рисунок 3.3) промышленный компьютер, обеспечив ему возможность управлять и контролировать состояние реле В.

Принцип модернизации схем АПС: закрытие переезда выполняется при занятии рельсовых цепей участка извещения или по командам, переданным по цифровому радиоканалу, а открытие – только при освобождении рельсовых цепей.

Подключить реле В возможно с помощью устройств безопасного сопряжения с реле или через релейный интерфейс на реле I класса надежности.

Безопасные устройства сопряжения микропроцессорной техники и релейных схем железнодорожной автоматики известны и применяются, например, в комплексе технических средств управления и контроля системы релейно-процессорной централизации ЭЦ-МПК [95,96] и в постовой аппаратуре САУТ [64].

В системе ЭЦ-МПК для управления релейными схемами применяются устройства дискретных окончаний УДО-48, а для определения состояния реле – устройства матричного ввода УМВ-64. В качестве выходных элементов плат УДО-48Р используются твердотельные реле с одним фронтальным контактом. Индикация состояния твердотельных реле осуществляется светодиодами индивидуально для каждого выхода. Управление УДО-48 осуществляется по стандартному интерфейсу RS-485. Устройство матричного ввода обеспечивает формирование и передачу информации о состоянии 56 двухпозиционных объектов по стандартному интерфейсу RS-485. Устройство УМВ-64 построено на основе диодной матрицы размерностью 8x8, все 64 входа разбиты на 8 групп по 8 входов в каждой, семь из которых являются информационными и один тестовым.

В состав постовой аппаратуры САУТ входят устройства ввода сигналов (УВС) предназначенные для сбора, предварительной обработки и передачи ин-

формации о состоянии контактов реле. Сбор информации осуществляется путем циклического опроса контактов реле исполнительной группы электрической централизации. Результат опроса контактов кодируется и передается в линию связи. К одному УВС подключается до 16 релейно-контактных цепей. Передача состояния контактов осуществляется по стандартному интерфейсу RS-485.

Общий принцип подключения реле В схем управления переездной сигнализации к промышленному компьютеру с помощью безопасных устройств управления и контроля состояния реле приведен на рисунке 3.4.

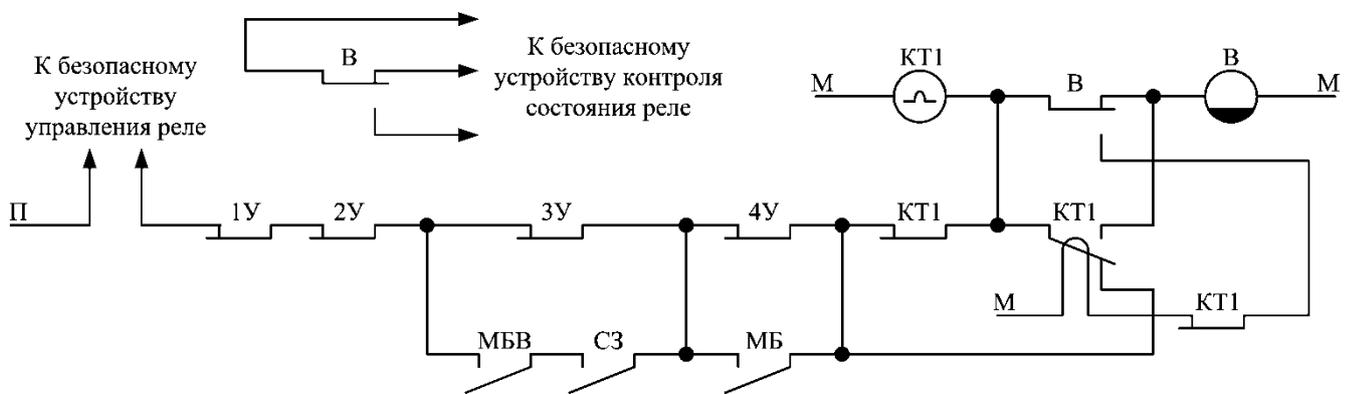


Рисунок 3.4 – Модернизированная схема управления АПС

Представленная схема позволяет выключать реле В и закрывать переезд до вступления поезда на участок извещения по радиосигналу. Это необходимо, когда тормозной путь поезда больше, чем участок извещения. Для схемы, приведенной на рисунке 3.4., когда участок извещения, вычисленный по характеристикам приближающегося поезда короче, чем участок извещения, определенный исходя из максимальной скорости движения и ширины переезда, система работает по стандартному алгоритму, т.е. закрытие переезда начинается после занятия поездом рельсовой цепи участка извещения. При этом простой автотранспорта у закрытого переезда не сокращается, однако, такое решение позволяет повысить безопасность движения за счет обеспечения возможности торможения поезда перед переездом.

Для повышения безопасности, когда тормозной путь поезда больше, чем длина участка извещения и для сокращения времени закрытия переезда для автомобильного транспорта схема включения АПС может быть модернизирована в соответствии с рисунком 3.5.

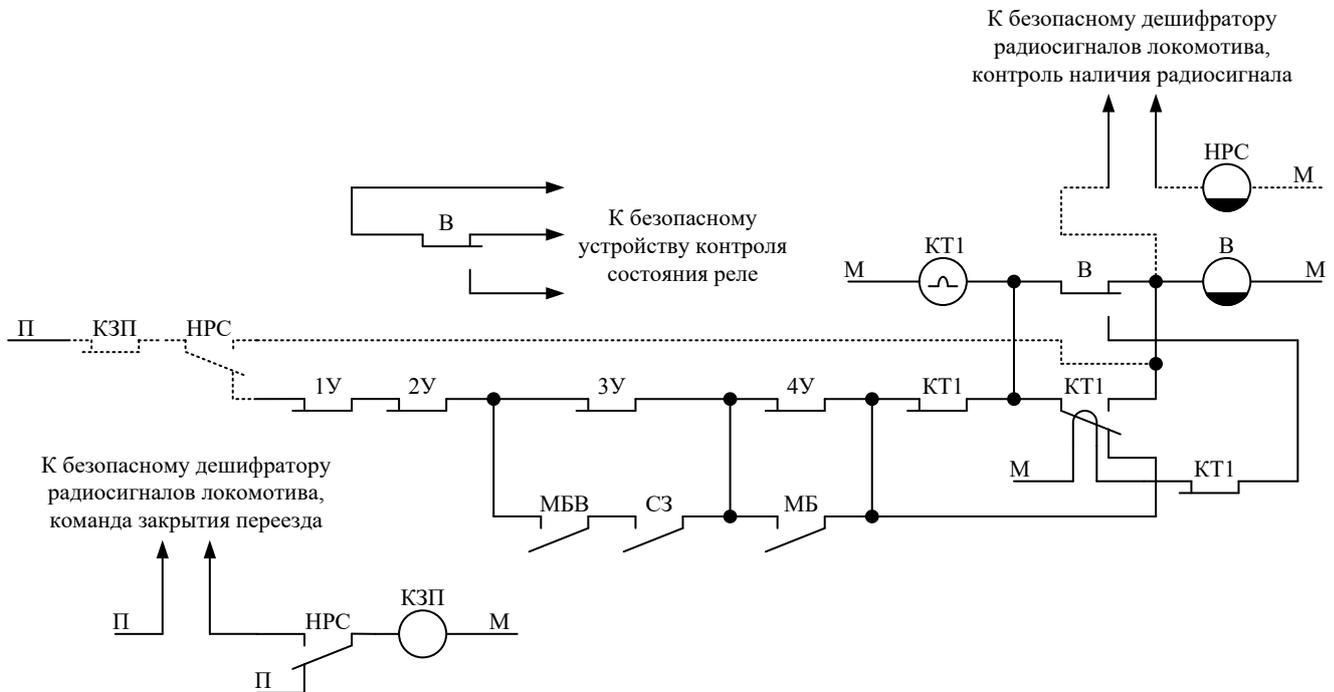


Рисунок 3.5 – Модернизированная схема управления АПС с возможностью сокращения времени закрытия переезда

При отсутствии радиосвязи между локомотивной и переездной аппаратурой схема (рисунок 3.5.) работает по стандартному алгоритму. При установлении радиосвязи на время 2,5 цикла радиообмена включается реле НРС (наличие радиосвязи), переключает цепь питания реле КЗП (команда закрытия переезда) и цепь питания реле В в обход контактов реле 1У, 2У, 3У, 4У, что обеспечивает возможность выключения питания реле В в момент поступления сигнала от локомотивной аппаратуры не зависимо от состояния рельсовых цепей участка извещения. Поступление команды на закрытие переезда приводит к выключению реле КЗП и отключению питания от реле В и реле НРС после замедления. Выполняется закрытие переезда. Реле НРС после своего выключения подключает питание к обмотке реле КЗП. Подготавливается цепь включения реле В после освобождения

переезда поездом. Возбуждение реле В и открытие переезда происходит по стандартному алгоритму, после включения реле КТ1 через термоэлемент.

При пропадании связи после того, как поезд въехал на участок извещения (после отключения реле КТ1), возобновление радиосвязи на работу схемы не влияет, пока КТ1 не окажется под током.

Подключение к промышленному компьютеру через релейный интерфейс на реле I класса надежности приведено на рисунке 3.6.

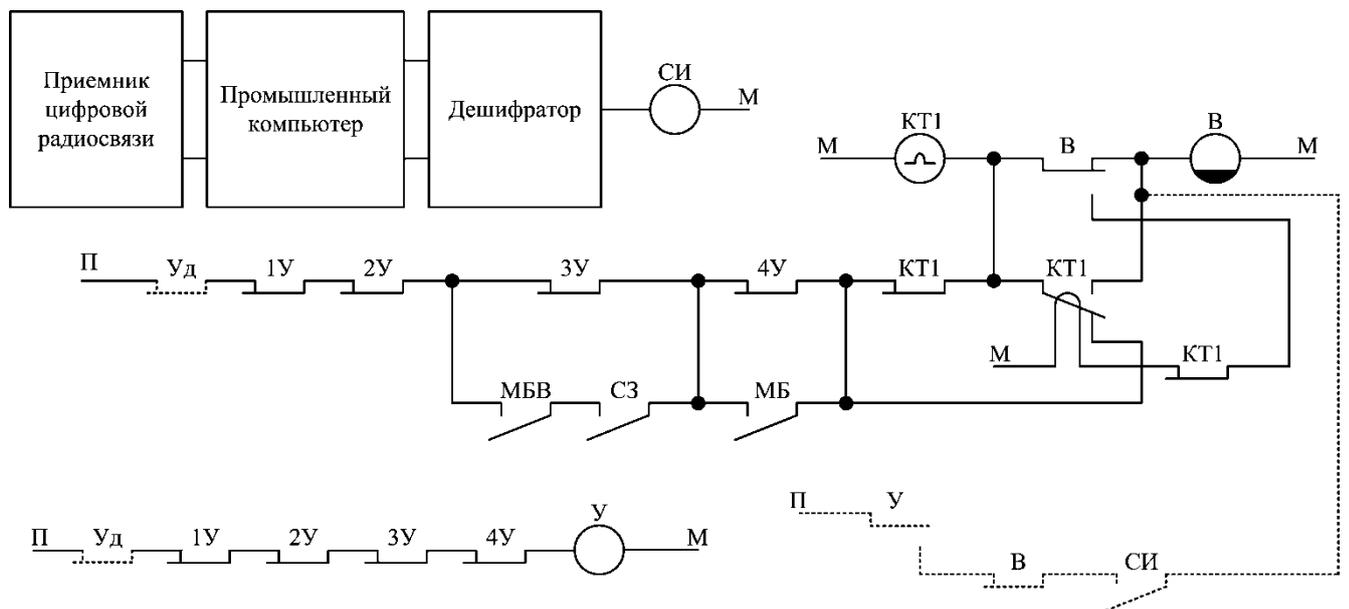


Рисунок 3.6 – Подключение АПС к промышленному компьютеру через релейный интерфейс

Для обеспечения безопасности при проследовании поезда с путем торможения больше, чем длина участка извещения необходимо переезд закрывать раньше, что возможно за счет удлинения участка извещения. Это реализуется контактом реле Уд. Обмотка Уд может быть включена аналогично реле 1У и 2У – как повторитель путевого реле.

Сокращение времени закрытия переезда при проследовании поезда с коротким путем торможения обеспечивается реле СИ – сокращение извещения. При занятии участка извещения реле В остается под током по цепи через контакт реле СИ.

Состоянием реле СИ управляет дешифратор, подключенный к приемнику цифровой радиосвязи.

Работа схемы АПС при любых неисправностях радиосвязи и дешифратора, выключенной обмотке реле СИ во время проследования поезда осуществляется в соответствии со стандартным алгоритмом при закрытом для автотранспорта переезде.

Система работает следующим образом. При занятии поездом участка Уд разрывается цепь удержания под током реле В и подготавливается цепь питания этого реле через контакт СИ. В случае получения переездной аппаратурой команды по цифровому радиоканалу, через дешифратор получает питание реле СИ. Если СИ включается за время замедления на выключение реле В, то оно остается под током. При пропадании радиосигнала на время больше замедления реле В, его контактом цепь питания через СИ обрывается, что приводит к закрытию переезда.

Возврат схемы в исходное состояние и открытие переезда возможно только после проследования переезда поездом.

Устройства для информирования автотранспорта о времени до открытия и закрытия переезда, проверки свободности переезда от автотранспорта и исправности устройств переездной сигнализации, а также цифровой радиомодем должны подключаться к промышленному компьютеру с помощью стандартных интерфейсов.

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.

### **3.5. Оповещение водителей транспортных средств о проходе поезда**

Оповещение водителей транспортных средств о проходе поезда заключается в индикации информации:

- о времени до перекрытия открытого переезда;
- о времени до открытия перекрытого переезда;
- о направлении приближения поезда.

Такое информирование положительно влияет на безопасность, снижая риск выезда автотранспорта на закрытый переезд. В существующих системах переездной сигнализации информирование водителей транспортных средств о направлении приближения поезда, о времени до закрытия или открытия переезда не предусмотрено, но может быть реализовано дополнительными средствами.

Индикация информации о направлении приближающегося поезда. Направление приближения поезда к переезду можно определить путем отслеживания последовательности занятия рельсовых цепей, входящих в участки приближения. Направление и путь, по которому приближается поезд определяется по занятию наиболее удаленной от переезда рельсовой цепи соответствующего пути и установленного направления движения, при условии, что соседняя с ней рельсовая цепь, расположенная ближе к переезду, не занималась в течение некоторого времени.

Индикация информации о времени до перекрытия открытого переезда. При занятии поездом участка извещения переезд перекрывается после некоторой выдержки времени, достаточной для освобождения переезда транспортными средствами, выехавшими на переезд до включения переездной сигнализации. На индикаторе оповещения о времени до перекрытия переезда следует отобразить значение выдержки, которое будет уменьшаться до нуля обратным отсчетом.

Индикация информации о времени до открытия перекрытого переезда. Время до открытия переезда равно времени проследования поезда от момента перекрытия переезда для автотранспорта до полного проследования переезда последним вагоном. Это требует данных, которые не доступны в существующих системах АПС – о скорости поезда и его длине. Такие данные могут быть получены при использовании предложенных в данной работе технических решений.

В работе [97] описана система информирования участников движения о поездной обстановке на переезде, основанная на интеграции приложения, опреде-

ляющего временные параметры проследования поездом участков до и после переезда, в геоинформационные системы.

