

На правах рукописи



Хашев Аскер Измуудинович

**РАЗВИТИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНО-АВТОМОБИЛЬНЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ
В ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАННОГО
ИМИТАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Специальность 05.22.01 – Транспортные и транспортно-технологические
системы страны, ее регионов и городов, организация
производства на транспорте

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ростов-на-Дону

2021

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО РГУПС).

Научный руководитель – Мамаев Энвер Агапашаевич,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Логистика и управление транспортными системами» ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения»

Официальные оппоненты – Зырянов Владимир Васильевич,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Организация перевозок и дорожного движения» ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»;

Ларин Олег Николаевич,
доктор технических наук, профессор кафедры «Логистические транспортные системы и технологии» ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта»

Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения»

Защита состоится «20» декабря 2021 г. в 14.00 на заседании диссертационного совета Д 218.010.01 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО РГУПС) по адресу: 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2 (главный корпус, читальный зал).

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВО РГУПС по адресу: 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2 и на сайте <http://www.rgups.ru>.

Автореферат разослан «___» октября 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 218.010.01
доктор технических наук, профессор



В. А. Соломин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Стратегические программы развития транспортных систем в отечественной и зарубежной практике акцентируют внимание на комплексном подходе к развитию инфраструктуры видов транспорта, развитию мультимодальных перевозок, формированию безбарьерных и бесшовных технологий организации перевозок, устранению коллизий в развитии транспортной сети страны. Большинство проблем в развитии инфраструктуры возникает в узлах пересечения транспортных сетей разных видов транспорта (железнодорожно-автомобильные, железнодорожно-водные, автомобильно-водные и другие). Они влияют на организацию транспортной работы и эффективность функционирования транспортной системы на улично-дорожной сети (УДС) городов, которые связаны с высокой интенсивностью движения транспортных средств, наличием разных видов движения (грузовое, пассажирское), социальной ориентацией городской транспортной системы, ориентированной на обеспечение мобильности населения, экологической нагрузкой разных видов транспорта на городскую среду и другими факторами.

В городской транспортной системе узлом пересечения разных видов путей сообщения чаще всего является пересечение автомобильных дорог с железнодорожными линиями, которое можно определить, как железнодорожно-автомобильное пересечение транспортной сети (ЖАПТС). Большую часть ЖАПТС на территории нашей страны представляют пересечения на одном уровне. Рост численности населения в городах и активное строительство жилищных комплексов повлекли за собой расширение городских границ. Вследствие этого в городской среде растет протяженность железнодорожных путей как общего пользования, так и необщего пользования, что приводит к увеличению количества внутригородских пересечений с автомобильными дорогами, напряженности организации дорожного движения и возникновению дорожно-транспортных происшествий (ДТП).

Одноуровневое железнодорожно-автомобильное пересечение оказывает существенное влияние на пропускную способность автомобильных дорог и приводит к росту совокупных социально-экономических издержек, связанных с транспортной системой. С ростом интенсивности и скорости движения поездов из-за отсутствия разноуровневых пересечений учащаются случаи задержки автомобильного транспорта, ухудшаются условия движения транспортных потоков и увеличивается аварийность на ЖАПТС. Радикальным способом решения данной проблемы является строительство пересечений в разных уровнях, которое требует технико-экономического обоснования, учитывающего все виды затрат и ущерба от происшествий в ЖАПТС на основе моделирования транспортно-технологических процессов.

Сегодня не в полном объеме используются для этих целей возможности имитационно-аналитического моделирования. Вопросы развития инфраструктуры и обеспечения безопасности перевозок внутри агломерации актуальная тема как для муниципалитета, так и для российских железных дорог.

Населения, как потребители транспортных услуг, также несут потери в виде ожидания проезда в узлах транспортной сети (железнодорожных переездах) и загрязнения окружающей среды, которые влияют на их качество жизни. Для исследования и оценки таких потерь возникает необходимость разработки инструментально-методических подходов комплексного анализа и развития железнодорожно-автомобильных пересечений транспортной сети с использованием комбинированного имитационно-аналитического моделирования, которая определяет актуальность темы исследования.

Степень разработанности темы исследования. Исследованиям проблем организации работы и развития железнодорожно-автомобильных пересечений транспортной сети посвящен большой объем научных работ, относящихся к различным технологическим, экономическим и математическим аспектам разработки и применения методов и инструментов, которые можно укрупненно объединить в следующие направления: развитие транспортных, транспортно-технологических и логистических систем и ее элементов (В. И. Апатцев, Б. А. Левин, А. В. Гузенко, Х. Ю. Эльдарханов, Л. Б. Миротин, В. Н. Зубков, О. Н. Ларин, М. С. Фишельсон, Т. И. Дубинина и др.); обоснование роли и методов транспортного моделирования (В. В. Зырянов, Н.А. Наумова, Д. В. Рожанский, А. О. Евдокимов, А. М. Пуртов, М. М. Бекмагамбетов, С. В. Кирсанов, А. Г. Куприяшкин и др.); оценка эффективности работы транспортных систем городов (Э. А. Мамаев, О. Н. Числов, Т. И. Михеева, А.Н. Рахмангулов, С.Н. Корнилов, Н. А. Ковалева, И. Н. Пугачев, А. Э. Горев и др.); задержки автомобильного транспорта на УДС (В. В. Сильянов, В. Г. Корчагин, С. В. Жанказиев, В. Г. Кочерга, Н. А. Семченко, А. В. Игнатов, Е. И. Исаева, Р. В. Андронов, Л. Е. Кущенко, В. Г. Живоглядов и др.); вопросы безопасности и эффективности организации дорожного движения на одноуровневых железнодорожно-автомобильных пересечениях (С. В. Гатауллин, А. А. Поляков, И. Ю. Бальзамова, С. Н. Карасевич, Н. И. Карпущенко, С. А. Соболев, А. Е. Тарасов, Д. В. Ефанов, В. В. Демьянов, В. Л. Герус и др.).

В то же время, на наш взгляд, вопросы комплексной оценки состояния для развития ЖАПТС, в которых пересекаются интересы разных организаций и ведомств, не получили должного внимания. Одной из основных причин такой динамики, на наш взгляд, является ведомственная разобщенность управления ЖАПТС, развитие которых позволило бы получить синергетический эффект социально-экономического развития региона.

Целью диссертационного исследования является развитие научно-методических подходов организации транспортной работы железнодорожно-автомобильных пересечений транспортной сети с применением инструментария комбинированного имитационно-аналитического моделирования.

Для достижения цели в работе были поставлены и решены следующие **задачи**:

- 1 Провести анализ развития и состояния безопасности движения на одноуровневых железнодорожно-автомобильных пересечениях транспортной сети, факторов, влияющих на организацию транспортной работы.

2 Исследовать факторы и основные структурные элементы, влияющие на пропускную способность одноуровневых железнодорожно-автомобильных пересечений транспортной сети.

3 Определить основные проблемы функционирования железнодорожно-автомобильных пересечений транспортной сети для обеспечения эффективности функционирования городских транспортных систем.

4 Разработать аналитическую и имитационную модели определения показателей дорожного движения на одноуровневых железнодорожно-автомобильных пересечениях транспортной сети в зависимости от его параметров и способа регулирования.

5 Разработать модель оценки социально-экономических потерь при организации движения на одноуровневых железнодорожно-автомобильных пересечениях транспортной сети.

Объектом исследования являются железнодорожно-автомобильные пересечения, как элемент транспортной сети, определяющий технологические, социальные, пространственные и экономические особенности организации транспортных процессов.

Предмет исследования – методы и инструменты оценки технических, технологических, экологических и социально-экономических потерь, возникающих в железнодорожно-автомобильных пересечениях транспортной сети, и направления их развития.

Диссертационное исследование выполнено в соответствии с Паспортом специальности 05.22.01 – Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте: п. 1 «Транспортные системы и сети страны, их структура, технологии работы. Оптимальная структура подвижного состава, п. 5 «Организация и технология транспортного производства. Управление транспортным производством. Оптимизация размещения транспортных предприятий и производств».

Теоретико-методологической основой исследования явились исследования отечественных и зарубежных ученых, ориентированные на проблемы функционирования и развития транспортных систем, а также научные работы в области организации работы ЖАПТС. В работе использованы теоретические и экспериментальные методы, включающие натурные наблюдения и исследования, методы теории вероятностей и математической статистики, математического моделирования.

Положения, выносимые на защиту:

1 Систематизированный перечень факторов организации работы железнодорожно-автомобильных пересечений и их оценка.

2 Методика оценки социально-экономических потерь на железнодорожном переезде с использованием комбинированного (имитационно-аналитического) моделирования.

3 Аналитическая модель оценки потерь на одноуровневых железнодорожно-автомобильных пересечениях транспортной сети.

4 Имитационная модель оценки потерь на одноуровневых железнодорожно-автомобильных пересечениях транспортной сети.

Научная новизна работы заключается в развитии методов технико-экономического обоснования развития железнодорожно-автомобильных пресечений транспортной сети с использованием комбинированного имитационно-аналитического моделирования, включающая:

1 Системный анализ ключевых факторов технологии организации движения на железнодорожно-автомобильных пресечениях транспортной сети для целей моделирования и технико-экономического обоснования развития в транспортной системе региона, города.

2 Разработку аналитической и имитационной модели для расчета технических показателей на одноуровневых железнодорожно-автомобильных пересечениях транспортной сети.

3 Разработку методики оценки социально-экономических потерь на одноуровневых железнодорожно-автомобильных пересечениях транспортной сети с использованием комбинации имитационного и аналитического моделирования.

4 Апробацию модельно-методического инструментария исследования железнодорожно-автомобильных пересечений транспортной сети в городских транспортных системах на участках с интенсивным движением.

5 Разработку программного обеспечения для расчета интегральных потерь на одноуровневых железнодорожно-автомобильных пересечениях транспортной сети, включая: экономические потери транспортных предприятий; потери населения в ожидании открытия переезда; потери, связанные с загрязнением окружающей среды и др.

Теоретическая и практическая значимость работы определяется предложенными методами анализа и исследования развития железнодорожно-автомобильных пересечений транспортной сети, с использованием комбинированных имитационно-аналитических моделей, определившими принципиально новый подход к оценке совокупных социально-экономических потерь в ЖАПТС, полученными аналитическими и графическими результатами оценки состояния и направлений развития ЖАПТС.

Практическая значимость результатов исследования, подтвержденная их апробацией на конкретных транспортных узлах на полигоне Северо-Кавказской железной дороги – филиала ОАО «РЖД» и на железнодорожных переездах города Ростова-на-Дону, позволяет сделать вывод о возможности применения методических подходов и разработанного программного обеспечения на транспортной сети для исследования состояния ЖАПТС.

Апробация результатов исследования. Основные положения диссертационного исследования докладывались на всероссийских и международных научно-практических конференциях «Транспорт: наука, образование, производство» («Транспорт»), г. Ростов-на-Дону, 2016–2019 гг., «Транспорт и логистика», г. Ростов-на-Дону, 2017–2020 г.; «МехТрибоТранс», г. Ростов-на-Дону, 2016 г.; «Актуальные проблемы и перспективы развития транспорта, промышленности и экономики России» («ТрансПромЭк-2018»), г. Ростов-на-Дону, 2018 г.; «Экономико-правовые механизмы обеспечения национальной безопасности», г. Ростов-на-Дону, 2019 г.; «Транспорт России: проблемы и перспективы», г. Санкт-Петербург, 2019 г.; «ИнтерСтройМех», г. Казань, 2019 г.; «Цифровая трансформация в

экономике транспортного комплекса. Развитие цифровых экосистем: наука, практика, образование», г. Москва, 2019 г.; а также на заседаниях кафедр «Логистика и управление транспортными системами», «Станции и грузовая работа», «Управление эксплуатационной работой» ФГБОУ ВО РГУПС (г. Ростов-на-Дону).

Результаты диссертационного исследования были представлены и получили признание на различных конкурсах и выставках: международный конкурс исследовательских работ, проводимом в рамках проекта Interclover «Профессиональная наука» (г. Нижний Новгород, второе место в двух подкатегориях научных направлений: «Математические и инструментальные методы в экономике» и «Экономика, организация и управление предприятиями, отраслями, комплексами», 2020 г.); конкурс «Практико-ориентированных научно-исследовательских работ студентов, аспирантов и молодых ученых в 2021 году» (первое место в номинации «Формирование инновационной, конкурентоспособной, привлекательной для инвестиций экономики города Ростова-на-Дону»).

Внедрение результатов работы. Результаты диссертационного исследования используются в работе Северо-Кавказской железной дороги – филиала ОАО «РЖД», Департамента транспорта г. Ростова-на-Дону, а также в учебном процессе ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения» при разработке учебно-методических комплексов.

Публикации. Основное содержание диссертации и результаты исследования опубликованы в 20 научных работах общим объемом 5,39 п.л. (авторских – 4,17 п.л.), в том числе: 1 – входящая в международные реферативные базы данных и системы цитирования Web of Science и Scopus; 3 – в ведущих рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации; 1 – Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем работы определены целью и задачами, поставленными и решенными в ходе исследования. Научно-квалификационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка из 161 наименований и 3 приложений. Общий объем работы 163 страниц, содержит 47 рисунков, 16 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационного исследования, определены цель и основные задачи исследования, предмет и объект, теоретико-методологическая основа, научная новизна, практическая значимость исследования, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Теоретические основы организации работы железнодорожно-автомобильных пересечений транспортной сети» проведен анализ организации работы транспортных систем в узлах транспортной сети (УТС), где возникают значительные затруднения в сбалансированности развития транспортной сети. В ЖАПТС пересекаются не только транспортно-

технологические платформы, но и нормативно-правовые, межкорпоративные (межведомственные), организационные, социально-экономические интересы.

Проведен анализ транспортных проблем организации работы, возникающих в ЖАПТС, предложены методы и мероприятия по их устранению, перечислены виды ЖАПТС, которые позволяют адресно формировать технико-технологические решения по их совершенствованию.

Рассмотрены подсистемы и структурные элементы городской транспортной системы, формирующие УТС, их организация и взаимодействие в обеспечении перевозок грузов и пассажиров, формировании параметров мобильности населения, доступности городской среды. В городской транспортной системе особо чувствительными проблемами реализации транспортных потоков в УТС являются места пересечения автомобильных дорог с железнодорожными путями на одном уровне – железнодорожные переезды. Проанализировано современное состояние одноуровневых железнодорожно-автомобильных пересечений, и выделены основные проблемы функционирования автомобильного и железнодорожного транспорта на ЖАПТС (таблица 1).

Таблица 1 – Факторы, влияющие на организацию движения на одноуровневых железнодорожно-автомобильных пересечениях транспортной сети

Вид транспорта	Проблемы
Автомобильный транспорт	Ограничение пропускной способности участков дорожной сети в зоне железнодорожных переездов
	Совпадение по времени пиков интенсивности автодорожного и железнодорожного движения
	Рост угрозы безопасности дорожного движения
Железнодорожный транспорт	Ущерб в результате дорожно-транспортного происшествия на железнодорожном переезде
	Препятствие развитию скоростного железнодорожного сообщения
	Угроза безопасности железнодорожного движения

На железнодорожных переездах в зависимости от места расположения, интенсивности движения и способа регулирования применяются различные специальные средства регулирования движения для безопасной организации дорожного движения, которые также влияют на организацию движения в зоне тяготения переезда, формируют социально-экономические потери участников движения. Классификация железнодорожных переездов в Российской Федерации приведена на рисунке 1.

В эксплуатации железнодорожных переездов главными задачами являются обеспечение безопасности и надежности системы перевозок, увеличение пропускной способности транспортных средств и исключение простоев автомобильного транспорта. Для решения этих задач в работе были выделены основные факторы и структурные элементы железнодорожного переезда (рисунок 2).