Средства индикации. Для индикации перечисленных параметров переезд должен быть оборудован информационными табло, на которых будут выводиться прогнозируемые значения времени закрытия и открытия переезда для движения автомобилей. Система получает данные непосредственно от объектов управления движением поездов, определяя прогнозируемое время закрытия переезда по выражению:

$$t_{\text{закр}} = \frac{\sum_{k=1}^n l_k}{v_i}, \quad (3.1)$$

где  $v_i = \frac{l_i}{(t_{i+1} + t_{\text{ср}i+1}) - (t_i + t_{\text{ср}i})}$  – фактическая скорость движения поезда по  $i$ -й рельсовой цепи;

$l_i$  – длина  $i$ -й рельсовой цепи;

$t_i$  – время вступления поезда на  $i$ -ю рельсовую цепь;

$t_{\text{ср}i}$  – время срабатывания путевого приемника  $i$ -й рельсовой цепи;

$t_{\text{ср}i+1}$  – время срабатывания путевого приемника  $(i+1)$ -й рельсовой цепи.

Фактическое время проследования поезда по переезду определяется величиной:

$$t_{\text{факт}} = \frac{\sum_{k=1}^n l_k + l_{\text{ИП}}}{v_i}, \quad (3.2)$$

где:  $l_{\text{ИП}}$  – длина участка извещения переезда.

Время открытия переезда может быть вычислено по формуле:

$$t_{\text{откр}} = \frac{\sum_{k=1}^n l_k + l_{\text{ИП}}}{v_i} + t_{\text{осв}}, \quad (3.3)$$

где:  $t_{\text{осв}}$  – определяется по времени освобождения последним вагоном рельсовой цепи после переезда.

Применять приведенные выше выражения предлагается для определения времени на участках, оборудованных рельсовыми цепями тональной частоты, для других участков, оборудованных длинными рельсовыми цепями или средствами полуавтоблокировки, требуется установка дополнительных датчиков. Точность прогноза времени до закрытия и до открытия переезда обратно пропорциональна средней длине рельсовой цепи на конкретном участке.

Значения времени можно прогнозировать по данным с бортовых локомотивных устройств и передавать их на информационное табло переезда по радиоканалу.

Точно спрогнозировать время до закрытия или до открытия переезда не представляется возможным из-за влияния множества различных факторов, но в процессе проследования поезда через переезд значения времени на индикаторах для водителей автотранспорта могут корректироваться в зависимости от фактических параметров движения поезда. Корректировка заключается в более быстром изменении значений времени на индикаторах при ускорении поезда и в более медленном – при замедлении.

### **3.6. Оповещение машиниста о состоянии переезда**

Для обеспечения безопасности на железнодорожных переездах, особенно не обслуживаемых дежурным работником, важно, чтобы машинист приближающегося к переезду поезда имел заблаговременно объективную информацию о занятости переезда автотранспортом.

В работах [98,99] предлагается разместить видеокамеру (теповизионную) камеру для наблюдения за переездом и передавать изображение на локомотив по средствам беспроводной связи. Видеосигнал от камер анализируется для определения занятости переезда и, в случае занятости, формируется сигнал тревоги. Сигнал и полученное изображение обнаруженного на переезде объекта передаются по радиосвязи на локомотив. Локомотивные устройства непрерывно вычисляют тормозные кривые из расчета полной остановки поезда перед ближайшим пе-

реездом. Кривые рассчитываются для условий применения полного служебного или экстренного торможения. Для расчета тормозных кривых используются данные о координате поезда и его скорости, а также характеристики локомотива и электронная карты маршрута. При приближении к переезду на расстояние достаточное для выполнения полного служебного торможения или на расстояние для выполнения экстренного торможения передается соответствующий запрос на переезд. Переездная аппаратура, приняв запрос от локомотивных устройств, формирует и передает в ответ сообщение, содержащее код наличия или отсутствия сигнала тревоги. При наличии такого кода в сообщении дополнительно на борт локомотива передается видеоизображение переезда. На локомотиве при получении кода тревоги включаются сигнализаторы на пульте машиниста, а принятое видеоизображение выводится на монитор. Решение о применении служебного или экстренного торможения перед переездом при получении сигнала тревоги принимает машинист локомотива по полученному видеоизображению ситуации на переезде.

Основной недостаток описанного способа – отсутствие контроля закрытия переезда, поэтому тормозной путь поезда может существенно превышать длину участка извещения наличия переезда. Поэтому в ряде случаев сигнал тревоги будет передаваться ложно.

Данная проблема, связанная с оповещением машиниста о состоянии переезда, может быть полностью решена при реализации системы управления закрытием переезда, предложенной в настоящей работе.

### **3.7. Выводы по разделу**

1. Сформулированы требования и предложена структура построения системы управления закрытием переезда по характеристикам приближающегося поезда. Рассмотрены варианты реализации технических решений бортовой локомотивной аппаратуры предлагаемой системы.

2. Обоснован выбор применения аппаратуры масштабируемого безопасного локомотивного объединенного комплекса (БЛОК-М) для реализации локомотивной аппаратуры предлагаемой системы.
3. Снижение скорости поезда при остановке автотранспорта на закрытом переезде должно выполняться бортовой локомотивной аппаратурой по результатам автоматического контроля зоны переезда.
4. Приведены варианты модернизации существующих релейных схем АПС для реализации предложенной системы.
5. В предлагаемой системе следует применить дополнительные меры повышения безопасности на переезде такие, как информирование водителей автотранспорта о времени до закрытия, времени до открытия и направлении приближения поезда, а также вопросы информирования машиниста о состоянии переезда.

## 4. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДЛОЖЕННЫХ РЕШЕНИЙ

### 4.1. Оценка уменьшения времени закрытия переезда

В имеющихся работах даются противоречивые оценки эффективности систем с постоянным временем извещения по сравнению с системами с постоянной длиной участка извещения. Поэтому представляет интерес выполнения оценки эффективности методов, алгоритмов и решений, предложенных в диссертационном исследовании. Под эффективностью систем переездной сигнализации понимают время излишнего простоя автотранспорта перед закрытым переездом [41]. Величина этого времени ограничивается снизу соображениями безопасности.

Выполним сравнение времени закрытия переездов с фиксированным участком извещения и с участком приближения, рассчитанным по характеристикам приближающегося поезда [100].

В существующих системах АПС, как отмечалось выше, при вступлении поезда на участок извещения подается команда закрытия переезда, который закрывается через замедления в 13-15 с на срабатывание аппаратуры. Длина участка извещения фиксирована и определяется в соответствии с методическими указаниями И-276-00 по выражениям (2.16) и (2.17), из которых следует, что длина участка извещения зависит от максимальной скорости движения поездов по переезду и ширины самого переезда (числа железнодорожных путей, проходящих через переезд), и не зависит от характеристик подвижного состава.

Зависимости длин участков извещения существующих систем АПС от скоростей движения при различных значениях ширины переезда представлены на рисунке 4.1.

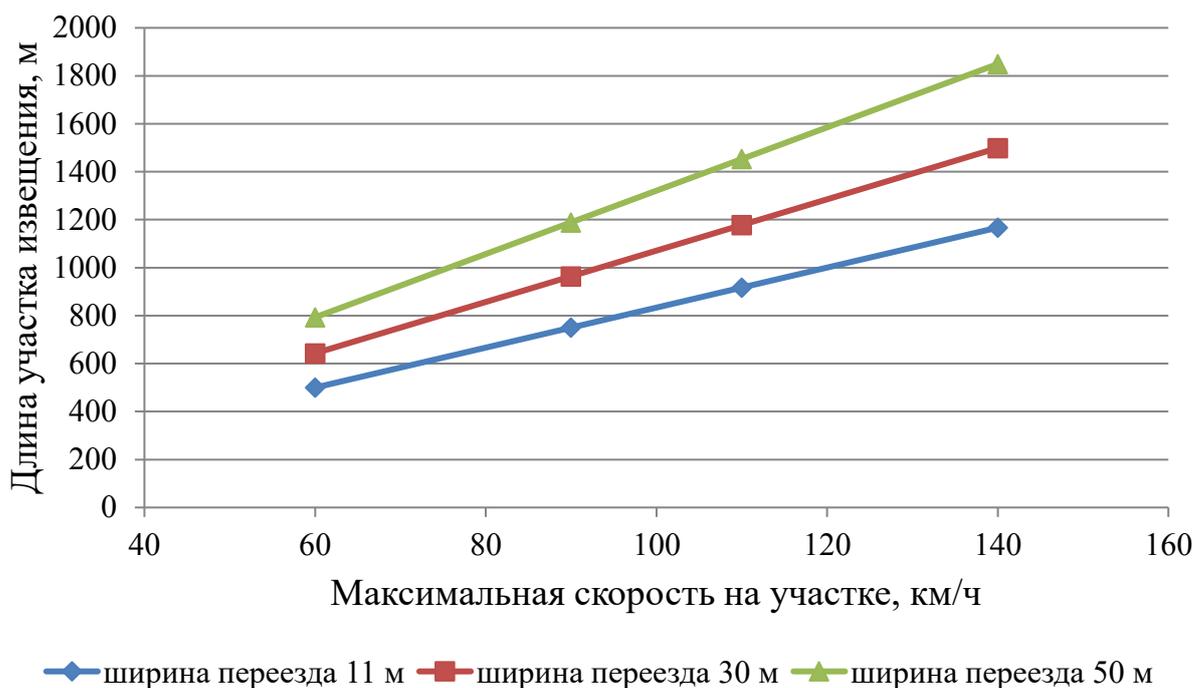


Рисунок 4.1 – Зависимости длин участка извещения от максимальной скорости на участке для переездов различной ширины

Сделаем допущение, что скорость поезда остается постоянной при движении по траектории 1. Рассчитаем время проследования участка извещения в зависимости от скорости и тормозного коэффициента в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Времена проследования поездов с различными скоростями по различным участкам извещения

Ширина переезда	Время извещения	Максимальная скорость на участке	Длина участка извещения	Фактическая скорость движения поезда	Время проследования участка извещения
м	с	км/ч	м	км/ч	с
11	30	60	500	20	89
				50	36
		90	750	20	134
				50	54
		110	917	20	194
				50	66
140	1167	20	208		
		50	84		
30	38,6	60	643	20	115
				50	46

		90	964	20	172
				50	69
		110	1178	20	210
				50	85
		140	1499	20	268
				50	108
50	47,6	60	793	20	142
				50	57
		90	1189	20	212
				50	86
		110	1453	20	259
				50	105
		140	1849	20	330
				50	133

Зависимости длин участков извещения от величины тормозного коэффициента при различных скоростях движения, для предложенного в диссертационной работе метода управления закрытием переезда на основе расчета участка извещения по характеристикам приближающегося поезда, приведены на рисунке 4.2.

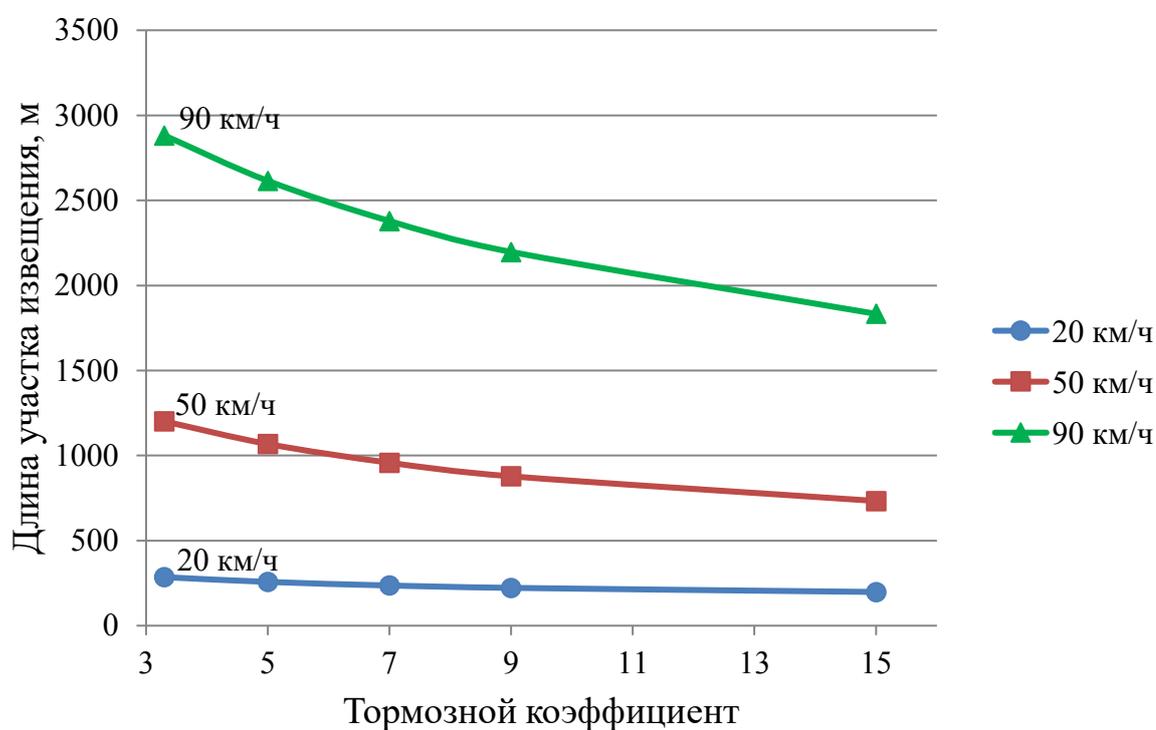


Рисунок 4.2 – Зависимости длин участка извещения от величины тормозного коэффициента

Длины участков извещения, рассчитанные по тормозному пути поезда получаются больше, чем длины фиксированных участков извещения при сопоставимых расчетных скоростях движения. Однако, поезда едут через переезд далеко не всегда на максимальных скоростях.

Торможение перед переездом выполняется только при условии занятости закрытого переезда автотранспортом или неисправности переездной сигнализации. В случае штатной работы переездной сигнализации поезд проследует переезд с установленной скоростью. Сделаем допущение, что скорость поезда остается постоянной при проследовании участка извещения, тогда рассчитаем время проследования участка извещения в зависимости от скорости и тормозного коэффициента (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Время проследования участка извещения в зависимости от скорости и тормозного коэффициента для предложенного в диссертации метода

Скорость, км/ч	Тормозной коэффициент		
	3,3	7	15
	Время проследования участка извещения, с		
10	38	34	31
20	51	43	36
30	64	52	41
40	76	60	47
50	86	69	53
60	96	77	58
70	103	84	64
80	110	90	69
90	115	95	73
100	120	100	77
110	123	104	81

В расчетах принято, что время закрытия переезда составляет 15 с, время проверки свободности закрытого переезда – 2 с, время обмена данными аппаратуры локомотива и переезда – 3 с.

Построим графики зависимости времени проследования участка извещения от скорости для участка извещения с фиксированной длиной по выражениям

(2.16) и (2.17) и для участка с переменной длиной по выражению (2.33). Зависимости представлены на рисунке 4.3.