Рисунок 1 – Классификация железнодорожных переездов

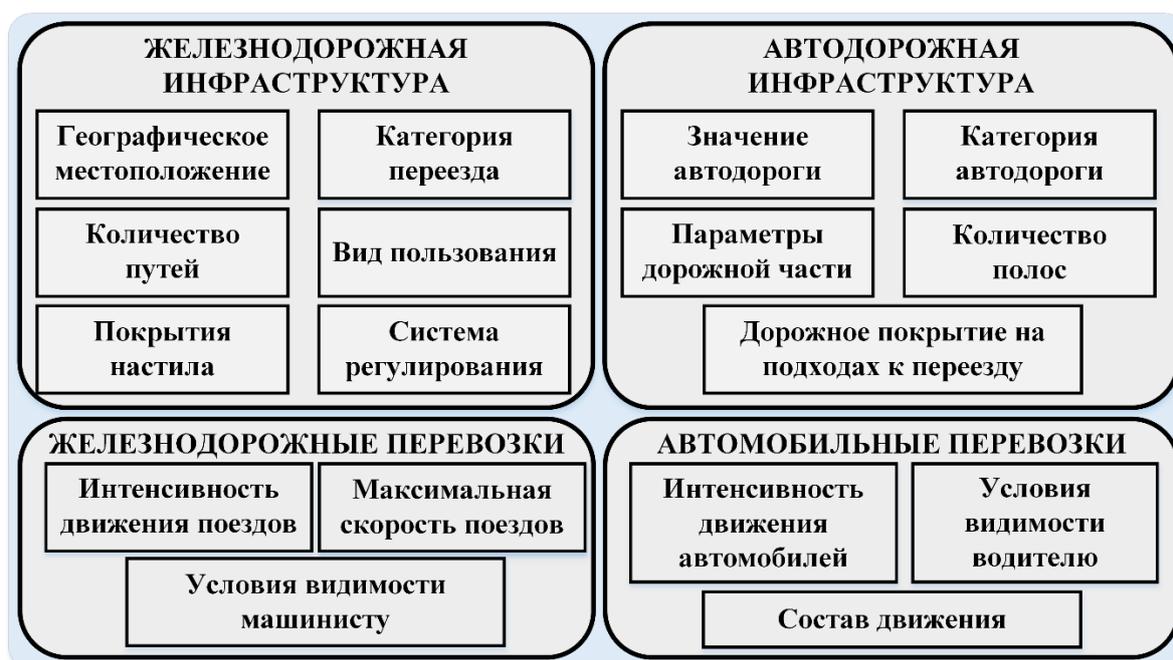


Рисунок 2 – Структурные элементы железнодорожного переезда

Проведен анализ зарубежного и отечественного опыта в исследовании организации работы ЖАПТС. Выявлено, что отечественные методики определения задержек транспортных средств и потерь времени на одноуровневых пересечениях базируются в основном на аналитическом методе моделирования, что является существенным ограничивающим фактором, влияющим на достоверность оценок процесса движения транспорта на узле и сети в зоне его тяготения.

Показана необходимость использования транспортного моделирования при разработке мероприятий по решению транспортных проблем в ЖАПТС и принятии научно обоснованных решений их реализации. Наряду с ростом потребности в более совершенных моделях транспортной системы наиболее современным подходом является использование имитационно-аналитического (комбинированного) моделирования. Проведен качественный анализ современных программных средств имитационного транспортного моделирования и выявлены их достоинства и недостатки.

Сформулированы основные задачи диссертационного исследования, представленные на рисунке 3, определена методология и структура диссертационного исследования.

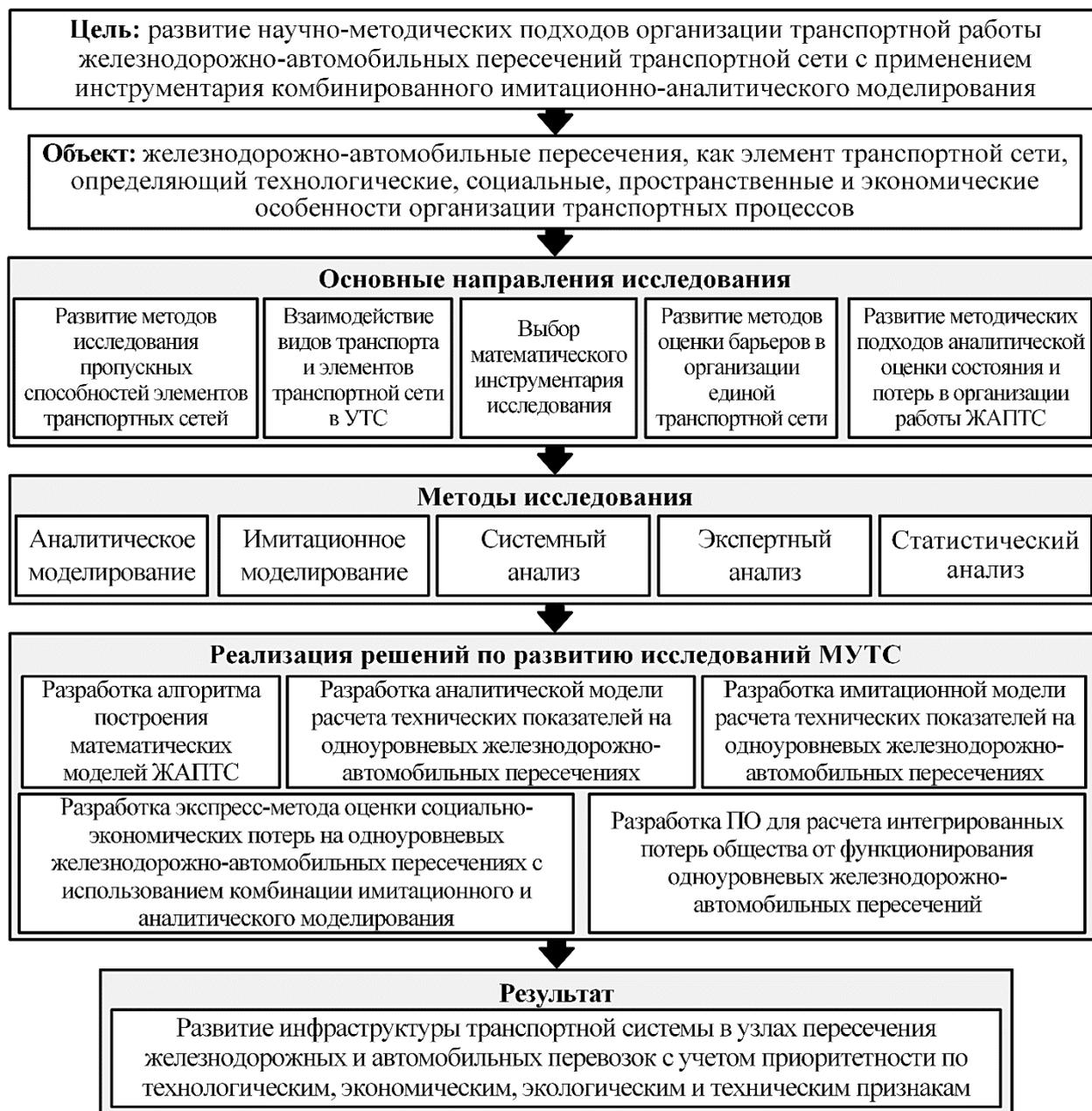


Рисунок 3 – Общая схема диссертационного исследования

Во второй главе «Железнодорожно-автомобильные пересечения транспортной сети в системе обеспечения безопасности движения» рассмотрена характеристика одноуровневых железнодорожно-автомобильных пересечений как технологических барьеров развития пропускной способности транспортной сети.

Стремительный рост уровня автомобилизации по сравнению с протяженностью улично-дорожной сети формирует проблему организации и управления дорожным движением, приводит к появлению «узких» мест и увеличению нагрузки в узлах транспортной сети. В городской транспортной системе узлами транспортной сети являются пересечения автомобильных и железных дорог на

одном уровне (ЖАПТС). Ввиду отсутствия разноуровневых пересечений растут задержки транспортных средств, ухудшаются условия движения транспортных потоков, увеличивается аварийность, формируются относительно изолированные зоны – районы в городской среде (рисунок 4).



Рисунок 4 – Железнодорожная инфраструктура, формирующая барьеры развития территории и обеспечения мобильности населения (г. Ростов-на-Дону)

Дополнительным негативным фактором наличия одноуровневых железнодорожно-автомобильных пересечений транспортной сети в городской зоне с интенсивным дорожным движением является рост аварийности. Выявлены основные причины возникновения ДТП на железнодорожном переезде и виды социально-экономических потерь общества и государства, зависящие от них.

Анализ динамики основных показателей аварийности в зоне переездов показал, что тенденции снижения дорожно-транспортных происшествий на железнодорожных переездах не наблюдается, что связано с опережающим увеличением интенсивности движения по сравнению с эффектами, достигаемыми за счет организационно-технических и технологических решений.

Проведен регрессионный анализ статистики ДТП на переездах. Показатели безопасности движения на железнодорожных переездах Российской Федерации свидетельствуют о том, что среднегодовое число ДТП тесно зависит от количества железнодорожных переездов, числа автотранспортных средств и интенсивности движения транспортных средств по переездам.

Исследованы методы контроля управления движением на одноуровневых железнодорожно-автомобильных пересечениях. Основными мероприятиями для повышения безопасности движения на железнодорожных переездах России яв-

ляются конструирование заградительного устройства железнодорожного переезда, установка двойных автоматических шлагбаумов, использование современных информационных технологий и Глобальной навигационной спутниковой системы (ГЛОНАСС) (рисунок 5).



Рисунок 5 – Устройства и оборудование для регулирования переездов

В третьей главе «Технология определения потерь на железнодорожно-автомобильных пересечениях транспортной сети с использованием транспортного моделирования» предлагается решение транспортных проблем на одноуровневых железнодорожно-автомобильных пересечениях транспортной сети с использованием комбинации имитационного и аналитического моделирования транспортных систем. Разработка адекватных математических моделей процессов взаимодействия участников дорожного движения предусматривает адекватную формализацию элементов транспортной инфраструктуры, системы организации дорожного движения, системы управления движением и других элементов. Использование объектной декомпозиции предметной области (рисунок 6) позволяет сократить время моделирования и получения результатов, отвечающих поставленным целям для решения транспортных проблем.

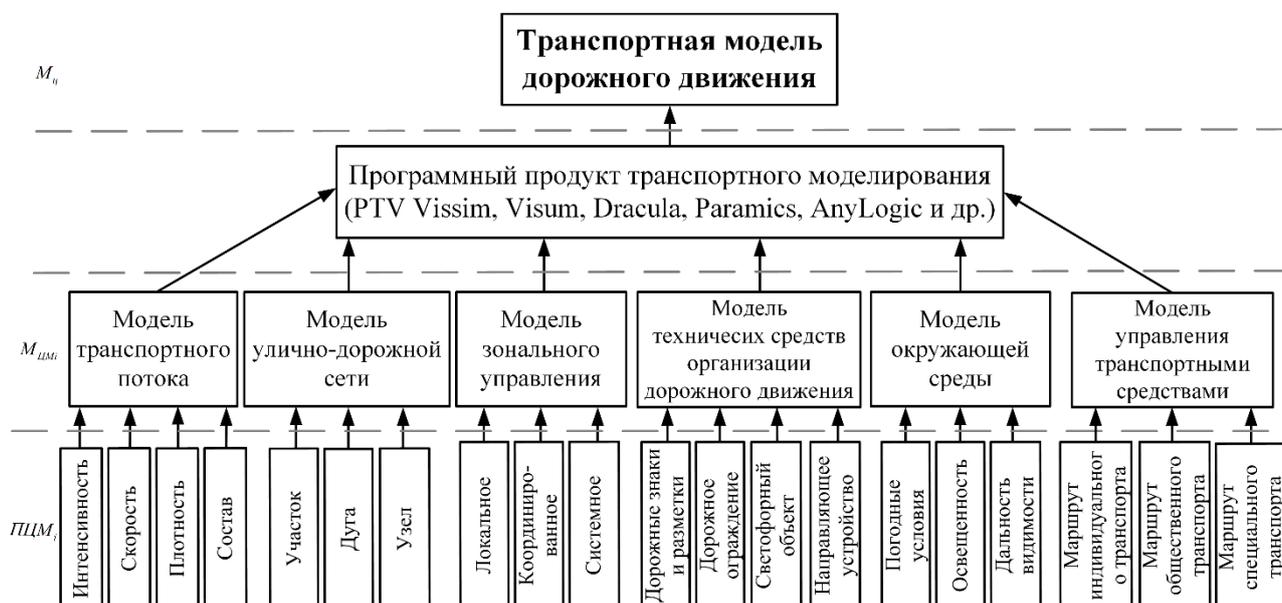


Рисунок 6 – Декомпозиция предметной области на классы объектов

Аналитическим методом моделирования получены зависимости для определения потерь времени автотранспортных на одноуровневых ЖАПТС, зависящие от интенсивности движения автомобильного транспорта (N_{AT}) и время закрытия железнодорожного переезда ($t_{закр}$):

$$T = \left(N_{AT} \cdot \frac{60 - t_{закр}}{60} \right) \cdot \left(\frac{S}{V_0} - \frac{S}{V_1} \right) + \sum_{i=1}^n \left(\frac{S + L \cdot i}{V_0} - \frac{S + L \cdot i}{V_1} \right) + \left(\frac{t_{закр}^2 \cdot N_{AT}}{120} + \frac{t_{закр}}{2} \right) \cdot \frac{1}{60}, \text{ ч.}$$

Построен график изменения потерь времени автотранспортных средств на одноуровневых ЖАПТС методом аналитического моделирования (рисунок 7).

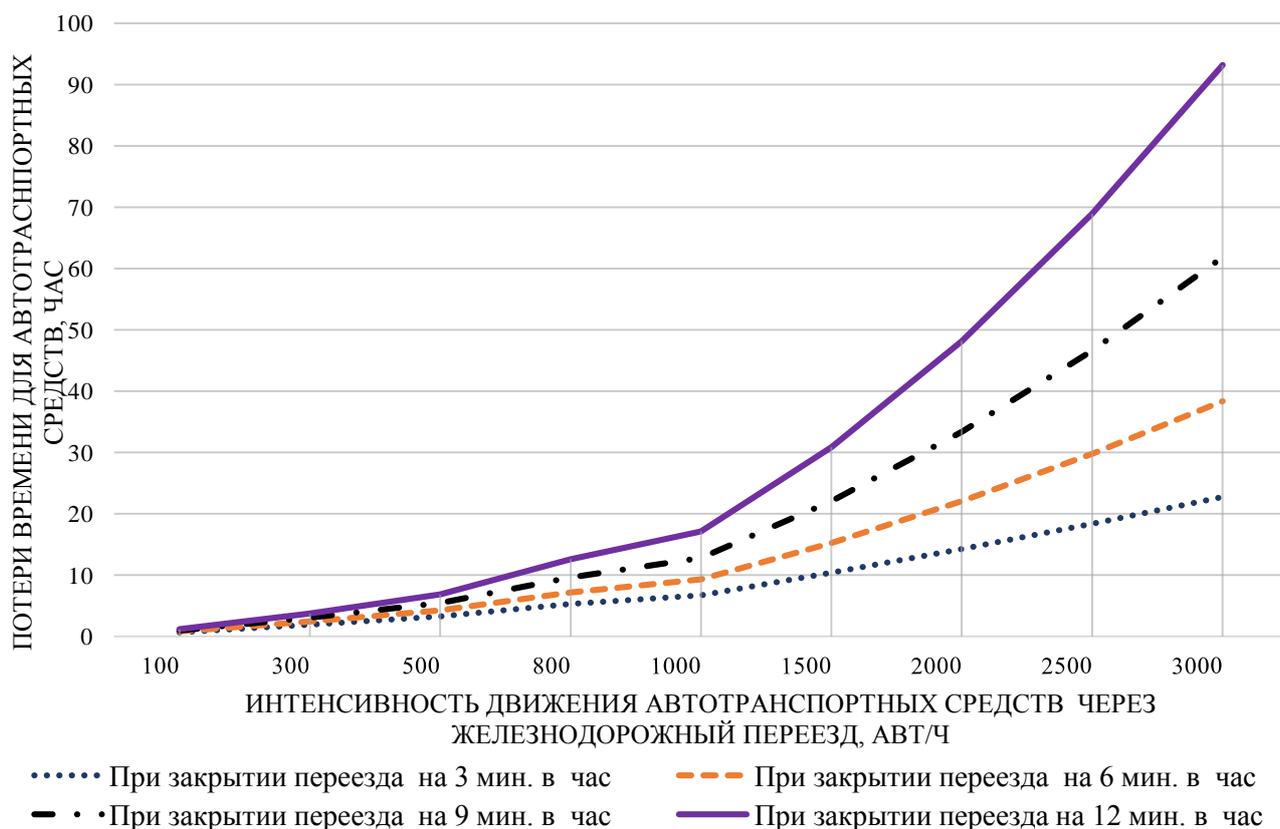


Рисунок 7 – График изменения потерь времени автотранспортных средств на одноуровневых ЖАПТС

Как видно, график изменения потерь времени автотранспортных средств на одноуровневых ЖАПТС имеет экспоненциальный вид. Превышение интенсивности движения более 1000 авт/ч, влечет за собой достаточной резкий рост задержек автотранспортных средств.