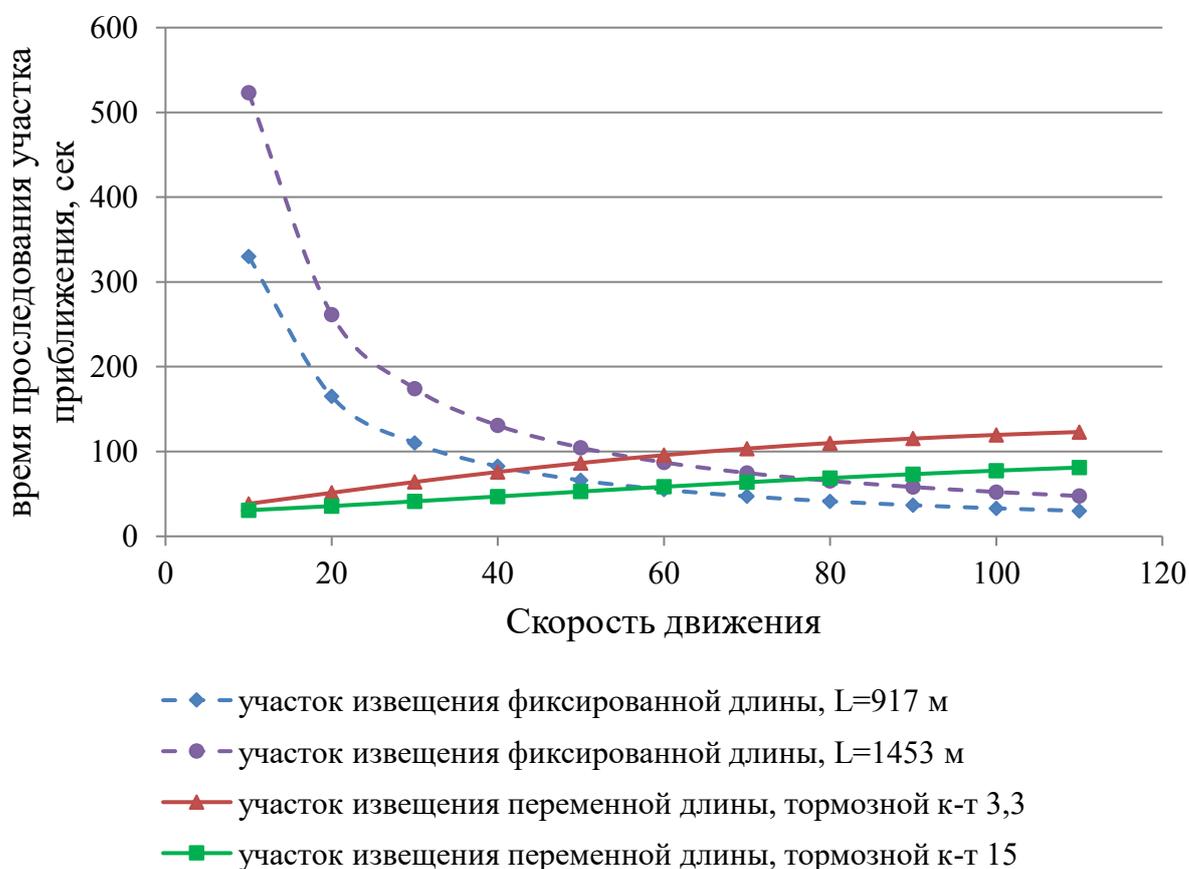


Рисунок 4.3 – Зависимости времени проследования участка извещения от скорости

График на рисунке 4.3 позволяет сделать следующие выводы:

– при фиксированной длине участков извещения время проследования увеличивается с уменьшением скорости движения и имеет существенную нелинейность в области низких скоростей;

– время ожидания поезда у закрытого переезда с участком извещения, рассчитанным по характеристикам поезда, распределено более равномерно по скоростям движения поездов, что позволит водителям автомобильного транспорта сформировать более точную оценку времени закрытия переезда;

– время закрытия переездов с фиксированной длиной участка извещения больше при скоростях движения менее 50 км/ч, в интервале скоростей 50-70 км/ч – время закрытия примерно одинаково и определяется случайными факторами, а при скоростях выше 70 км/ч время закрытия меньше;

– различия между временем проследования участков извещения в области низких скоростей движения в несколько раз больше, чем различия в области высоких скоростей. При схожих распределениях поездов с низкими и высокими скоростями метод управления АПС по характеристикам приближающегося поезда позволит одновременно снизить вероятность столкновений на переездах и сократить время перекрытия переезда для автотранспорта.

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:

$$T_i = \int_{S_0}^{S_0 + L_{\text{изв}} + L_{\text{п}}} \frac{dS}{v(S)} + t_{\text{откр}}, \quad (4.1)$$

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.

С другой стороны, определим задержку автотранспорта из-за перекрытия переезда для проследования поезда как снижение средней скорости транспортного потока по сравнению со средней скоростью свободного движения на данном участке дороги:

$$T_i = \frac{1}{k} \int_{l_1}^{l_2} \left( \frac{1}{v_{AM}^F(l)} - \frac{1}{v_{AM}^{cp}(l)} \right) dl, \quad (4.2)$$

где:  $dl$  – элементарный участок дороги;

$v_{AM}^F$  – скорость транспортного потока свободного движения;

$v_{AM}^{cp}$  – средняя скорость движения из-за перекрытий переезда;

$k$  – количество направлений движения автотранспорта через переезд.

Выражениями (4.1) и (4.2) описывается влияние одного поезда на поток автотранспорта на переезде. Учитывая, что через переезд следуют поезда с различными характеристиками, требуется вероятностная модель исследуемой системы поезд-переезд-поток автотранспорта, в которой случайными величинами являются параметры поезда.

Штатная работа существующих систем АПС выражается в изменении средней скорости движения потока автотранспортных средств от перекрытия переезда и описывается уравнением:

$$\int_{n_0}^n \left( \int_{S_0}^{S_0 + L_{изв} + L_{п}} \frac{dS}{v(S)} + t_{откр} \right) dn_{п} = \frac{1}{k} \int_{n_0}^n \int_{l_1}^{l_2} \left( \frac{1}{v_{AM}^F(l)} - \frac{1}{v_{AM}^{cp}(l)} \right) dl dn_a - \Delta T. \quad (4.3)$$

Эффективность работы АПС с участком извещения, устанавливаемым по прогнозируемому тормозному пути приближающегося к переезду поезда также можно оценить по формуле (4.3), подставляя вместо  $L_{изв}$  прогнозируемый тор-

мозной путь  $S_T$  для каждого поезда, рассчитанный по его характеристикам с учетом времени на обмен данными по радиоканалу, что показано на рисунке 4.4.

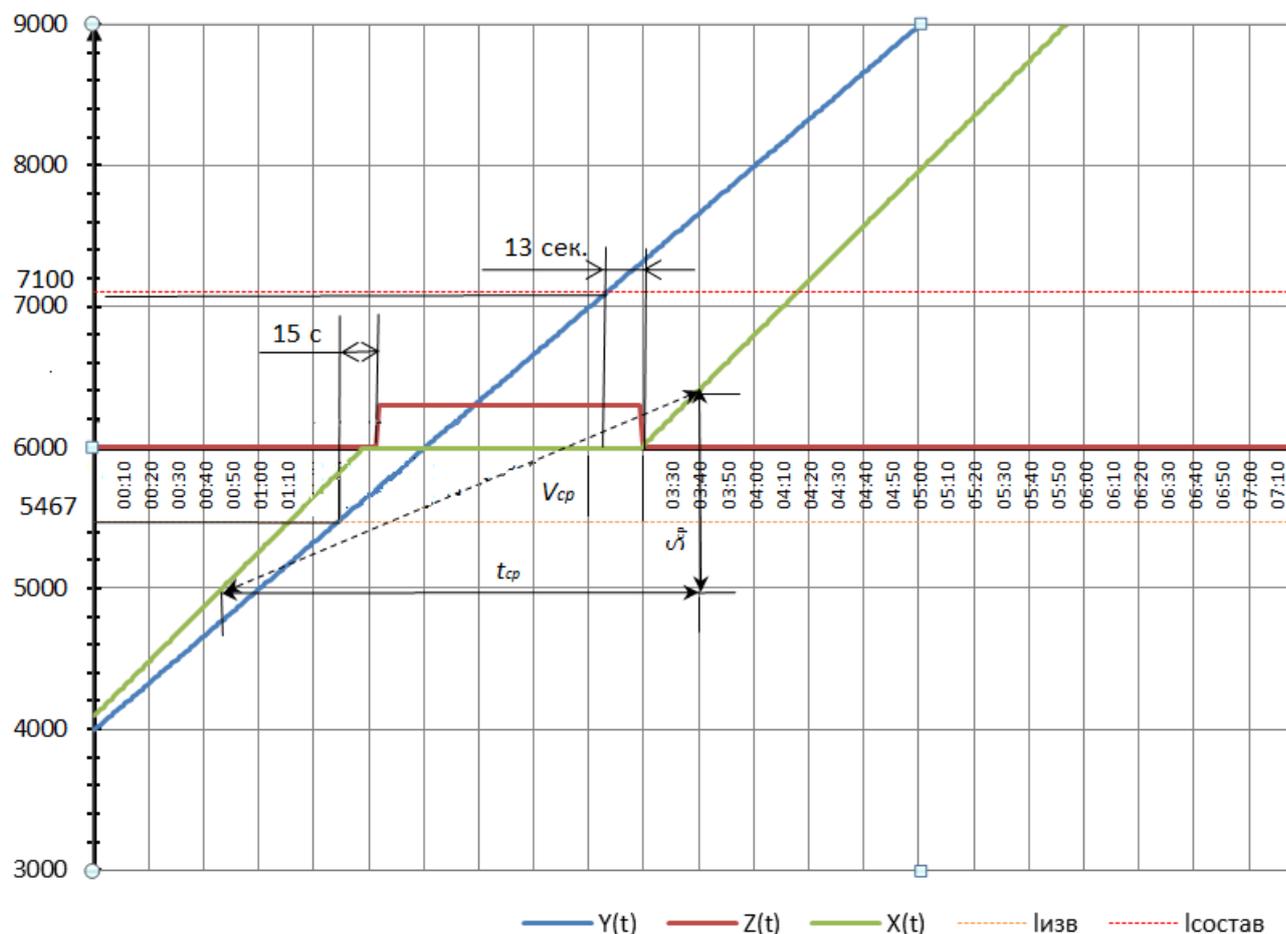


Рисунок 4.4 – Работа АПС с участком извещения по характеристикам приближающегося поезда

В соответствии с (4.1) и (4.2) 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:  $t_{откр} = 4$  сек.,  $L_{изв} = 700$  м,  $t_{обм} = 5$  сек. – время обмена данными локомотивной и переездной аппаратуры.

Гистограммы распределения времени перекрытия переезда, полученные из расчетов по данным бортовых комплексов, представлены на рисунке 4.5.

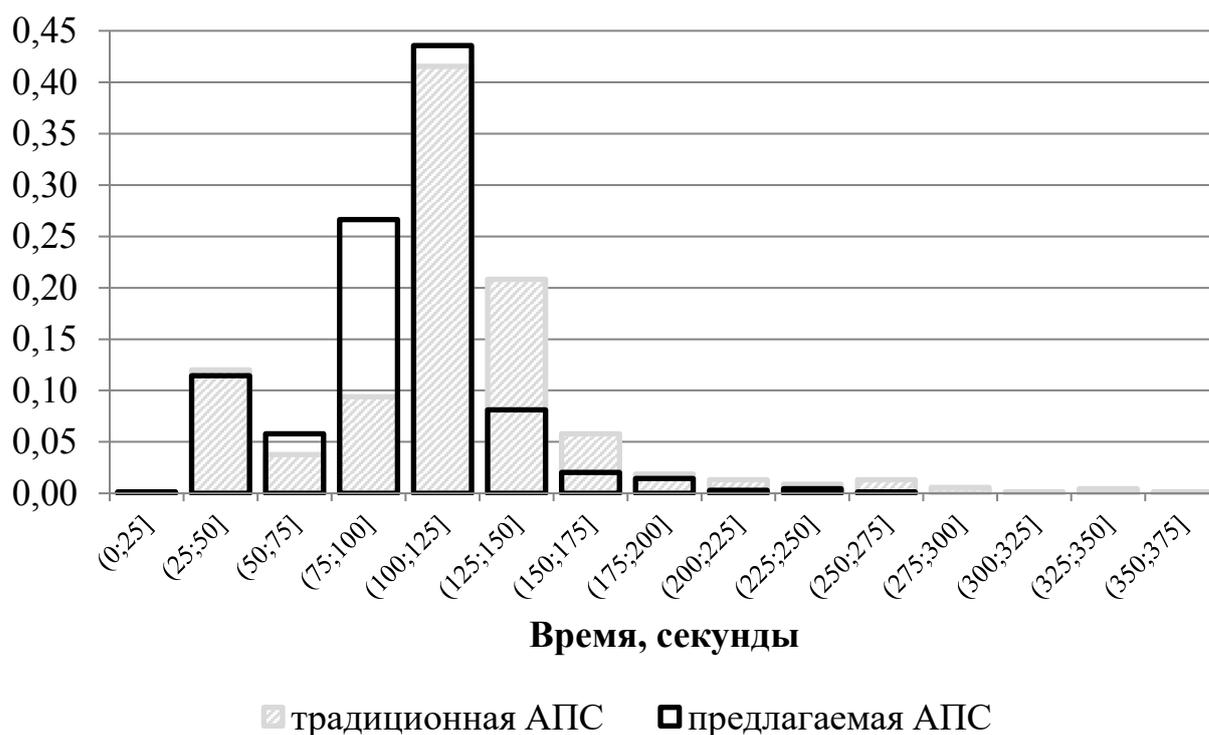


Рисунок 4.5 – Распределение времени перекрытия переезда для традиционной АПС и АПС с управлением по характеристикам приближающегося поезда

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 переезд 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). Суммарная задержка движения автомобилей для обоих направлений составляет 3,14 часа для традиционной АПС и 2,66 – для предлагаемой АПС.

Среднюю скорость движения автомобилей можно определить с помощью геоинформационных интернет-сервисов, которые позволяют:

- просматривать карты крупных городов и спутниковые снимки всего мира;
- выполнять поиск мест или организаций по географическим координатам;
- получить сведения о картографическом объекте (карточку объекта);
- строить маршрут поездок;

- получить информацию о средней скорости движения на дорогах, о дорожных событиях и о парковках;
- изменять масштаб карты, измерять расстояние и прочее.

На переезде, спутниковый снимок которого приведен на рисунке – 4.6, получены средние значения скоростей движения автомобилей для направлений движения А и В.