Полученные аналитические решения носят усредненный характер за определенный период времени и не учитывают все особенности ЖАПТС. Представляет определенную сложность и проверка адекватности модели, которая требует проведения экспериментов с указанными в модели параметрами. При этом следует отметить и достоинства аналитического моделирования, к которым относятся универсальность, т. е. возможность применения модели и на других ЖАПТС, простота и оперативность проведения расчетов.

Достоверность оценки состояния – определение скорости движения автотранспортных средств в зоне железнодорожного переезда, достигается применением имитационных моделей. Для апробации транспортной модели был выбран один из железнодорожных переездов в г. Ростове-на-Дону. С помощью программного обеспечения PTV Vissim была создана имитационная модель данного участка транспортной сети (рисунок 8).



Рисунок 8 – Имитационная модель железнодорожно-автомобильного пересечения в программе PTV Vissim

Для повышения безопасности дорожного движения и уменьшения задержек транспортных средств на данном участке дороги предложено создание разноуровневого железнодорожно-автомобильного пересечения, эффективность которого подтверждена численными расчетами (экспериментом) на базе имитационно-аналитического моделирования (рисунок 9).

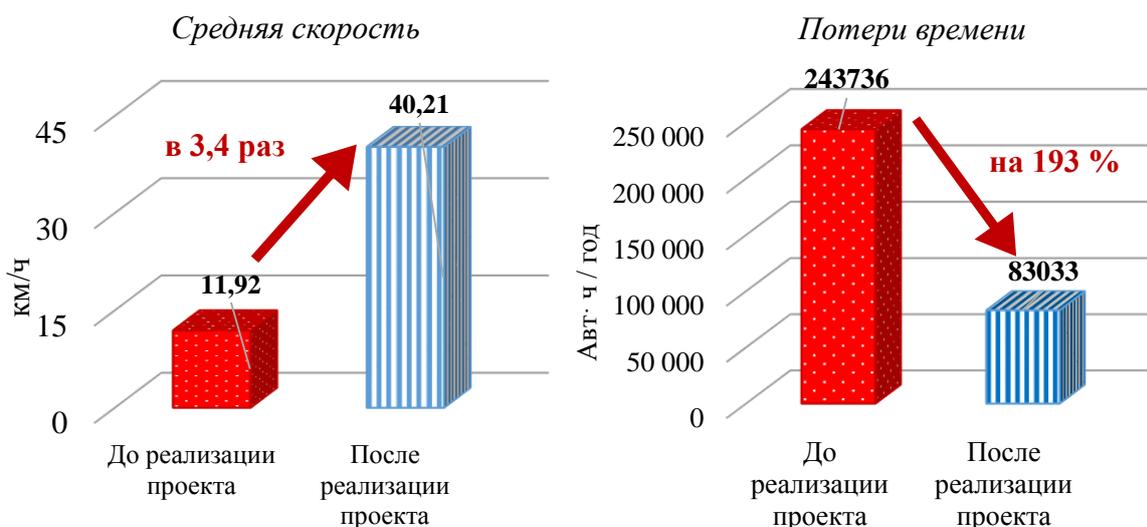


Рисунок 9 – Результаты моделирования на железнодорожно-автомобильном пересечении на одном и разных уровнях

Преимуществом данного подхода считается способность адекватно описывать поведение участников транспортного потока и выдавать точные параметры движения: скорость движения, задержки транспортных средств, длину и динамику образования заторов и т. д. Недостатком данного подхода является невозможность применения построенной модели в других ЖАПТС.

По результатам проведенного анализа железнодорожных переездов Северо-Кавказской железной дороги, подлежащих замене на автодорожный путепровод, были выявлены основные параметры железнодорожного переезда, влияющие на технические показатели дорожного движения:

$N_{\text{авт}}$ – интенсивность движения транспортных средств через железнодорожный переезд в обоих направлениях дороги, авт/ч;

$T_{\text{закр}}$ – время закрытия железнодорожного переезда в течение 1 часа в ожидании пропуска железнодорожного состава, мин.;

$N_{\text{пол}}$ – число полос в обоих направлениях автомобильной дороги, пересекающей железнодорожный путь;

$N_{\text{пут}}$ – число железнодорожных путей, пересекающих автомобильную дорогу.

Эти параметры легли в основу построенных имитационных моделей железнодорожных переездов.

По результатам имитационного моделирования построены графики (рисунок 10) и функции (таблица 2) изменения максимальной пропускной способности железнодорожного переезда в зависимости от характеристики переезда.

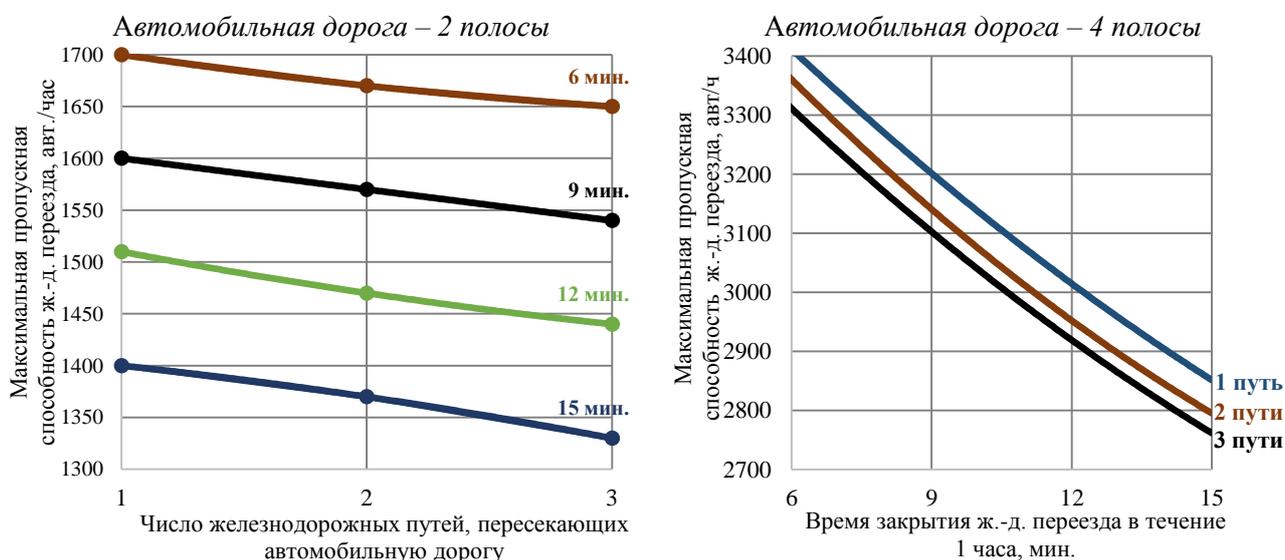


Рисунок 10 – График изменения пропускной способности железнодорожного переезда в зависимости от параметров переезда

Аналогично построены графики зависимостей суммарных задержек транспортных средств от параметров переезда. При построении эмпирических зависимостей выявлено, что суммарные задержки транспортных средств начинают резко возрастать при достижении интенсивностью движения транспортных средств максимальной пропускной способности.

Таблица 2 – Функции зависимости максимальной пропускной способности железнодорожного переезда от времени закрытия переезда и числа железнодорожных путей

Время закрытия ж.-д. переезда в течение 1 часа	Формулы расчета максимальной пропускной способности	
	Автомобильная дорога – 2 полосы	Автомобильная дорога – 4 полосы
6 мин	$N_{\text{макс}} = 5N_{\text{пут}}^2 - 45N_{\text{пут}} + 1740$	$N_{\text{макс}} = 10N_{\text{пут}}^2 - 90N_{\text{пут}} + 3480$
9 мин	$N_{\text{макс}} = 10^{-12} \cdot 2N_{\text{пут}}^2 - 30N_{\text{пут}} + 1630$	$N_{\text{макс}} = 10N_{\text{пут}}^2 - 90N_{\text{пут}} + 3290$
12 мин	$N_{\text{макс}} = 5N_{\text{пут}}^2 - 55N_{\text{пут}} + 1560$	$N_{\text{макс}} = 7,5N_{\text{пут}}^2 - 77,5N_{\text{пут}} + 3085$
15 мин	$N_{\text{макс}} = -5N_{\text{пут}}^2 - 15N_{\text{пут}} + 1420$	$N_{\text{макс}} = 15N_{\text{пут}}^2 - 105N_{\text{пут}} + 2940$
Число ж.-д. путей		
1 путь	$N_{\text{макс}} = 0,714T_{\text{закр}}^2 - 49,19T_{\text{закр}} + 1984$	$N_{\text{макс}} = 1,31T_{\text{закр}}^2 - 89,74T_{\text{закр}} + 3903$
2 пути	$N_{\text{макс}} = 0,794T_{\text{закр}}^2 - 50,95T_{\text{закр}} + 1960$	$N_{\text{макс}} = 1,746T_{\text{закр}}^2 - 99,43T_{\text{закр}} + 3894$
3 пути	$N_{\text{макс}} = 0,714T_{\text{закр}}^2 - 51,19T_{\text{закр}} + 1942$	$N_{\text{макс}} = 1,429T_{\text{закр}}^2 - 91,05T_{\text{закр}} + 3806$

Для повышения коэффициента сходимости имитационных и теоретических результатов графики и функции эмпирических зависимостей разделены на две категории:

$N_{\text{авт}} < N_{\text{макс}}$ – интенсивность движения транспортных средств через переезд меньше пропускной способности переезда;

$N_{\text{авт}} > N_{\text{макс}}$ – интенсивность движения транспортных средств через переезд больше пропускной способности переезда

Построены графики (рисунок 11) и определены функции (таблица 3) эмпирических зависимостей суммарных задержек транспортных средств от интенсивности движения в зависимости от параметров переезда для использования в аналитических методах оценки задержек.

Таблица 3 – Функции зависимости суммарной задержки транспортных средств от интенсивности движения транспортных средств

Время закрытия ж.-д. переезда в течение 1 ч	Формулы расчета суммарной задержки	
	При $N_{\text{авт}} < N_{\text{макс}}$	При $N_{\text{авт}} > N_{\text{макс}}$
1	2	3
Для 2-полосной автомобильной дороги		
<i>1 железнодорожный путь, пересекающий автомобильную дорогу</i>		
6 мин	$T_{\text{зад}} = 0,00004 \cdot (N_{\text{авт}})^2 - 0,046 \cdot N_{\text{авт}} + 16,9$	$T_{\text{зад}} = -0,0002 \cdot (N_{\text{авт}})^2 + 1,01 \cdot N_{\text{авт}} - 1125,9$
9 мин	$T_{\text{зад}} = 0,00005 \cdot (N_{\text{авт}})^2 - 0,05 \cdot N_{\text{авт}} + 17,22$	$T_{\text{зад}} = -0,0002 \cdot (N_{\text{авт}})^2 + 1,17 \cdot N_{\text{авт}} - 1286,2$
12 мин	$T_{\text{зад}} = 0,0001 \cdot (N_{\text{авт}})^2 - 0,136 \cdot N_{\text{авт}} + 46,14$	$T_{\text{зад}} = -0,0002 \cdot (N_{\text{авт}})^2 + 1,15 \cdot N_{\text{авт}} - 1227,3$
15 мин	$T_{\text{зад}} = 0,0002 \cdot (N_{\text{авт}})^2 - 0,237 \cdot N_{\text{авт}} + 79,8$	$T_{\text{зад}} = -0,0001 \cdot (N_{\text{авт}})^2 + N_{\text{авт}} - 1031,6$

Продолжение таблицы 3

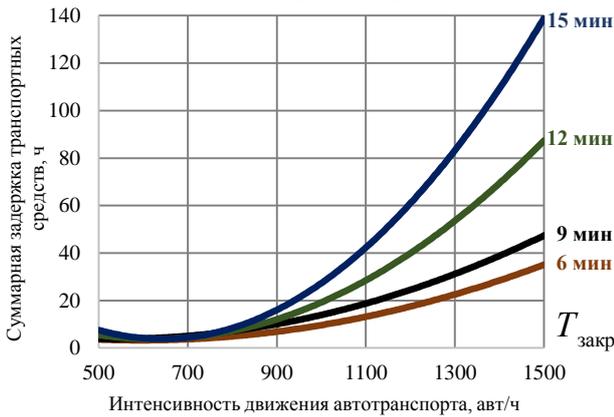
1	2	3
<i>2 железнодорожных пути, пересекающих автомобильную дорогу</i>		
6 мин	$T_{\text{зад}} = 0,00004 \cdot (N_{\text{авт}})^2 - 0,053 \cdot N_{\text{авт}} + 18,99$	$T_{\text{зад}} = -0,0002 \cdot (N_{\text{авт}})^2 + 1,05 \cdot N_{\text{авт}} - 1158$
9 мин	$T_{\text{зад}} = 0,00006 \cdot (N_{\text{авт}})^2 - 0,065 \cdot N_{\text{авт}} + 22,5$	$T_{\text{зад}} = -0,0002 \cdot (N_{\text{авт}})^2 + 1,19 \cdot N_{\text{авт}} - 1291$
12 мин	$T_{\text{зад}} = 0,0001 \cdot (N_{\text{авт}})^2 - 0,18 \cdot N_{\text{авт}} + 62,29$	$T_{\text{зад}} = -0,0002 \cdot (N_{\text{авт}})^2 + 1,12 \cdot N_{\text{авт}} - 1176$
15 мин	$T_{\text{зад}} = 0,0002 \cdot (N_{\text{авт}})^2 - 0,3 \cdot N_{\text{авт}} + 102,83$	$T_{\text{зад}} = -0,0001 \cdot (N_{\text{авт}})^2 + 0,95 \cdot N_{\text{авт}} - 955$
<i>3 железнодорожных пути, пересекающих автомобильную дорогу</i>		
6 мин	$T_{\text{зад}} = 0,00005 \cdot (N_{\text{авт}})^2 - 0,062 \cdot N_{\text{авт}} + 21,9$	$T_{\text{зад}} = -0,0002 \cdot (N_{\text{авт}})^2 + 1,056 \cdot N_{\text{авт}} - 1165$
9 мин	$T_{\text{зад}} = 0,00007 \cdot (N_{\text{авт}})^2 - 0,079 \cdot N_{\text{авт}} + 27,3$	$T_{\text{зад}} = -0,0002 \cdot (N_{\text{авт}})^2 + 1,145 \cdot N_{\text{авт}} - 1249$
12 мин	$T_{\text{зад}} = 0,0002 \cdot (N_{\text{авт}})^2 - 0,217 \cdot N_{\text{авт}} + 74,09$	$T_{\text{зад}} = -0,0002 \cdot (N_{\text{авт}})^2 + 1,064 \cdot N_{\text{авт}} - 1111$
15 мин	$T_{\text{зад}} = 0,0002 \cdot (N_{\text{авт}})^2 - 0,32 \cdot N_{\text{авт}} + 108,68$	$T_{\text{зад}} = -0,0001 \cdot (N_{\text{авт}})^2 + 0,92 \cdot N_{\text{авт}} - 918,6$
Для 4-полосной автомобильной дороги		
<i>1 железнодорожный путь, пересекающих автомобильную дорогу</i>		
6 мин	$T_{\text{зад}} = 10^{-6} \cdot 7 \cdot (N_{\text{авт}})^2 - 0,0076 \cdot N_{\text{авт}} + 4,5$	$T_{\text{зад}} = 0,0003 \cdot (N_{\text{авт}})^2 - 1,43 \cdot N_{\text{авт}} + 1884,6$
9 мин	$T_{\text{зад}} = 10^{-6} \cdot 9 \cdot (N_{\text{авт}})^2 - 0,0066 \cdot N_{\text{авт}} + 3,89$	$T_{\text{зад}} = 0,0002 \cdot (N_{\text{авт}})^2 - 0,66 \cdot N_{\text{авт}} + 608$
12 мин	$T_{\text{зад}} = 10^{-5} \cdot (N_{\text{авт}})^2 - 0,0152 \cdot N_{\text{авт}} + 9,72$	$T_{\text{зад}} = 0,00007 \cdot (N_{\text{авт}})^2 + 0,027 \cdot N_{\text{авт}} - 501$
15 мин	$T_{\text{зад}} = 10^{-5} \cdot (N_{\text{авт}})^2 - 0,0067 \cdot N_{\text{авт}} + 5,44$	$T_{\text{зад}} = -0,00001 \cdot (N_{\text{авт}})^2 + 0,6 \cdot N_{\text{авт}} - 1385$
<i>2 железнодорожных пути, пересекающих автомобильную дорогу</i>		
6 мин	$T_{\text{зад}} = 10^{-6} \cdot 9 \cdot (N_{\text{авт}})^2 - 0,012 \cdot N_{\text{авт}} + 7,29$	$T_{\text{зад}} = 0,0003 \cdot (N_{\text{авт}})^2 - 1,3 \cdot N_{\text{авт}} + 1658,5$
9 мин	$T_{\text{зад}} = 10^{-5} \cdot (N_{\text{авт}})^2 - 0,0093 \cdot N_{\text{авт}} + 5,17$	$T_{\text{зад}} = 0,0001 \cdot (N_{\text{авт}})^2 - 0,453 \cdot N_{\text{авт}} + 269,5$
12 мин	$T_{\text{зад}} = 10^{-5} \cdot (N_{\text{авт}})^2 - 0,0183 \cdot N_{\text{авт}} + 11,31$	$T_{\text{зад}} = 10^{-5} \cdot 5 \cdot (N_{\text{авт}})^2 + 0,184 \cdot N_{\text{авт}} - 754,8$
15 мин	$T_{\text{зад}} = 10^{-5} \cdot 2 \cdot (N_{\text{авт}})^2 - 0,0158 \cdot N_{\text{авт}} + 10,13$	$T_{\text{зад}} = -10^{-5} \cdot 8 \cdot (N_{\text{авт}})^2 + 1,055 \cdot N_{\text{авт}} - 2091$
<i>3 железнодорожных пути, пересекающих автомобильную дорогу</i>		
6 мин	$T_{\text{зад}} = 10^{-6} \cdot 8 \cdot (N_{\text{авт}})^2 - 0,0104 \cdot N_{\text{авт}} + 6,02$	$T_{\text{зад}} = 0,0002 \cdot (N_{\text{авт}})^2 - 1,052 \cdot N_{\text{авт}} + 1256$
9 мин	$T_{\text{зад}} = 10^{-5} \cdot (N_{\text{авт}})^2 - 0,0091 \cdot N_{\text{авт}} + 5,69$	$T_{\text{зад}} = 0,0001 \cdot (N_{\text{авт}})^2 - 0,347 \cdot N_{\text{авт}} + 111,5$
12 мин	$T_{\text{зад}} = 10^{-5} \cdot 2 \cdot (N_{\text{авт}})^2 - 0,0259 \cdot N_{\text{авт}} + 14,43$	$T_{\text{зад}} = 10^{-5} \cdot 4 \cdot (N_{\text{авт}})^2 + 0,267 \cdot N_{\text{авт}} - 862$
15 мин	$T_{\text{зад}} = 10^{-5} \cdot 2 \cdot (N_{\text{авт}})^2 - 0,0249 \cdot N_{\text{авт}} + 15,02$	$T_{\text{зад}} = -10^{-5} \cdot 9 \cdot (N_{\text{авт}})^2 + 1,097 \cdot N_{\text{авт}} - 2138$