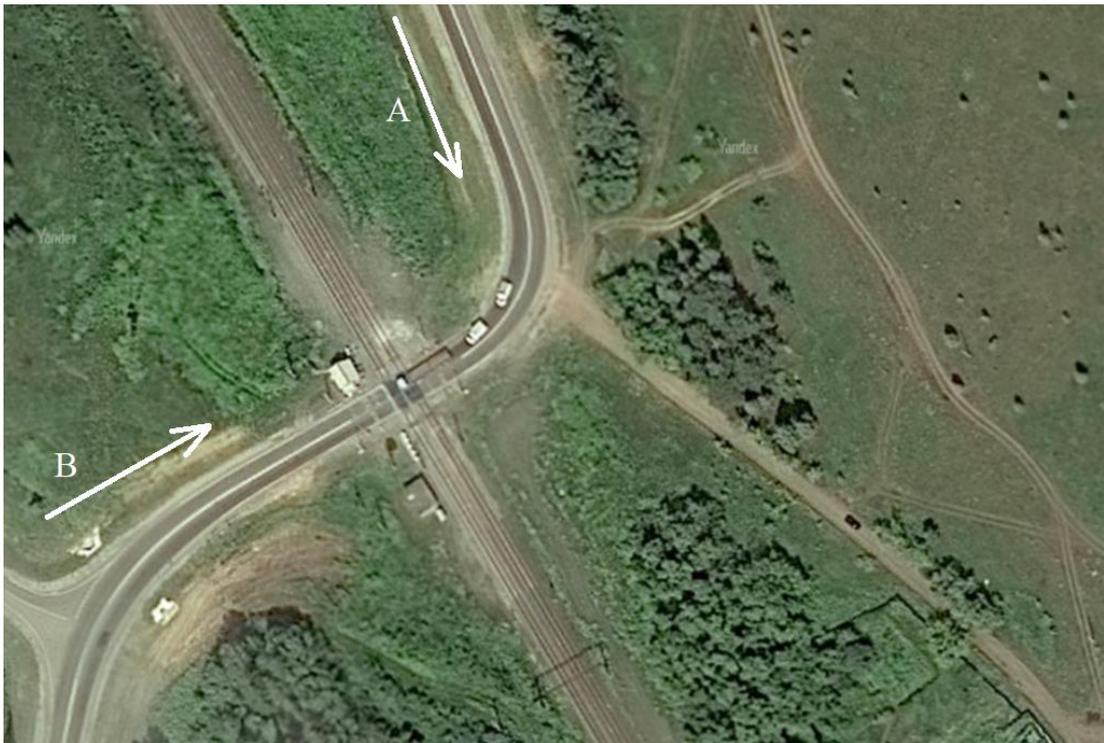


Рисунок 4.6 – Переезд. Спутниковый снимок

На рисунке 4.7 показаны изменения средней скорости движения автомобилей за сутки по данным геоинформационного интернет-сервиса Yandex.

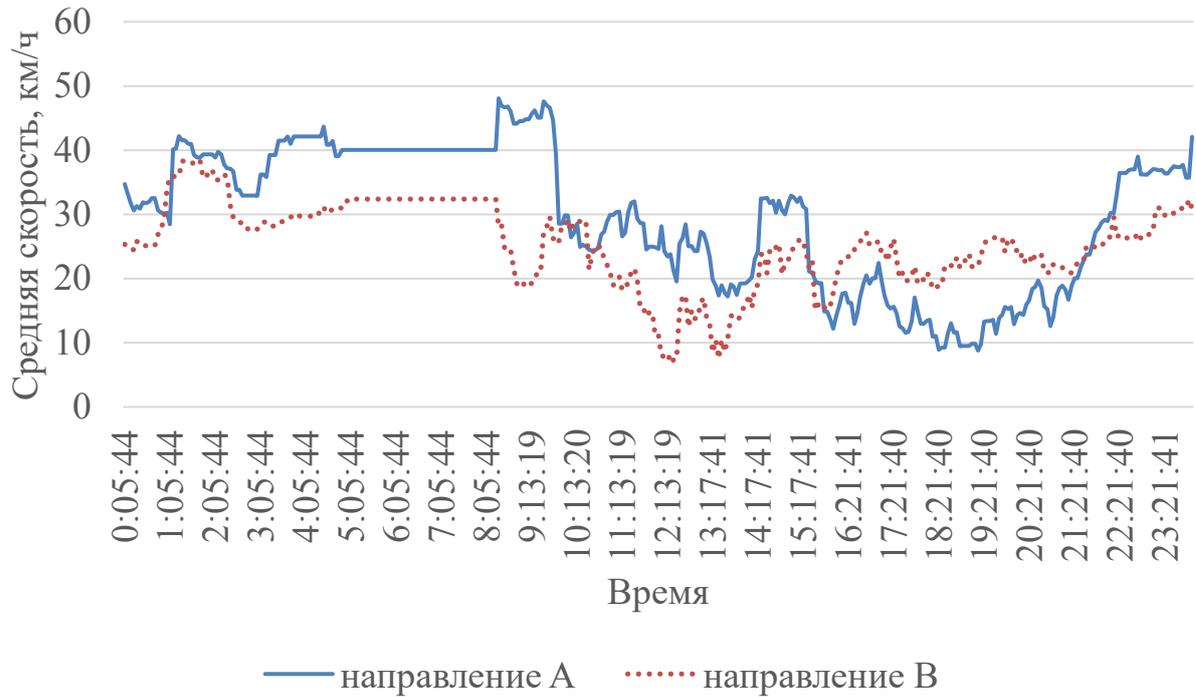


Рисунок 4.7 – Средняя скорость движения автомобилей на переездах

Кроме закрытия переезда, на изменения средней скорости влияют и другие факторы, например, конфигурация дороги, которые могут быть учтены в (4.3) через  $\Delta T$ :

$$\int_{t_0}^t \left( \int_{S_0}^{S_0+L_{изв}+L_{п}} \frac{dS}{v(S)} + t_{откр} \right) n_{п}(t) dt_{п} = \frac{1}{k} \int_{t_0}^t \int_{l_1}^{l_2} \left( \frac{1}{v_{AM}^F(l)} - \frac{1}{v_{AM}^{cp}(l)} \right) dl n_a(t) dt_a - \Delta T. \quad (4.4)$$

Примем  $v_{AM}^F$  в направление движения А равным 40 км/ч, в направлении В – 30 км/ч. Тогда в направлении движения А задержка автомобилей составила 5,6 часов за сутки, в направлении В – 4,4 часа за сутки. Суммарная задержка движения автомобилей через рассматриваемый переезд, рассчитанная по данным о средней скорости движения, составит 10 часов за сутки.

## 4.2. Оценка уменьшения вероятности столкновения

В соответствии с (2.26) для оценки вероятности столкновения на закрытом и занятом автотранспортом переезде требуется знать длину участка извещения. Обозначим длину участка извещения рассчитанного по характеристикам приближающегося поезда как  $L'_{изв}$  и оценим ее по (2.30 - 2.32):

$$L'_{изв} = s_{ij} + \frac{v_i(t_{закр} + t_{пров} + t_{обм})}{3,6}, \quad (4.5)$$

где:  $t_{закр}$  – время закрытия переезда;

$t_{пров}$  – время проверки свободности закрытого переезда;

$t_{обм}$  – время, необходимое для обмена данными между аппаратурой локомотива и переезда.

Вероятность столкновения на переезде при определении длины участка извещения по характеристикам приближающегося поезда можно оценить по выражению (2.26):

$$k_{ij} = \frac{\left[ s_{ij} + \frac{v_i(t_{закр} + t_{реак})}{3,6} \right]}{\left[ s_{ij} + \frac{v_i(t_{закр} + t_{пров} + t_{обм})}{3,6} \right]}. \quad (4.6)$$

## 4.3. Выводы по разделу

1. При фиксированной длине участков извещения время проследования увеличивается с уменьшением скорости движения и имеет существенную нелинейность в области низких скоростей.

2. Время ожидания поезда у закрытого переезда с участком извещения, рассчитанным по характеристикам поезда, распределено более равномерно по скоро-

стям движения поездов, что позволит водителям автомобильного транспорта сформировать более точную оценку времени закрытия переезда.

3. Время закрытия переездов с фиксированной длиной участка извещения больше при скоростях движения менее 50 км/ч, в интервале скоростей 50-70 км/ч – время закрытия примерно одинаково и определяется случайными факторами, а при скоростях выше 70 км/ч время закрытия меньше.

4. Различия между временем проследования участков извещения в области низких скоростей движения в несколько раз больше, чем различия в области высоких скоростей. При схожих распределениях поездов с низкими и высокими скоростями метод управления АПС по характеристикам приближающегося поезда позволит одновременно снизить вероятность столкновений на переездах и сократить время перекрытия переезда для автотранспорта.

5. 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.

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

## 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 поез-

да. 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 ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Протяженность путей сообщения по Российской Федерации: Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/prot.xlsx> (Дата обращения 04.06.2019).
2. Пономарев, В. М. Системы безопасности на железнодорожных переездах: учеб.-методическое пособие / В. М. Пономарев, В. И. Жуков, А. В. Волков, А. С. Кочетов, Л. В. Гришина. – М.: РУТ (МИИТ), 2017. – 133 с.
3. Лисенков, В. М. Системы управления движением поездов на перегонах: учебник для вузов ж.-д. транспорта: в 3 ч. / В. М. Лисенков, П. Ф. Бестемьянов, В. Б. Леушин и др.; под ред. В. М. Лисенкова. – М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2009. – Ч. 1: Функциональные схемы систем. – 160 с. ISBN 978-5-89035-570-6.
4. Карпущенко, Н. И. Проблема обеспечения безопасности движения на железнодорожных переездах / Н. И. Карпущенко, Д. В. Величко, Т. В. Колмогорова // Транспорт Российской Федерации. – 2011. – № 4(35). – С. 47–50. – ISSN 1994-831X.
5. Герус, В. Л. Временной и сезонный анализ происшествий на переездах / В. Л. Герус, А. Е. Тарасова // Вестник транспорта Поволжья. – 2018. – № 1(67). – С. 75–82. – ISSN 1997-0722.
6. Платонов, А. А. Анализ аварийности и причин возникновения транспортных происшествий на железнодорожных переездах // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2014. – № 5. – С. 38–42. – ISSN 2222-9396.
7. Системы автоматики и телемеханики на железных дорогах мира: учеб. пособие для вузов ж.-д. транспорта / Пер. с англ.; под ред. Г. Теега, С. Власенко. – М.: Интекст, 2010. – 496 с.
8. Оценка риска схода с рельсов на переездах // Железные дороги мира. – 2014. – №7. – С. 71–78. – ISSN 0321-1495.
9. Красюков, Н.Ф. Моделирование нагруженности конструкции локомотива при лобовом столкновении с препятствием на железнодорожном пути: дис. ... канд.

- техн. наук: 05.22.07: защищена 03.12.2020 / Красюков Николай Федорович. – М.: МИИТ, 2011. – 205 с.
10. Железнодорожный транспорт. Сер. Безопасность движения. Вып. 3–4. М.: ЦНИИ ТЭИ МПС, 1999.
11. Годяев, А.И. Методологические основы и принципы построения систем поддержки принятия решений в задачах обеспечения безопасности управления движением на железнодорожном транспорте: дис. ... д-р техн. наук: 05.22.08: защищена 20.12.2006 / Годяев Александр Иванович. – М., 2006. – 436 с.
12. Гришаев, С. Ю. Обеспечение безопасности на железнодорожных переездах за счет управления переездной сигнализацией на основе данных бортовых локомотивных устройств // Актуальные вопросы развития железнодорожного транспорта: материалы Всероссийской науч.-практической конференции к 75-летию аспирантуры Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. Часть 2 / А. Н. Попов, С. Ю. Гришаев; под ред. А. Б. Косарева, Г. В. Гогричани. – М.: РАС, 2019. – С. 184–192.
13. Наличие транспортных средств по Российской Федерации: Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/o7FwgVNN/nalich.xls> (Дата обращения 04.06.2019).
14. Чех, Н. П. Устройство заграждения переезда / Н. П. Чех // Автоматика, телемеханика и связь. – 1994. – № 7. – С. 20–21.
15. Чех, Н. П. Устройство заграждения переезда / Н. П. Чех, В. Ф. Скубак, О. И. Цысь, В. А. Лавров // Путь и путевое хозяйство. – 1998. – № 1. – С. 28–29.
16. Гуревич, В. Л. Устройства заграждения на переездах без дежурного работника / В. Л. Гуревич, С. А. Щиголев // Автоматика, связь, информатика. – 2015. – № 5. – С. 4–7. – ISSN 0005-2329.
17. Кириллов, А. Н. Модернизация схем автоматической переездной сигнализации / А. Н. Кириллов // Автоматика, связь, информатика. – 2016. – № 9. – С. 30–31. – ISSN 0005-2329.

18. Барский, И. В. Комплексы «Кордон-М» КР. Новый уровень автоматической фиксации нарушений ПДД на пересечениях дорог / И. В. Барский // Вестник НЦ БЖД. – 2016. – № 1(27). – С. 11–15. – ISSN 2075-4957.
19. Герус, В. Л. Исследование информативности признаков при распознавании состояний рельсовых линий / В. Л. Герус, Е. М. Тарасов, А. Е. Тарасова // Вестник Мордовского университета. – 2018. – Том 28, № 2. – С. 191–207. – ISSN 0236-2910.
20. Ефанов, Д. В. Комплексный учет параметров объектов инфраструктуры железной дороги, железнодорожного подвижного состава и автомобильного транспорта для обеспечения безопасности движения на переездах / Д. В. Ефанов, Г. В. Осадчий, Д. Г. Плотников, В. В. Хорошев // Автоматика на транспорте. – 2018. – № 2. – Том 4. – С. 167–194. – ISSN 2412-9186.
21. Пат. 2667035 Российская Федерация, МПК7 В 61 L 29/00 (2006.01). Система удаленного контроля и информирования машиниста о занятости железнодорожного переезда / Власов В. В., Соколов Д. В.; заявитель и патентообладатель ООО «АВП Технология». – № 2017117173; заявл. 17.05.2017; опубл. 13.09.2018, Бюл. № 26. – 12 с.
22. Пат. 2313465 Российская Федерация, МПК7 В 61 L 29/00 (2006.01). Система дистанционного контроля железнодорожного пути / Финк Ю. М., Коваленко В. Н., Морозов Л. А. [и др.]; заявитель и патентообладатель Финк Ю. М. – № 2005131290/11; заявл. 11.10.2005; опубл. 27.12.2007, Бюл. № 36. – 7 с.
23. Новиков, В.Г. Координатная система интервального регулирования движения поездов с расширенными функциональными возможностями локомотивного устройства: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08: защищена 06.04.2011 / Новиков Вячеслав Геннадьевич. – М.: МИИТ, 2011. – 205 с.
24. Повышение безопасности на переездах в Канаде // Железные дороги мира. – 2015. – № 8. – С. 59–61.
25. Методические указания по проектированию устройств автоматики, телемеханики и связи на железнодорожном транспорте. И-276-00. Расчет параметров работы переездной сигнализации. 2000 г. 33 с.

26. Каменский, В. Б. Организации безопасности движения на переездах – комплексную системную основу / В. Б. Каменский, Ю. А. Тюпкин, В. А. Поздняков // Железнодорожный транспорт. – 1999. – № 1. – С. 46–50.
27. Поздняков, В. А. Переезд – зона повышенной опасности / В. А. Поздняков // Путь и путевое хозяйство. – 1998. – № 12. – С. 30–31.
28. Масайтис, Ю.Л. Переездной автоматический комплекс устройств / Ю. Л. Масайтис // Автоматика, связь, информатика. – 1997. – № 11. – С. 27.
29. Грачев, Г. Н. Применение метода импульсного зондирования для организации переездной сигнализации / Г. Н. Грачев, М. Б. Гуменик // Автоматика, связь, информатика. – 1997. – № 11. – С. 28–30.
30. Вахнин, М. И. Перегонные устройства СЦБ / М. И. Вахнин. – М.: Государственное транспортное железнодорожное издательство, 1947. – 660 с.
31. Вахнин, М. И. Автоматика и телемеханика на перегонах / М. И. Вахнин, М. И. Влодавский, В. И. Ильенков, Н. Ф. Котляренко, П. В. Майшев. – М.: Государственное транспортное железнодорожное издательство, 1957. – 435 с.
32. Тильк, И. Г. Применение устройств счета осей в переездной сигнализации / И. Г. Тильк, Б. С. Сергеев // Транспорт Урала. – 2006. – № 2(9). – С. 37–41. – ISSN 1815-94001.
33. Щиголев, С. А. Автоматическая переездная сигнализация на счетчиках осей / С. А. Щиголев, С. А. Татиевский // Автоматика, связь, информатика. – 2005. – № 12. – С. 57–58. – ISSN 0005-2329.
34. Пат. 2468949 Российская Федерация, МПК7 В 61 L 23/16 (2006.01), В 61 L 1/16 (2006.01) Устройство для управления движением на железнодорожном переезде / Ададунов С. Е., Гордон Б. М., Казиев Г.Д., Розенберг Е. Н.; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте» – № 2011115511/11 ; заявл. 20.04.2011; опубл. 10.12.2012, Бюл. № 34. – 8 с.

35. Тильк, И. Г. Новые устройства автоматики и телемеханики железнодорожного транспорта / И. Г. Тильк. – Екатеринбург: УрГУПС. – 2010. 167 с. – ISBN 978-5-94614-155-0.
36. Пат. 2652363 Российская Федерация, МПК7 В 61 L 23/16 (2006.01). Устройство для управления движением на железнодорожном переезде / Воронин В. А., Кисельгоф Г. К., Красовицкий Д. М. [и др.]; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте». – № 2017111513; заявл. 06.04.2017; опубл. 25.04.2018, Бюл. № 12–11 с.
37. Пат. 2544285 Российская Федерация, МПК7 В 61 L 29/24 (2006.01). Устройство управления переездной сигнализацией / Гнитько Р. В., Курганский А. А., Тильк И. Г., Ляной В. В.; заявитель и патентообладатель АО «НПЦ «Промэлектроника» – № 2013153989/11 ; заявл. 04.12.2013; опубл. 20.03.2015, Бюл. № 8–6 с.
38. Герус, В. Л. Повышение безопасности на железнодорожных переездах на основе совершенствования управления автоматической переездной сигнализацией: дис... канд. техн. наук: 05.22.08: защищена 22.02.2019 / Герус Владимир Леонидович. – Самара, 2018. – 201 с.
39. Пат. 2651379 Российская Федерация, МПК7 В 61 L 29/00 (2006.01). Устройство управления автоматической переездной сигнализацией / Тарасов Е. М., Железнов Д. В., Герус В. Л.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный университет путей сообщения». (СамГУПС) – № 2016113947; заявл. 11.04.2016; опубл. 16.10.2017, Бюл. № 29–8 с.
40. Извещение по радиоканалу о приближении поезда к переезду // Железные дороги мира. – 2019. – № 3. – С. 72–75.
41. Тарасов, Е. М. Оценка эффективности существующей переездной сигнализации / Е. М. Тарасов, Д. В. Железнов, В. Л. Герус // Вестник транспорта Поволжья. – 2015. – № 6(54). – С. 58–61. – ISSN 1997-0722.

42. Хаккерт, Б. М. Системы переездной сигнализации с постоянным временем извещения / А. С. Хаккерт, Б. М. Степенский // Железные дороги мира. – 1996. – №12. – С. 47–49.
43. Повышение безопасности на переездах в Канаде // Железные дороги мира. – 2015. – № 8. – С. 59–61.
44. Гатауллин С. Т. Экономическая оценка и пути снижения потерь на железнодорожных переездах: дис. ... канд. техн. наук: 08.00.05, 08.00:13: защищена 25.05.2009 / Гатауллин Сергей Тимурович. – М.: ГОУ ВПО Государственный университет управления, 2009. – 149 с.
45. Болтаев С. Т. Методы и алгоритмы автоматизации управления на станциях железных дорог республики Узбекистан при высокоскоростном движении: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08: защищена 23.05.2018 / Болтаев Саннатилло Туймуродович. – СПб: ПГУПС, 2018. – 180 с.
46. Никитин А. Б. Обеспечение безопасности на станционных переездах при организации высокоскоростного движения на действующих линиях / А. Б. Никитин, С. Т. Болтаев // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб: ПГУПС, 2016. – № 2. – С. 206–214.
47. Кошкин, А. Ю. Переездам – комплексные меры обеспечения безопасности / А. Ю. Кошкин, А. А. Иваненко // Железнодорожный транспорт. – 2015. – № 6. – С. 4–8. – ISSN 0044-4448.
48. Теория электрической тяги / В. Е. Розенфельд, И. П. Исаев, Н. Н. Сидоров, М. И. Озеров; Под. ред. И. П. Исаева. – М.: Транспорт, 1995. – 294 с.
49. Правила тяговых расчетов для поездной работы. Утверждены распоряжением ОАО «РЖД» 12.05.2016 № 867р. 513 с.
50. Асадченко, В. Р. Автоматические тормоза подвижного состава: Учеб. пособие для вузов ж.-д. транспорта. – М.: Маршрут, 2006. – 392 с. – ISBN 5-89035-275-X.
51. Баранов, Л. А., Ерофеев Е. В., Мелёшин И. С., Чинь Л. М. Оптимизация управления движением поездов: учеб. пособие / Л. А. Баранов, Е. В. Ерофеев, И. С. Мелешин, Л. М. Чинь; под редакцией доктора технических наук, профессора Л. А. Баранова. – М.: МИИТ, 2011. – 164 с.

52. 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.
53. Гришаев, С. Ю. Безопасность движения при остановке автотранспорта на железнодорожных переездах перед приближающимся поездом / А. Н. Попов, С. Ю. Гришаев // Транспорт Урала. – Екатеринбург: УрГУПС, 2020. – №1 (64). – С. 39–42. – ISSN 1815-9400.
54. Гришаев, С. Ю. Оценка вероятности аварийной ситуации при вынужденной остановке автомобиля на переезде / А. Н. Попов, С. Ю. Гришаев // Автоматика на транспорте. – 2021. – Т. 7. – № 1. – С. 21-38.
55. Патент на полезную модель RU 128748 U1. Бесконтактное устройство записи и хранения оперативной информации / Галеев А. И., Гришаев С. Ю., Гриньков Е. А., Лукина С. А., Масалов Г. Д., Сулоев А. В., Шухина Е. Е., Хаванских А. М. Заявка № 2012157677/11 от 28.12.2012.
56. Исаев, И. П. Случайные факторы и коэффициент сцепления. М.: Транспорт, 1970. – 182 с.
57. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей: Учеб. для вузов / Е. С. Вентцель. – 6-е изд. стер. – М.: Высш. шк., 1999. – 576 с.
58. Кобзарь, А.И., Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников / А. И. Кобзарь – 2-е изд., испр. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. – 816 с. – ISBN 978-5-9221-1375-5.
59. Хан, Г. Статистические модели в инженерных задачах / Г. Хан, С. Шапиро. – М.: Мир, 1969. – 395 с.
60. Лемешко, Б. Ю. Статистический анализ данных, моделирование и исследование вероятностных закономерностей. Компьютерный подход: монография / Б. Ю. Лемешко, С. Б. Лемешко, С. Н. Постовалов, Е. В. Чимитова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. – 888 с. – ISBN 978-5-7782-1590-0

61. 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.
62. Никифоров, Б. Д. Автоматизация управления торможением поездов / Б. Д. Никифоров, В. И. Гооловин, Ю. Г. Кутыев. – М.: Транспорт, 1985. – 263 с.
63. Головин, В. И. Опыт внедрения и эксплуатации системы САУТ / В. И. Головин, Б. И. Мацкевич // Железнодорожный транспорт. – № 8, 1994, С. 40–44.
64. Ветлугин, Б. И. Увязка САУТ-ЦМ/НСП с МПЦ / Б. И. Ветлугин, А. Н. Кондратьев, С. В. Федоров, А. В. Долгушев // Автоматика, связь, информатика. – № 1, 2016, С. 10–13. – ISSN 0005-2329.
65. Ветлугин Б. И. Увязка САУТ-ЦМ/НСП с релейными ЭЦ / Б. И. Ветлугин, А. Н. Кондратьев, С. В. Федоров, А. В. Долгушев // Автоматика, связь, информатика. – № 9, 2015, С. 6–10. – ISSN 0005-2329.
66. Капустин, М. Ю. Адаптивная система автоматического управления прицельным электропневматическим торможением поезда : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.06 : защищена 27.04.2015 / Капустин Михаил Юрьевич – М.: МИИТ, 2015. – 152 с. – 005560236.
67. Патент на полезную модель Российская Федерация RU 177916 U1. Тормозной блок железнодорожного тягового средства / Глушко М. И., Наговицын В. С., Антропов А. Н., Гришаев С. Ю., Ципп А. Л., Краев Е. В. Заявка № 2017107784 от 09.03.2017.,
68. Патент на полезную модель Российская Федерация RU 177291 U1. Устройство блокировки тормозов локомотива / Глушко М. И., Наговицын В. С., Антропов А. Н., Гришаев С. Ю., Ципп А. Л. Заявка № 2017116121 от 05.05.2017.
69. 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. Материалы Международной научно-технической конференции, посвященная 60-летию основания Уральского государственного университета путей сообщения. Ответственный за выпуск С. В. Бушуев. 2017. С. 243–251.

70. Гришаев, С. Ю. Экстренное торможение в автостоппном 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.
71. 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.
72. Власенко, С. В. Безопасность движения поездов: опыт железных дорог мира / С. В. Власенко, В. С. Лазарчук // Автоматика, связь, информатика. – № 7, 2015, С. 43–45. ISSN 0005-2329.
73. Зачатейский, Н. Д. Совершенствование метода «выделения фона» для нахождения подвижных объектов на железнодорожном переезде с помощью компьютерного зрения / Н. Д. Зачатейский, А. А. Аржанников, Е. А. Альтман // Известия ТРАНССИБА. – 2015. – № 1. – С. 74–80. – ISSN 2220-4245.
74. Альтман, Е. А. Применение алгоритмов компьютерного зрения для детектирования объектов на железнодорожном переезде / Е. А. Альтман, Н. Г. Ананьева, Н. А. Тихонова // Известия ТРАНССИБА. – 2016. – № 1. – С. 70–76. – ISSN 2220-4245.
75. 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.
76. Гришаев, С. Ю. Автоматика и микропроцессорная техника в локомотивных системах и комплексах обеспечения безопасности : учебное пособие / А. Н. Попов, В. С. Наговицын, А. Л. Ципп, С. Ю. Гришаев. – Екатеринбург : УрГУПС, 2018. – 154 с. ISBN 978-5-94614-440-7,

77. Бервинов, В. И. Локомотивные устройства безопасности: Учебник для техникумов и колледжей ж.-д. транспорта / В. И. Бервинов, Е. Ю. Доронин. – М.: Маршрут, 2005. – 156 с. ISBN 5-89035-295-4.
78. Кузнецов, К. В. Локомотивные приборы безопасности: учебное иллюстрированное пособие / К. В. Кузнецов, А. А. Дайлидко, Т. В. Плюгина. – М.: ФГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2011. – 107 с. ISBN 978-5-9994-0056-7.
79. Тарасов, Б. Н. Автоблокировка и автоматическая локомотивная сигнализация: Учеб. пособие для СПТУ / Б. Н. Тарасов, Я. Ю. Плавник. – М.: Транспорт, 1988. – 239 с.
80. Леонов, А. А. Техническое обслуживание автоматической локомотивной сигнализации / А. А. Леонов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1982. – 255 с.
81. Розенберг, Е. Н. Комплексные локомотивные системы безопасности / Е. Н. Розенберг, Е. Е. Шухина, Г. К. Кисельгоф // Автоматика, связь, информатика. – № 10, 2014, С. 2–4.
82. Шухина, Е. Е. Системы обеспечения безопасности движения поездов на базе радиоканала / Е. Е. Шухина, А. В. Низовский // Автоматика, связь, информатика. – № 10, 2016, С. 25–26.
83. Астрахан, В. И. Унифицированное комплексное локомотивное устройство безопасности (КЛУБ-У): учеб. пособие / В. И. Астрахан, В. И. Зорин, Г. К. Кисельгоф и др.; под ред. В. И. Зорина и В. И. Астрахана. – М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. – 177 с. ISBN 978-5-89035-465-5.
84. Пат. RU 2629582 С1. Локомотивное устройство управления движением поезда. Гринфельд И. Н., Гришаев С. Ю., Кисельгоф Г. К., Миронов В. С., Розенберг Е. Н., Румянцев С. В., Шухина Е. Е. Заявка № 2016116553 от 27.04.2016.
85. Головин, В. И. Путьевые устройства САУТ-У / В. И. Головин, Б. С. Сергеев, А. Н. Кондратьев // Автоматика, телемеханика и связь. – № 2, 1992, С. 2–5.

86. 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. – ISSN 0005-2329.
87. Головин, В. И. Комплекс БЛОК: прорывные технологии в системах обеспечения безопасности движения / В. И. Головин, Е. Е. Шухина, В. В. Висков, А. С. Архипов // Локомотив, 2011, № 6, С. 28-31. – ISSN 0869-8147.
88. Головин, В. И. Совершенствование локомотивных устройств безопасности / В. И. Головин // Деловая слава России, 2013, № 3 (41). С. 32–33. – ISSN 2226-8472.
89. Коваленко, В. Н. Проблема безопасности движения поездов и пути ее решения / В. Н. Коваленко, В. С. Наговицын, С. Ю. Гришаев // Инновационный транспорт. – № 3 (21), 2016. С. 53–59. – ISSN 2311-164X.
90. Коваленко, В. Н. Основные параметры и характеристики безопасного локомотивного объединенного комплекса БЛОК / В. Н. Коваленко, Д. Ю. Зайцев // Инновационный транспорт. – № 1, 2014. С. 13–17. – ISSN 2311-164X.
91. Гришаев, С. Современные приборы безопасности на специальном самоходном подвижном составе / С. Гришаев, А. Лобачев, А. Ципп // РСП Эксперт. – № 12, 2016. С. 21–25.
92. Патент на изобретение RU 2475396 С1. Безопасный локомотивный объединенный комплекс. Висков В. В., Гурьянов А. В., Гринфельд И. Н., Кисельгоф Г. К., Коровин А. С., Красовицкий Д. М., Масалов Г. Д., Сафронов А. Ю., Шухина Е. Е., Гришаев С. Ю., Гриньков Е. А. Заявка № 2011130204/11 от 20.07.2011.
93. Схемы переездной сигнализации для переездов, расположенных на перегонах при любых средствах сигнализации АПС-04: Типовые материалы для проектирования 410407-ТМП / Разраб. Государственным проектно-изыскательским институтом «Гипротрансигналсвязь». Альбомы 1–4. – СПб.: ГТСС, 2004-2006.
94. Автоблокировка с тональными рельсовыми цепями и централизованным размещением оборудования: Типовые материалы для проектирования 410306-ТМП / Разраб. Государственным проектно-изыскательским институтом «Гипротрансигналсвязь». Альбомы 3–4. – СПб.: ГТСС, 2004.