Полученные функциональные зависимости, построенные между параметрами функционирования железнодорожного переезда, дают возможность проводить оценку потерь без привлечения аппарата имитационного моделирования, что значительно сокращает время для расчета потерь.

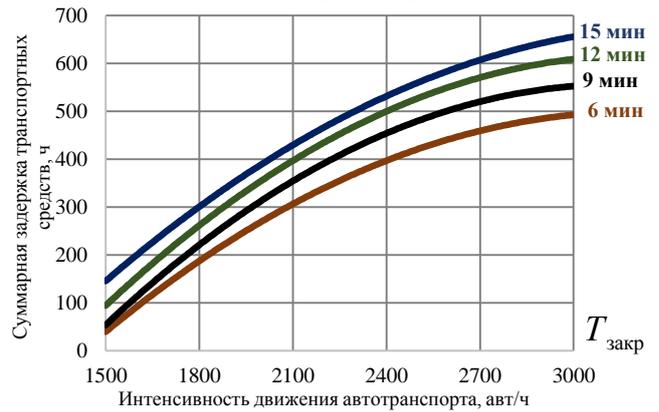
В рамках реализации методики разработана программа расчета потерь на железнодорожном переезде, которая рассчитывает технические и социально-экономические потери, возникающие на железнодорожном переезде. Программа предназначена для автоматизированного расчета социально-экономических потерь на ЖАПТС с помощью комбинированного (имитационно-аналитического) моделирования. На рисунке 12 представлен интерфейс программы оценки социально-экономических потерь на железнодорожном переезде.

Для 2-полосной автомобильной дороги и 1 железнодорожного пути

При $N_{авт} < N_{макс}$

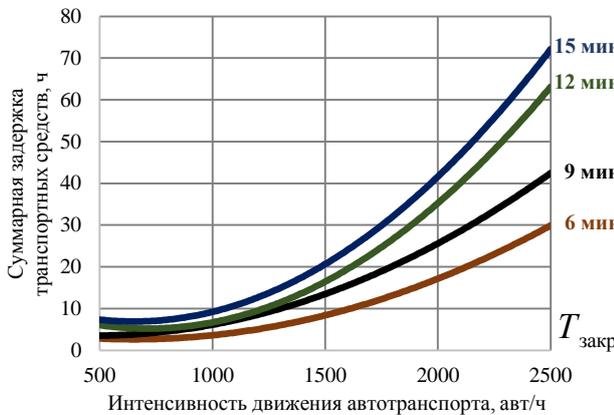


При $N_{авт} > N_{макс}$



Для 4-полосной автомобильной дороги и 3 железнодорожных путей

При $N_{авт} < N_{макс}$



При $N_{авт} > N_{макс}$

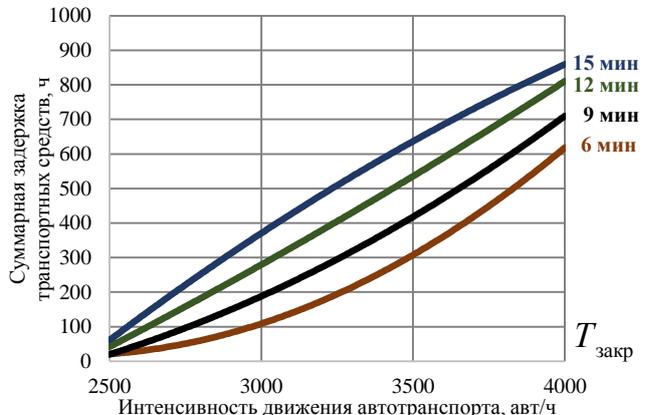


Рисунок 11 – График зависимости суммарной задержки транспортных средств от интенсивности движения транспортных средств

Программа оценки социально-экономических потерь на железнодорожных переездах

Расчет

- Тип жд переезда: Регулируемый
- Число жд путей: 3 пути
- Число полос автодороги: 4 полосы
- Время закрытия на жд переезде в течение 1-го часа: 15 мин./час

Результаты имитационного моделирования

Социально-экономические потери

Печать результатов

Среднее время задержки 1-го автомобиля

Среднее время простоя 1-го автомобиля

Максимальная пропускная способность

Среднее количество остановок 1-го автомобиля

Социально-экономические потери в течение 1-го часа

Интенсивность движения автотранспортных средств в течение 1-го часа, авт./час	Потери от ДТП на переезде	Потери от разрыва тягово-сцепного устройства	Потери от роста времени ожидания	Потери от роста расхода топлива	Потери от роста расхода электроэнергии	Потери от роста расхода воды	Потери от роста расхода газа	Потери от роста расхода пара	Потери от роста расхода воздуха	Потери от роста расхода тепла	Потери от роста расхода холода	Потери от роста расхода электричества	Потери от роста расхода воды	Потери от роста расхода газа	Потери от роста расхода пара	Потери от роста расхода воздуха	Потери от роста расхода тепла	Потери от роста расхода холода	Суммарные потери
500	158	197	169	63	45	156	224	1532											3387
1000	195	81	88	427	238	810	1181	1818											4259
1500	3049	86	1662	418	483	1551	2224	10041											15504
2000	5227	137	3522	1735	959	3287	4713	19980											28288
2500	6532	173	6525	2705	1623	5188	7427	32644											43814
3000	9796	257	14770	1724	9470	12447	18232	55236											83368
3500	10885	342	128223	6343	35585	120216	170289	533368											710258
4000	16323	428	172657	9456	49362	160380	230589	710258											1420516