95. Гавзов, Д. В. Релейно-процессорная централизация ЭЦ-МПК / Д. В. Гавзов, А. Б. Никитин // Автоматика, связь, информатика. – 2002. – № 4. – С. 12–14. – ISSN 0005-2329.
96. Никитин, А. Б. Комплекс технических средств управления и контроля КТС-УК / А. Б. Никитин, С. В. Ракчеев, М. В. Сидоров, М. Г. Максимов // Автоматика, связь, информатика. – 2007. – № 2. – С. 7–12. – ISSN 0005-2329.
97. Ефанов, Д.В. Сервис прогнозирования временных параметров работы железнодорожного переезда / Д. В. Ефанов, Д. Г. Плотников, Г. В. Осадчий // Транспорт Российской Федерации. – 2018. – № 4(77). – С. 31–36.
98. Пат. 2667035 Российская Федерация, МПК7 В 61 L 29/00 (2006.01). Система удаленного контроля и информирования машиниста о занятости железнодорожного переезда / Власов В. В., Соболев Д. В.; заявитель и патентообладатель ООО «АВП Технологии». – № 2017117173; заявл. 17.05.2017; опубл. 13.09.2018, Бюл. № 26–12 с.
99. Пат. 2313465 Российская Федерация, МПК7 В 61 L 29/00 (2006.01). Система дистанционного контроля железнодорожного пути / Финк Ю. М., Коваленко В. Н., Морозов Л. А. [и др.]; заявитель и патентообладатель Финк Ю. М. – № 2005131290/11; заявл. 11.10.2005; опубл. 27.12.2007, Бюл. № 36. – 7 с.
100. 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.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ЛОКОМОТИВНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ

Таблица А1 – результаты измерений скоростей поездов перед переездом по данным бортовых локомотивных комплексов

№ п/п	Серия	Скорость	Дата и время бортовое	Переезд	Вес брутто	Вес нетто	Количество вагонов	Условная длина поезда
1	2ЭС6	36	19.05.2020 13:36:25	Переезд 2	1399	0	61	61
2	2ЭС6	39	19.05.2020 13:53:22	Переезд 4	0	0	0	0
3	2ЭС6	66	19.05.2020 14:10:15	Переезд 1	1825	0	75	75
4	2ЭС6	41	19.05.2020 14:47:55	Переезд 4	1825	0	75	75
5	2ЭС6	56	19.05.2020 15:04:41	Переезд 4	8955	6662	96	96
6	2ЭС6	55	19.05.2020 15:27:15	Переезд 1	1759	60	70	71
7	2ЭС6	54	19.05.2020 15:20:08	Переезд 3	5058	3427	69	71
8	2ЭС6	8	19.05.2020 15:58:57	Переезд 1	8955	6662	96	96
9	2ЭС6	8	19.05.2020 15:59:24	Переезд 1	8955	6662	96	96
10	2ЭС6	56	19.05.2020 16:02:42	Переезд 4	7903	5865	85	85
11	2ЭС6	64	19.05.2020 16:23:30	Переезд 4	6498	4830	70	70
12	2ЭС6	17	19.05.2020 16:15:28	Переезд 1	6313	4514	70	61
13	2ЭС6	57	19.05.2020 16:14:30	Переезд 3	8955	6662	96	96
14	2ЭС6	56	19.05.2020 16:14:33	Переезд 3	8955	6662	96	96
15	2ЭС6	15	19.05.2020 16:56:21	Переезд 1	7903	5865	85	85
16	2ЭС6	61	19.05.2020 17:05:23	Переезд 4	6148	4353	68	59
17	2ЭС6	56	19.05.2020 17:10:00	Переезд 3	7903	5865	85	85
18	2ЭС6	16	19.05.2020 17:24:29	Переезд 1	6498	4830	70	70
19	2ЭС6	58	19.05.2020 17:37:19	Переезд 3	6498	4830	70	70
20	2ЭС6	58	19.05.2020 17:37:23	Переезд 3	6498	4830	70	70
21	2ЭС6	62	19.05.2020 17:48:23	Переезд 4	4671	2917	70	71
22	2ЭС6	59	19.05.2020 19:05:38	Переезд 4	3892	2249	68	70
23	2ЭС6	57	19.05.2020 17:51:56	Переезд 3	2081	330	71	71
24	2ЭС6	58	19.05.2020 18:03:16	Переезд 1	2081	330	71	71
25	2ЭС6	54	19.05.2020 18:07:56	Переезд 3	6148	4353	68	59
26	2ЭС6	60	19.05.2020 18:31:02	Переезд 1	2617	0	104	100
27	2ЭС6	23	19.05.2020 20:07:09	Переезд 4	2081	330	71	71
28	2ЭС6	34	19.05.2020 18:31:18	Переезд 1	4671	2917	70	71
29	2ЭС6	53	19.05.2020 18:43:20	Переезд 1	4817	3271	62	71
30	2ЭС6	57	19.05.2020 18:51:34	Переезд 1	2509	366	79	71
31	2ЭС6	57	19.05.2020 18:42:42	Переезд 3	4671	2917	70	71
32	2ЭС6	49	19.05.2020 19:01:27	Переезд 1	1839	340	62	71
33	2ЭС6	36	19.05.2020 18:36:10	Переезд 2	1482	0	65	65
34	2ЭС6	62	19.05.2020 19:08:36	Переезд 4	2617	0	104	100
35	2ЭС6	33	19.05.2020 19:12:30	Переезд 1	4795	3257	59	71

## Продолжение таблицы А1

№ п/п	Серия	Скорость	Дата и время бортовое	Переезд	Вес брутто	Вес нетто	Количество вагонов	Условная длина поезда
36	2ЭС6	31	19.05.2020 20:17:10	Переезд 4	1839	340	62	71
37	2ЭС6	65	19.05.2020 19:33:18	Переезд 1	2831	837	75	71
38	2ЭС6	59	19.05.2020 19:24:15	Переезд 3	4795	3257	59	71
39	2ЭС6	20	19.05.2020 19:34:10	Переезд 4	4817	3271	62	71
40	2ЭС6	26	19.05.2020 19:35:51	Переезд 1	6208	4573	69	73
41	2ЭС6	27	19.05.2020 20:38:52	Переезд 2	4047	2110	58	71
42	2ЭС6	50	19.05.2020 19:47:13	Переезд 1	3892	2249	68	70
43	2ЭС6	56	19.05.2020 19:48:59	Переезд 3	6208	4573	69	73
44	2ЭС6	56	19.05.2020 19:58:46	Переезд 3	0	0	0	0
45	2ЭС6	44	19.05.2020 20:33:41	Переезд 4	2831	837	75	71
46	2ЭС6	37	19.05.2020 20:13:35	Переезд 1	0	0	0	0
47	2ЭС6	57	19.05.2020 20:22:10	Переезд 4	7976	6035	82	83
48	2ЭС6	56	19.05.2020 20:35:23	Переезд 4	6348	4731	68	68
49	2ЭС6	52	19.05.2020 20:38:44	Переезд 3	2904	1410	62	71
50	2ЭС6	34	19.05.2020 20:10:14	Переезд 2	1440	0	61	61
51	2ЭС6	48	19.05.2020 20:50:32	Переезд 1	2904	1410	62	71
52	2ЭС6	57	19.05.2020 20:45:55	Переезд 3	4897	3280	66	71
53	2ЭС6	57	19.05.2020 21:00:18	Переезд 1	5189	3880	55	56
54	2ЭС6	56	19.05.2020 21:00:52	Переезд 4	0	0	0	0
55	2ЭС6	57	19.05.2020 21:04:02	Переезд 1	7976	6035	82	83
56	2ЭС6	56	19.05.2020 21:19:32	Переезд 1	6348	4731	68	68
57	2ЭС6	59	19.05.2020 21:38:24	Переезд 4	7959	5973	83	83
58	2ЭС6	62	19.05.2020 22:05:24	Переезд 4	7999	6030	83	83
59	2ЭС6	62	19.05.2020 21:59:22	Переезд 4	2571	904	69	71
60	2ЭС6	56	19.05.2020 22:01:46	Переезд 1	4017	2442	68	71
61	2ЭС6	54	19.05.2020 22:12:14	Переезд 3	4017	2442	68	71
62	2ЭС6	52	19.05.2020 22:20:11	Переезд 1	7959	5973	83	83
63	2ЭС6	58	19.05.2020 22:29:59	Переезд 3	7959	5973	83	83
64	2ЭС6	48	19.05.2020 22:47:30	Переезд 1	7999	6030	83	83
65	2ЭС6	64	19.05.2020 22:58:16	Переезд 1	1810	131	70	71
66	2ЭС6	56	19.05.2020 22:57:42	Переезд 3	7999	6030	83	83
67	2ЭС6	57	19.05.2020 23:33:30	Переезд 4	7970	5975	84	85
68	2ЭС6	60	19.05.2020 23:34:57	Переезд 4	1810	131	70	71
69	2ЭС6	65	19.05.2020 23:53:42	Переезд 1	5473	3833	64	71
70	2ЭС6	61	20.05.2020 00:28:40	Переезд 4	5982	4264	67	58

## Продолжение таблицы А1

№ п/п	Серия	Скорость	Дата и время бортовое	Переезд	Вес брутто	Вес нетто	Количество вагонов	Условная длина поезда
71	2ЭС6	54	20.05.2020 00:19:19	Переезд 1	5781	3959	77	71
72	2ЭС6	46	20.05.2020 00:15:01	Переезд 1	7970	5975	84	85
73	2ЭС6	56	20.05.2020 00:25:00	Переезд 3	7970	5975	84	85
74	2ЭС6	56	20.05.2020 00:41:25	Переезд 3	3207	1638	67	71
75	2ЭС6	58	20.05.2020 00:52:55	Переезд 1	3207	1638	67	71
76	2ЭС6	22	20.05.2020 02:03:56	Переезд 2	3102	651	79	71
77	2ЭС6	57	20.05.2020 00:59:27	Переезд 3	5273	3721	58	70
78	2ЭС6	67	20.05.2020 01:12:23	Переезд 1	1653	0	70	70
79	2ЭС6	56	20.05.2020 01:11:41	Переезд 1	5982	4264	67	58
80	2ЭС6	57	20.05.2020 01:18:28	Переезд 4	0	0	0	0
81	2ЭС6	53	20.05.2020 01:21:43	Переезд 3	5982	4264	67	58
82	2ЭС6	59	20.05.2020 01:29:43	Переезд 4	3207	1638	67	71
83	2ЭС6	57	20.05.2020 01:48:11	Переезд 4	1653	0	70	70
84	2ЭС6	59	20.05.2020 02:06:02	Переезд 4	8828	6686	94	94
85	2ЭС6	57	20.05.2020 02:25:41	Переезд 3	2914	946	72	71
86	2ЭС6	62	20.05.2020 02:36:48	Переезд 1	2914	946	72	71
87	2ЭС6	51	20.05.2020 02:47:10	Переезд 1	8828	6686	94	94
88	2ЭС6	59	20.05.2020 02:57:18	Переезд 3	8828	6686	94	94
89	2ЭС6	55	20.05.2020 03:09:13	Переезд 4	6006	4437	65	71
90	2ЭС6	61	20.05.2020 03:12:02	Переезд 4	2914	946	72	71
91	2ЭС6	57	20.05.2020 03:53:17	Переезд 1	6006	4437	65	71
92	2ЭС6	58	20.05.2020 04:06:27	Переезд 1	6266	4443	70	61
93	2ЭС6	57	20.05.2020 04:14:24	Переезд 3	2384	0	100	100
94	2ЭС6	73	20.05.2020 04:26:03	Переезд 1	2384	0	100	100
95	2ЭС6	57	20.05.2020 04:54:29	Переезд 3	1843	227	67	71
96	2ЭС6	63	20.05.2020 05:05:51	Переезд 1	1843	227	67	71
97	2ЭС6	18	20.05.2020 05:05:07	Переезд 4	2384	0	100	100
98	2ЭС6	57	20.05.2020 05:27:25	Переезд 3	4093	1923	88	96
99	2ЭС6	54	20.05.2020 05:39:07	Переезд 1	4093	1923	88	96
100	2ЭС6	56	20.05.2020 05:30:48	Переезд 1	4501	3031	59	60
101	2ЭС6	57	20.05.2020 05:40:55	Переезд 3	2011	0	85	85
102	2ЭС6	63	20.05.2020 05:43:32	Переезд 1	5746	4227	66	71
103	2ЭС6	55	20.05.2020 05:41:19	Переезд 3	4501	3031	59	60
104	2ЭС6	57	20.05.2020 05:52:55	Переезд 1	2011	0	85	85
105	2ЭС6	55	20.05.2020 05:53:23	Переезд 3	5746	4227	66	71

## Продолжение таблицы А1

№ п/п	Серия	Скорость	Дата и время бортовое	Переезд	Вес брутто	Вес нетто	Количество вагонов	Условная длина поезда
106	2ЭС6	45	20.05.2020 06:05:06	Переезд 4	1843	227	67	71
107	2ЭС6	57	20.05.2020 06:13:10	Переезд 3	5230	3900	56	56
108	2ЭС6	59	20.05.2020 06:24:32	Переезд 1	5230	3900	56	56
109	2ЭС6	55	20.05.2020 06:20:08	Переезд 3	6313	4702	67	67
110	2ЭС6	37	20.05.2020 06:20:56	Переезд 4	4093	1923	88	96
111	2ЭС6	61	20.05.2020 06:45:53	Переезд 4	6490	4850	69	69
112	2ЭС6	35	20.05.2020 06:21:11	Переезд 2	6076	4569	65	65
113	2ЭС6	14	20.05.2020 08:26:10	Переезд 2	6080	4661	61	61
114	2ЭС6	49	20.05.2020 07:15:11	Переезд 1	2167	294	80	80
115	2ЭС6	54	20.05.2020 07:08:04	Переезд 4	5230	3900	56	56
116	2ЭС6	57	20.05.2020 07:27:53	Переезд 1	6490	4850	69	69
117	2ЭС6	55	20.05.2020 07:39:30	Переезд 1	5486	3941	69	71
118	2ЭС6	56	20.05.2020 07:38:11	Переезд 3	6490	4850	69	69
119	2ЭС6	53	20.05.2020 07:38:51	Переезд 1	7990	5997	84	85
120	2ЭС6	29	20.05.2020 07:34:17	Переезд 2	1736	0	72	71
121	2ЭС6	55	20.05.2020 07:48:29	Переезд 3	7990	5997	84	85
122	2ЭС6	39	20.05.2020 08:44:12	Переезд 4	5486	3941	69	71
123	2ЭС6	57	20.05.2020 08:17:12	Переезд 1	1936	184	72	75
124	2ЭС6	57	20.05.2020 08:47:46	Переезд 4	770	0	31	57
125	2ЭС6	58	20.05.2020 09:07:50	Переезд 4	1705	0	71	71
126	2ЭС6	43	20.05.2020 09:04:21	Переезд 4	1936	184	72	75
127	2ЭС6	55	20.05.2020 09:30:07	Переезд 4	7915	5943	83	84
128	2ЭС6	50	20.05.2020 10:05:06	Переезд 4	6272	4660	67	67
129	2ЭС6	56	20.05.2020 09:43:21	Переезд 3	770	0	31	57
130	2ЭС6	51	20.05.2020 09:49:54	Переезд 1	1705	0	71	71
131	2ЭС6	54	20.05.2020 10:00:57	Переезд 3	1705	0	71	71
132	2ЭС6	52	20.05.2020 10:13:03	Переезд 1	7915	5943	83	84
133	2ЭС6	57	20.05.2020 10:23:59	Переезд 3	5616	3971	70	72
134	2ЭС6	56	20.05.2020 10:23:02	Переезд 3	7915	5943	83	84
135	2ЭС6	44	20.05.2020 10:36:00	Переезд 1	5616	3971	70	72
136	2ЭС6	23	20.05.2020 12:18:01	Переезд 2	5492	3698	65	71
137	2ЭС6	44	20.05.2020 11:01:16	Переезд 3	6272	4660	67	67
138	2ЭС6	11	20.05.2020 13:06:56	Переезд 2	4347	2095	77	71
139	2ЭС6	61	20.05.2020 12:23:41	Переезд 4	4999	3285	71	71
140	3ЭС10	58	20.05.2020 12:40:39	Переезд 4	8987	6730	95	95

## Продолжение таблицы А1

№ п/п	Серия	Скорость	Дата и время бортовое	Переезд	Вес брутто	Вес нетто	Количество вагонов	Условная длина поезда
141	2ЭС6	55	20.05.2020 12:57:24	Переезд 4	5855	4240	69	71
142	2ЭС6	50	20.05.2020 12:42:18	Переезд 4	3419	0	142	142
143	2ЭС6	52	20.05.2020 12:41:08	Переезд 4	3419	0	142	142
144	2ЭС6	57	20.05.2020 13:08:21	Переезд 3	4025	2501	65	71
145	2ЭС6	57	20.05.2020 13:07:55	Переезд 1	4999	3285	71	71
146	2ЭС6	62	20.05.2020 13:19:52	Переезд 1	4025	2501	65	71
147	2ЭС6	22	20.05.2020 14:36:30	Переезд 2	2148	0	82	71
148	2ЭС6	56	20.05.2020 13:42:55	Переезд 1	5855	4240	69	71
149	2ЭС6	55	20.05.2020 13:52:16	Переезд 3	5855	4240	69	71
150	2ЭС6	60	20.05.2020 13:56:28	Переезд 4	4025	2501	65	71
151	2ЭС6	9	20.05.2020 15:32:14	Переезд 2	4479	2340	74	71
152	2ЭС6	31	20.05.2020 14:14:18	Переезд 2	0	0	0	0
153	2ЭС6	57	20.05.2020 14:32:51	Переезд 1	2129	231	79	81
154	2ЭС6	57	20.05.2020 15:12:27	Переезд 3	2021	0	85	85
155	2ЭС6	56	20.05.2020 15:13:08	Переезд 4	2129	231	79	81
156	2ЭС6	62	20.05.2020 15:23:41	Переезд 4	7826	5840	83	83
157	2ЭС6	24	20.05.2020 16:30:50	Переезд 2	2143	0	82	71
158	2ЭС6	58	20.05.2020 16:05:27	Переезд 3	2560	875	68	71
159	2ЭС6	56	20.05.2020 16:04:20	Переезд 1	7826	5840	83	83
160	2ЭС6	40	20.05.2020 16:18:49	Переезд 1	2560	875	68	71
161	2ЭС6	53	20.05.2020 16:15:09	Переезд 3	7826	5840	83	83
162	2ЭС6	21	20.05.2020 17:51:18	Переезд 2	1581	818	31	57
163	2ЭС6	50	20.05.2020 17:01:24	Переезд 4	4413	2690	67	71
164	2ЭС6	64	20.05.2020 17:15:38	Переезд 4	6251	4649	67	67
165	2ЭС6	58	20.05.2020 17:20:20	Переезд 1	3281	1150	71	71
166	2ЭС6	57	20.05.2020 17:30:39	Переезд 3	3281	1150	71	71
167	2ЭС6	56	20.05.2020 17:34:29	Переезд 1	5197	3528	70	71
168	2ЭС6	59	20.05.2020 17:44:49	Переезд 4	7984	5969	85	85
169	2ЭС6	56	20.05.2020 17:44:03	Переезд 3	5197	3528	70	71
170	2ЭС6	59	20.05.2020 18:21:13	Переезд 4	6330	4720	68	68
171	2ЭС6	56	20.05.2020 18:53:31	Переезд 4	5047	3414	64	69
172	2ЭС6	51	20.05.2020 18:26:31	Переезд 1	7984	5969	85	85
173	2ЭС6	55	20.05.2020 18:43:29	Переезд 3	5185	3873	55	55
174	2ЭС6	57	20.05.2020 18:36:23	Переезд 3	7984	5969	85	85
175	2ЭС6	60	20.05.2020 19:04:23	Переезд 4	5251	3695	65	71

## Продолжение таблицы А1

№ п/п	Серия	Скорость	Дата и время бортовое	Переезд	Вес брутто	Вес нетто	Количество вагонов	Условная длина поезда
176	2ЭС6	57	20.05.2020 19:15:38	Переезд 4	6014	4537	65	69
177	2ЭС6	51	20.05.2020 19:27:02	Переезд 2	3060	1256	69	71
178	2ЭС6	43	20.05.2020 19:12:52	Переезд 1	6330	4720	68	68
179	2ЭС6	58	20.05.2020 19:24:39	Переезд 3	1707	0	71	71
180	2ЭС6	60	20.05.2020 19:31:33	Переезд 4	7944	5976	86	86
181	2ЭС6	40	20.05.2020 19:25:15	Переезд 3	6330	4720	68	68
182	2ЭС6	59	20.05.2020 19:36:05	Переезд 1	1707	0	71	71
183	2ЭС6	51	20.05.2020 19:33:10	Переезд 4	5185	3873	55	55
184	2ЭС6	60	20.05.2020 19:43:39	Переезд 4	1633	884	30	55
185	2ЭС6	69	20.05.2020 19:42:13	Переезд 1	0	0	0	0
186	2ЭС6	25	20.05.2020 19:41:04	Переезд 1	5047	3414	64	69
187	2ЭС6	34	20.05.2020 20:44:41	Переезд 2	4462	2622	71	71
188	2ЭС6	33	20.05.2020 19:49:32	Переезд 1	5251	3695	65	71
189	2ЭС6	47	20.05.2020 19:58:22	Переезд 1	6014	4537	65	69
190	2ЭС6	57	20.05.2020 20:11:14	Переезд 4	1707	0	71	71
191	2ЭС6	58	20.05.2020 20:25:29	Переезд 1	1633	884	30	55
192	2ЭС6	57	20.05.2020 21:11:53	Переезд 3	4696	2740	80	85
193	2ЭС6	69	20.05.2020 21:23:14	Переезд 1	4696	2740	80	85
194	2ЭС6	54	20.05.2020 21:33:47	Переезд 4	1023	248	31	57
195	2ЭС6	70	20.05.2020 21:36:51	Переезд 1	2360	457	78	80
196	2ЭС6	29	20.05.2020 22:43:11	Переезд 2	0	0	0	0
197	2ЭС6	53	20.05.2020 21:59:35	Переезд 1	6023	4356	69	70
198	2ЭС6	42	20.05.2020 22:14:14	Переезд 4	2360	457	78	80
199	2ЭС6	68	20.05.2020 21:56:50	Переезд 4	4696	2740	80	85
200	2ЭС6	62	20.05.2020 22:13:11	Переезд 1	5192	3877	55	56
201	2ЭС6	56	20.05.2020 22:24:52	Переезд 4	7911	5938	83	83
202	2ЭС6	39	20.05.2020 22:21:37	Переезд 3	7968	6008	83	83
203	2ЭС6	36	20.05.2020 22:25:07	Переезд 1	1023	248	31	57
204	2ЭС6	28	20.05.2020 22:26:01	Переезд 2	1826	311	66	66
205	2ЭС6	27	20.05.2020 22:26:07	Переезд 2	1826	311	66	66
206	2ЭС6	35	20.05.2020 22:33:46	Переезд 3	5493	3973	68	69
207	2ЭС6	60	20.05.2020 22:35:42	Переезд 4	6023	4356	69	70
208	2ЭС6	34	20.05.2020 22:44:28	Переезд 3	1023	248	31	57
209	2ЭС6	44	20.05.2020 22:49:02	Переезд 4	5192	3877	55	56
210	2ЭС6	11	21.05.2020 00:08:07	Переезд 2	6179	4767	62	62

## Продолжение таблицы А1

№ п/п	Серия	Скорость	Дата и время бортовое	Переезд	Вес брутто	Вес нетто	Количество вагонов	Условная длина поезда
211	2ЭС6	49	20.05.2020 23:08:02	Переезд 1	7911	5938	83	83
212	2ЭС6	59	20.05.2020 23:17:58	Переезд 1	2649	824	75	74
213	2ЭС6	55	20.05.2020 23:18:18	Переезд 3	7911	5938	83	83
214	2ЭС6	62	20.05.2020 23:34:45	Переезд 1	4080	2563	63	71
215	2ЭС6	51	20.05.2020 23:32:39	Переезд 1	5464	4036	60	61
216	2ЭС6	63	20.05.2020 23:46:12	Переезд 1	5164	3856	55	55
217	2ЭС6	57	20.05.2020 23:45:27	Переезд 4	7936	5924	84	84
218	2ЭС6	55	20.05.2020 23:53:16	Переезд 4	2649	824	75	74
219	2ЭС6	56	21.05.2020 00:10:57	Переезд 4	4080	2563	63	71
220	2ЭС6	62	21.05.2020 00:21:33	Переезд 4	5164	3856	55	55
221	2ЭС6	75	21.05.2020 00:35:34	Переезд 1	2413	0	100	100
222	2ЭС6	49	21.05.2020 00:29:39	Переезд 1	7936	5924	84	84
223	2ЭС6	64	21.05.2020 00:54:02	Переезд 1	2506	710	74	76
224	2ЭС6	59	21.05.2020 01:02:47	Переезд 4	5325	3759	69	71
225	2ЭС6	57	21.05.2020 01:10:32	Переезд 3	2859	1250	67	71
226	2ЭС6	71	21.05.2020 01:07:09	Переезд 4	2413	0	100	100
227	2ЭС6	57	21.05.2020 01:25:57	Переезд 4	8977	6719	93	93
228	2ЭС6	63	21.05.2020 01:21:49	Переезд 1	2859	1250	67	71
229	2ЭС6	71	21.05.2020 01:31:42	Переезд 1	1689	0	71	72
230	2ЭС6	25	21.05.2020 02:22:57	Переезд 2	6079	4659	61	61
231	2ЭС6	55	21.05.2020 01:31:49	Переезд 4	2506	710	74	76
232	2ЭС6	52	21.05.2020 01:49:13	Переезд 4	7932	5931	85	85
233	2ЭС6	52	21.05.2020 01:44:07	Переезд 1	5325	3759	69	71
234	2ЭС6	53	21.05.2020 01:54:17	Переезд 3	5325	3759	69	71
235	2ЭС6	55	21.05.2020 02:12:36	Переезд 4	7197	4998	82	71
236	2ЭС6	46	21.05.2020 02:09:35	Переезд 4	1689	0	71	72
237	2ЭС6	56	21.05.2020 02:34:46	Переезд 4	6327	4708	68	68
238	2ЭС6	52	21.05.2020 02:35:59	Переезд 1	7932	5931	85	85
239	2ЭС6	49	21.05.2020 02:38:02	Переезд 3	8977	6719	93	93
240	2ЭС6	22	21.05.2020 02:59:53	Переезд 3	6215	4406	71	62
241	2ЭС6	46	21.05.2020 02:45:19	Переезд 1	6215	4406	71	62
242	2ЭС6	17	21.05.2020 02:47:47	Переезд 3	7932	5931	85	85
243	2ЭС6	55	21.05.2020 02:55:22	Переезд 1	7197	4998	82	71
244	2ЭС6	56	21.05.2020 03:10:28	Переезд 1	5170	3868	56	56
245	2ЭС6	27	21.05.2020 03:11:54	Переезд 3	7197	4998	82	71

## Продолжение таблицы А1

№ п/п	Серия	Скорость	Дата и время бортовое	Переезд	Вес брутто	Вес нетто	Количество вагонов	Условная длина поезда
246	2ЭС6	51	21.05.2020 03:20:20	Переезд 1	6327	4708	68	68
247	2ЭС6	61	21.05.2020 03:39:29	Переезд 3	5230	3896	56	57
248	2ЭС6	58	21.05.2020 03:51:31	Переезд 1	5230	3896	56	57
249	2ЭС6	69	21.05.2020 03:44:42	Переезд 4	5170	3868	56	56
250	2ЭС6	56	21.05.2020 03:54:30	Переезд 1	6167	4328	68	59
251	2ЭС6	57	21.05.2020 04:10:38	Переезд 3	3984	2478	58	71
252	2ЭС6	55	21.05.2020 04:04:17	Переезд 3	6167	4328	68	59
253	2ЭС6	22	21.05.2020 09:33:59	Переезд 4	2813	1980	35	36
254	2ЭС6	57	21.05.2020 04:22:36	Переезд 1	3984	2478	58	71
255	2ЭС6	55	21.05.2020 04:15:35	Переезд 3	4735	3253	60	71
256	2ЭС6	58	21.05.2020 04:31:13	Переезд 3	2393	0	100	100
257	2ЭС6	58	21.05.2020 04:26:21	Переезд 4	5230	3896	56	57
258	2ЭС6	70	21.05.2020 04:42:28	Переезд 1	2393	0	100	100
259	2ЭС6	61	21.05.2020 04:54:19	Переезд 1	2329	0	97	97
260	2ЭС6	39	21.05.2020 04:59:56	Переезд 4	3086	1576	66	71
261	2ЭС6	67	21.05.2020 04:59:34	Переезд 4	3984	2478	58	71
262	2ЭС6	65	21.05.2020 05:21:33	Переезд 1	1657	0	70	71
263	2ЭС6	54	21.05.2020 05:30:35	Переезд 1	7944	5963	83	83
264	2ЭС6	41	21.05.2020 06:36:14	Переезд 4	1657	0	70	71
265	2ЭС6	57	21.05.2020 05:41:15	Переезд 1	3086	1576	66	71
266	2ЭС6	56	21.05.2020 06:13:08	Переезд 3	5852	4174	70	71
267	ВЛ10К	25	21.05.2020 06:19:17	Переезд 2	4791	2822	76	71
268	2ЭС6	48	21.05.2020 06:30:17	Переезд 1	1320	495	33	61
269	2ЭС6	26	21.05.2020 09:18:55	Переезд 4	5852	4174	70	71
270	2ЭС6	25	21.05.2020 07:01:15	Переезд 2	5242	3563	59	71
271	2ЭС6	58	21.05.2020 08:10:43	Переезд 3	1868	0	76	71
272	2ЭС6	33	21.05.2020 08:43:20	Переезд 1	1868	0	76	71
273	2ЭС6	40	21.05.2020 08:51:12	Переезд 1	2041	0	85	85
274	2ЭС6	24	21.05.2020 08:27:34	Переезд 3	2041	0	85	85
275	2ЭС6	22	21.05.2020 09:22:46	Переезд 4	6239	4627	67	67
276	2ЭС6	23	21.05.2020 10:23:50	Переезд 4	2041	0	85	85
277	2ЭС6	31	21.05.2020 09:19:14	Переезд 2	4023	2988	43	43
278	2ЭС6	57	21.05.2020 10:07:34	Переезд 3	2354	262	80	71
279	2ЭС6	64	21.05.2020 10:19:14	Переезд 1	2354	262	80	71
280	2ЭС6	41	21.05.2020 10:11:10	Переезд 1	6239	4627	67	67

Таблица А2 – результаты измерений действительного тормозного коэффициента поездов перед переездом по данным бортовых локомотивных комплексов

№ п/п	Значение тормозного коэффициента						
1	3,3	36	3,3	71	3	106	3,3
2	3,3	37	2,9	72	3,4	107	3,4
3	3,3	38	3,3	73	3	108	3,4
4	3,3	39	2,9	74	3,9	109	3,2
5	3,3	40	3,3	75	3,3	110	3,3
6	3,2	41	3	76	3,5	111	3,3
7	3	42	3,3	77	3,2	112	3,2
8	3,6	43	3,2	78	3	113	3,8
9	3,4	44	4	79	3,3	114	3,3
10	3	45	3,4	80	3,3	115	3,3
11	3,3	46	3,3	81	2,7	116	3
12	3,3	47	3,3	82	3,3	117	2,8
13	3,6	48	2,9	83	3,4	118	2,8
14	3,3	49	3,3	84	3,3	119	3,5
15	3,2	50	3,5	85	3,3	120	3,2
16	3	51	3,3	86	3,3	121	2,8
17	3,4	52	3	87	3	122	3,4
18	3,3	53	3,2	88	3	123	3,6
19	3,1	54	2,8	89	3,3	124	3,5
20	3	55	3,3	90	3,8	125	3,4
21	2,9	56	3,1	91	2,9	126	2,9
22	3,3	57	3,3	92	3,6	127	3,3
23	3,3	58	3,3	93	3,3	128	3
24	3,3	59	3,3	94	3,3	129	3,1
25	3,3	60	2,9	95	3,3	130	3,5
26	3,3	61	3,2	96	3	131	3,3
27	3,3	62	3,3	97	3,4	132	3,4
28	3,1	63	3,3	98	3,4	133	3,3
29	3,3	64	2,9	99	3	134	3,3
30	3	65	3,4	100	2,9	135	2,3
31	2,8	66	3,3	101	3,3	136	3,1
32	3,2	67	3,3	102	3,3	137	3,3
33	3	68	3,3	103	3,4	138	3
34	3,2	69	2,6	104	3,1	139	3,3
35	3,3	70	2,7	105	2,9	140	2,7

## Продолжение таблицы А2

№ п/п	Значение тормозного коэффициента						
141	2,3	176	3,3	211	3,7	246	3,8
142	3	177	3,6	212	3,4	247	3,3
143	3,4	178	3,6	213	3	248	3,3
144	3,1	179	3,2	214	3,4	249	4,2
145	3,3	180	3,3	215	3,5	250	3,3
146	3,3	181	3,9	216	4,1	251	3
147	3,1	182	3,2	217	3,3	252	3,9
148	3,3	183	3,1	218	3,3	253	3,3
149	3,4	184	3,3	219	3,6	254	3,4
150	2,2	185	3	220	3,3	255	3,3
151	3,1	186	3,3	221	3,3	256	3,3
152	3	187	3,3	222	4	257	3,3
153	3,1	188	3,5	223	3,3	258	3,3
154	3,2	189	3,1	224	2,8	259	3,3
155	3,5	190	3,3	225	3,3	260	3,1
156	3,3	191	3,2	226	3,4	261	2,9
157	3,1	192	3,4	227	3,2	262	3,3
158	3,3	193	3,3	228	3,4	263	3,3
159	3,3	194	3,8	229	3,3	264	3,3
160	2	195	3,3	230	2,7	265	2
161	3,3	196	3,8	231	3,5	266	3,3
162	3,3	197	3,6	232	3,2	267	3,4
163	4,1	198	3,3	233	3,2	268	3,3
164	3,3	199	3,4	234	3,3	269	3,2
165	3,4	200	3,3	235	3,3	270	3,3
166	3,8	201	3,1	236	2,3	271	3,2
167	3	202	3,1	237	3,4	272	3,3
168	3,3	203	3,4	238	3,3	273	3,3
169	3,3	204	3,1	239	3,4	274	3,5
170	3,3	205	3,4	240	3,3	275	3,3
171	2,8	206	3,3	241	3,2	276	2,8
172	3,4	207	3,3	242	3,4	277	3,2
173	3,3	208	4,2	243	3,1	278	3,2
174	3,6	209	3,3	244	3,3	279	3,2
175	3,3	210	3,6	245	3,3	280	3

ИСХОДНЫЙ КОД ПРОГРАММЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДНЕЙ СКОРОСТИ  
ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ ПО ПЕРЕЕЗДУ

```

multiRoute=[1,2,3,4];
myMap=[1,2,3,4];
Text_area="";

ymaps.ready(init);
window.setInterval(updateProvider, 60 * 1000); //обновление раз в 1 минуты
//alert("My message");

//-----
//Функция инициализации
//-----
function init()
{
    pereezd_map(0,[56.592131,61.307522], 'map');
    pereezd_map(1,[56.444301,61.855422], 'map1');
    pereezd_map(2,[56.776835,62.017754], 'map2');
    pereezd_map(3,[56.807107,60.594313], 'map3');
    Text_area = document.getElementById('n_Textarea').innerHTML;
    updateProvider();
};

//-----
//Функция обновления данных маршрута
//-----
function updateProvider () {
    Text_area=Text_area+ document.getElementById('variable').innerHTML+document.getElementById('variable1').innerHTML+document.getElementById('variable2').innerHTML+document.getElementById('variable3').innerHTML;
    document.getElementById('n_Textarea').innerHTML=Text_area;
    var Date1 = new Date();
    Text_area =Text_area +"\n"+ Date1.toLocaleString()+"";
    data_marshr(0,'variable',[56.592131,61.307522],[56.603491,61.302866]);
    data_marshr(1,'variable1',[56.444301,61.855422],[56.447360,61.857638]);
    data_marshr(2,'variable2',[56.776835,62.017754],[56.776175,62.030242]);
    data_marshr(3,'variable3',[56.807107,60.594313],[56.805413,60.590034]);
};

//-----

//-----
// Обновление данных по маршруту
//-----
function data_marshr (N,Text_h2,coord1=[1,2],coord2=[1,2])
{
    myMap[N].geoObjects.remove(multiRoute[N]);
    // Создание экземпляра маршрута.
    multiRoute[N] = new ymaps.multiRouter.MultiRoute(
        {
            // Точки маршрута.
            referencePoints: [coord1,coord2],
            params: { avoidTrafficJams: true}
        }
    );
};

```

```

    },
    {
// Автоматически устанавливать границы карты так, чтобы маршрут был виден
целиком.
        boundsAutoApply: true
    });

// Добавление маршрута на карту
myMap[N].geoObjects.add(multiRoute[N]);

multiRoute[N].model.events.add('requestsuccess', function()
    {
// Получение ссылки на активный маршрут.
var activeRoute = multiRoute[N].getActiveRoute();
// Вывод информации о маршруте.
document.getElementById(Text_h2).innerHTML=activeRoute.properties.get("distance").value+";"+active
Route.properties.get("durationInTraffic").value + ";" ;
    });

// Добавление маршрута на карту
myMap[N].geoObjects.add(multiRoute[N]);
};
//-----

//-----
//Функция создания области карты
//-----
function pereezd_map (N,coord1=[1,2], mapN)
{
// создаем карту
myMap[N] = new ymaps.Map(mapN,
    {
center: coord1,//[coordH1,coordV1],
zoom: 16,
// Добавим панель маршрутизации.
controls: []
    });
// Создадим провайдер пробок "Сейчас" с включенным слоем инфоточек.

var actualProvider = new ymaps.traffic.provider.Actual({}, { infoLayerShown: true });

// И затем добавим его на карту.

actualProvider.setMap(myMap[N]);
};
//-----

```

ПАТЕНТЫ  
на изобретения и полезные модели

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2629582

**Локомотивное устройство управления движением поезда**

Патентообладатель: *Открытое акционерное общество "Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте" (RU)*

Авторы: *Гриффельд Игорь Наумович (RU), Гришаев Сергей Юрьевич (RU), Кисельгоф Геннадий Карпович (RU), Миронов Владимир Сергеевич (RU), Розенберг Ефим Наумович (RU), Румянцев Сергей Владимирович (RU), Шухина Елена Евгеньевна (RU)*

Заявка № 2016116553

Приоритет изобретения 27 апреля 2016 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 30 августа 2017 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 27 апреля 2036 г.



*Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

*Г.П. Валеев* Г.П. Валеев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 177916

**ТОРМОЗНОЙ БЛОК ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТЯГОВОГО  
СРЕДСТВА**

Патентообладатель: *Акционерное общество "Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта" (АО "ВНИИЖТ") (RU)*

Авторы: *Глушко Марат Иванович (RU), Назовицын Виктор Степанович (RU), Антропов Александр Николаевич (RU), Гришаев Сергей Юрьевич (RU), Ципп Андрей Леонардович (RU), Краев Евгений Викторович (RU)*

Заявка № 2017107784

Приоритет полезной модели: **09 марта 2017 г.**

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации: **15 марта 2018 г.**

Срок действия исключительного права на полезную модель истекает: **09 марта 2027 г.**



Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

*Г. П. Иванов* Г. П. Иванов

2011/011

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

**№ 2475396**

**БЕЗОПАСНЫЙ ЛОКОМОТИВНЫЙ ОБЪЕДИНЕННЫЙ КОМПЛЕКС**

Патентообладатель(ли): *Открытое акционерное общество "Российские железные дороги" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2011130204

Приоритет изобретения **20 июля 2011 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **20 февраля 2013 г.**

Срок действия патента истекает **20 июля 2031 г.**

*Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности*

*Б.П. Симонов*



Автор(ы): *Висков Владимир Владимирович (RU), Гурьянов Александр Владимирович (RU), Гринфельд Игорь Наумович (RU), Кисельгоф Геннадий Карпович (RU), Коровин Александр Сергеевич (RU), Красовицкий Дмитрий Михайлович (RU), Масалов Геннадий Дмитриевич (RU), Сафронов Алексей Юрьевич (RU), Шухина Елена Евгеньевна (RU), Гришаев Сергей Юрьевич (RU), Гриньков Евгений Александрович (RU)*

## РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 128748

БЕСКОНТАКТНОЕ УСТРОЙСТВО ЗАПИСИ И ХРАНЕНИЯ  
ОПЕРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Патентообладатель(ли): *Открытое акционерное общество  
"Научно-исследовательский и проектно-конструкторский  
институт информатизации, автоматизации и связи на  
железнодорожном транспорте" (ОАО НИИАС) (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2012157677

Приоритет полезной модели 28 декабря 2012 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных  
моделей Российской Федерации 27 мая 2013 г.

Срок действия патента истекает 28 декабря 2022 г.

*Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

*Б.П. Симонов*



*Автор(ы): Галеев Альберт Иванович (RU), Гришаев Сергей Юрьевич (RU), Гриньков Евгений Александрович (RU), Лукина Светлана Анатольевна (RU), Масалов Геннадий Дмитриевич (RU), Сулоев Арсений Владимирович (RU), Шухина Елена Евгеньевна (RU), Хаванских Александр Михайлович (RU)*

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 177291

**УСТРОЙСТВО БЛОКИРОВКИ ТОРМОЗОВ  
ЛОКОМОТИВА**

Патентообладатель: *Акционерное общество "Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта" (АО "ВНИИЖТ") (RU)*

Авторы: *Глушко Марат Иванович (RU), Наговицын Виктор Степанович (RU), Антропов Александр Николаевич (RU), Гришаев Сергей Юрьевич (RU), Ципин Андрей Леонардович (RU)*

Заявка № 2017116121

Приоритет полезной модели 05 мая 2017 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных

моделей Российской Федерации 15 февраля 2018 г.

Срок действия исключительного права

на полезную модель истекает 05 мая 2027 г.

*Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

*Г.П. Немец*

АКТЫ

о внедрении результатов диссертационной работы



Акционерное общество  
**«Научно-исследовательский и проектно-конструкторский  
 институт информатизации, автоматизации и связи  
 на железнодорожном транспорте»**

**АО «НИИАС»**

ул. Нижегородская, 27, стр. 1, Москва, Россия, 109029; тел. (499) 262-5320, факс (499) 262-7443; e-mail: info@vniias.ru  
 ОКПО 82462078; ОГРН 1077758841555; ИНН/КПП 7709752846/770901001

\_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

**СПРАВКА**

об использовании результатов диссертационного исследования  
 Гришаева Сергея Юрьевича  
 «Управление переездной сигнализацией по характеристикам  
 приближающегося поезда»

Результаты, полученные в диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, Гришаевым Сергеем Юрьевичем нашли применение при совершенствовании программно-аппаратных средств масштабируемого безопасного локомотивного объединенного комплекса (БЛОК-М), а также позволили расширить область применения комплекса.

Предложенный метод и численные оценки вероятности столкновения при вынужденной остановке автотранспорта на переезде позволяют по-новому взглянуть на технологию управления поездами и обеспечение безопасности движения: БЛОК-М позволяет организовывать движение поездов с учетом их характеристик, что дает возможность повысить эффективность использования железнодорожного транспорта.

Первый заместитель Генерального директора

Е.Н. Розенберг



**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА»  
(АО «ВНИИЖТ»)**

С.Ю. Гришаеву

3-я Мытищинская ул., 10, г. Москва, 129626  
тел.: +7 (495) 687-6555, +7 (495) 602-8307  
факс: +7 (495) 602-8484, +7 (495) 687-6456  
e-mail: info@vniizht.ru, www.vniizht.ru

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ г. № \_\_\_\_\_

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Справка об использовании диссертационной  
Работы С.Ю. Гришаева

Справка

об использовании результатов диссертационной работы  
С. Ю. Гришаева на тему «Управление переездной сигнализацией по  
характеристикам приближающегося поезда»

Диссертационная работа Гришаева С. Ю. посвящена разработке системы управления переездной сигнализацией, которая обеспечивает приведение в действие средств сигнализации и заграждения переезда по характеристикам поезда, что позволяет повысить безопасность на переездах и одновременно сократить время их перекрытия для автотранспорта.

АО «ВНИИЖТ» занимается разработкой систем автоведения специального самоходного подвижного состава (ССПС), работающих во взаимодействии с системой безопасности БЛОК. Полученные в рассматриваемой диссертационной работе результаты были учтены при создании алгоритмов движения ССПС при приближении к перегонам.

Заместитель Генерального директора –  
директор НЦТ

Р.В. Мурзин

Исп. Худорожко Максим Викторович, НЦТ  
Тел.+7 (495)602-80-44



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА»  
(АО «ВНИИЖТ»)

УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
АО «ВНИИЖТ»

Челюскинцев ул., 15, г. Екатеринбург, 620027

тел.: +7 (343) 358-4845, +7 (343) 370-5321

факс: +7 (343) 370-5325

ж.д. факс: (97022) 4-57-63

e-mail: sekretar\_uo@vniizht.ru

«11» декабря 2020 г. № НИИ.У-С/640

на № \_\_\_\_\_ от «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

#### Справка

о перспективе использования результатов диссертационной работы  
С. Ю. Гришаева на тему «Управление переездной сигнализацией  
по характеристикам приближающегося поезда»

Диссертационная работа Гришаева С. Ю. посвящена разработке системы управления переездной сигнализацией, которая обеспечивает приведение в действие средств сигнализации и заграждения переезда по характеристикам поезда, что позволяет повысить безопасность на переездах и одновременно сократить время их перекрытия для автотранспорта.

Уральское отделение АО «ВНИИЖТ» занимается, в том числе, разработкой устройств заграждения железнодорожных переездов (УЗП). Полученные в рассматриваемой диссертационной работе результаты были обсуждены и рекомендованы к применению в рамках перехода к цифровым системам регулирования движения поездов.

Директор

А.П. Лапин