Вывод результатов

Социально-экономические потери в течение 1-го часа, руб./час

Интенсивность движения автотранспортных средств в течение 1-го часа, авт./час	Потери от ДТП на переезде	Потери от разрыва тягово-сцепного устройства	Потери от роста времени ожидания	Потери от роста расхода топлива	Потери от роста расхода электроэнергии	Потери от роста расхода воды	Потери от роста расхода газа	Потери от роста расхода пара	Потери от роста расхода воздуха	Потери от роста расхода тепла	Потери от роста расхода холода	Потери от роста расхода электричества	Потери от роста расхода воды	Потери от роста расхода газа	Потери от роста расхода пара	Потери от роста расхода воздуха	Потери от роста расхода тепла	Потери от роста расхода холода	Суммарные потери
500	158	197	169	63	45	156	224	1532											3387
1000	195	81	88	427	238	810	1181	1818											4259
1500	3049	86	1662	418	483	1551	2224	10041											15504
2000	5227	137	3522	1735	959	3287	4713	19980											28288
2500	6532	173	6525	2705	1623	5188	7427	32644											43814
3000	9796	257	14770	1724	9470	12447	18232	55236											83368
3500	10885	342	128223	6343	35585	120216	170289	533368											710258
4000	16323	428	172657	9456	49362	160380	230589	710258											1420516

Рисунок 12 – Интерфейс программы

В четвертой главе «Экономические механизмы и методы развития железнодорожно-автомобильных пересечений транспортной сети» предложены методы оценки совокупных социально-экономических потерь, возникающих на ЖАПТС по субъектам рынка, населению общества в целом, позволяющие распределить ответственность за развитие и эффективное функционирование.

Экономические потери на одноуровневых железнодорожно-автомобильных пересечениях распределяются на многих субъектов общества. Определены виды социально-экономических потерь, возникающих на одноуровневых пересечениях автомобильного и железнодорожного транспорта (таблица 4):

$$P = (P_{\text{сод}} + P_{\text{ЖТ}} + P_{\text{АТ}} + P_{\text{ПС}} + P_{\text{ГБ}} + P_{\text{пас}} + P_{\text{топ}} + P_{\text{амор}} + P_{\text{гр}} + P_{\text{эк}}), \text{ руб/ч.}$$

Таблица 4 – Классификация социально-экономических потерь на одноуровневых ЖАПТС

Категории потерь	Виды потерь	Обозначения
Социальные потери	Потери пассажиров от увеличения времени поездки	$P_{\text{пас}}$
	Ущерб, наносимый жизни и здоровью людей, а также материальные потери от ДТП	$P_{\text{ПС}}$
	Ущерб от гибели людей в результате ДТП	$P_{\text{ГБ}}$
Технологические потери	Рост амортизации и износа транспортных средств	$P_{\text{амор}}$
Экономические потери	Потери железнодорожного транспорта, обусловленные ДТП	$P_{\text{ЖТ}}$
	Потери автотранспортных средств вследствие ДТП	$P_{\text{АТ}}$
	Рост расхода топлива и энергоресурсов	$P_{\text{топ}}$
	Потери за счет снижения скорости доставки груза	$P_{\text{гр}}$
	Затраты на техническое обустройство и содержание железнодорожного переезда	$P_{\text{сод}}$
Экологические потери	Потери от ухудшения экологической среды	$P_{\text{эк}}$

Разработана математическая модель оценки социально-экономических потерь (P), возникающих на одноуровневых ЖАПТС, позволяющая произвести экспресс-расчет влияния задержки автотранспортных средств на переезде в зависимости от выбранных доминантных факторов.

Представлена методика расчета потерь с указанием эмпирической базы для расчетов, включающей федеральные и региональные данные статистики, данные предприятий, и организаций по регулированию дорожного движения на УДС и перевозочного процесса на железнодорожном транспорте.

В таблице 5 приведены расчетные формулы социально-экономических потерь на одноуровневых железнодорожно-автомобильных пересечениях транспортной сети.

Таблица 5 – Формула расчета социально-экономических потерь

Расчетная формула	Принятые значения
$P_{гр} = (T_{скор} \cdot \Delta q(v_{ср}) \cdot T_{закр} \times \Delta q(v_0)) \cdot \omega_{гр} \cdot G_{гр} \cdot \Delta c_{гр} \cdot \frac{\Delta c}{100}$ $T_{скор} = \left(N_{АТ} \cdot \frac{60 - t_{закр}}{60} \right) \cdot \left(\frac{S}{V_0} - \frac{S}{V_1} \right) + \sum_{i=1}^n \left(\frac{S + L \cdot i}{V_0} - \frac{S + L \cdot i}{V_1} \right)$ $T_{зад} = N_{ЖД} \cdot \left(\frac{t_{закр}^2 \cdot N_{АТ}}{24 \cdot 120} + \frac{t_{закр}}{2} \right)$	<p>$\omega_{гр}$ – доля грузовых автомобилей;</p> <p>$G_{гр}$ – средний объем груза, перевозимый 1-м грузовым авт., т;</p> <p>$\Delta c_{гр}$ – удельная стоимость груза, руб/т;</p> <p>Δc – норма рентабельности единицы продукции, %;</p> <p>$T_{скор}$ – потери времени авт. из-за снижения скоростей движения в зонах ж.-д. переезда, ч;</p> <p>$T_{закр}$ – потери времени авт. из-за задержек при закрытии ж.-д. переезда, ч;</p> <p>$t_{закр}$ – среднее время одного закрытия железнодорожного переезда, мин;</p>
$P_{топ} = \Delta q(v_{ср}) \cdot \Delta c_{топ} \cdot (T_{скор} + T_{закр})$	<p>$\Delta q(v_{ср})$ – удельный вес изменения расхода топлива, зависящая от скорости движения авт. ((15 км/ч → 60 км/ч)), у.е. топл/ч;</p> <p>$\Delta c_{топ}$ – средняя цена 1-го литра топлива, руб/л топл.</p>
$P_{аморт} = (T_{скор} + T_{закр}) \cdot \frac{\Delta c_{АТ}}{T_{аморт}}$	<p>$\Delta c_{АТ}$ – средняя стоимость авт., руб.;</p> <p>$T_{аморт}$ – среднее время амортизации авт., ч</p>
$P_{АТ} = \frac{n_{общ,ДТП}}{n_{общ}^{АТ}} \cdot N_{АТ} \cdot N_{ДТП}^{АТ} \cdot C_{ДТП}^{АТ}$ $P_{ЖТ} = \frac{n_{общ,ДТП}}{n_{общ}^{ЖД}} \cdot N_{ЖТ} \cdot C_{ДТП}^{ЖТ}$ $P_{ПС} = \frac{n_{общ,ДТП}}{n_{общ}^{АТ}} \cdot N_{АТ} \cdot N_{ДТП}^{ПС} \cdot C_{ДТП}^{ПС}$ $P_{ГБ} = \frac{n_{общ,ДТП}}{n_{общ}^{АТ}} \cdot N_{АТ} \cdot N_{ДТП}^{ГБ} \cdot C_{ДТП}^{ГБ}$	<p>$n_{общ,ДТП}$ – кол-во ДТП на всех ж.-д. переездах, ДТП/сут;</p> <p>$n_{общ}^{ЖД}$ – кол-во ж.-д. переездов в РФ;</p> <p>$C_{ДТП}^{ЖТ}$ – потери ж.-д. транспорта от одного ДТП, руб.;</p> <p>$n_{общ}^{АТ}$ – интенсивность движения авт. на переездах по РФ, авт/сут;</p> <p>$N_{ДТП}^{АТ}$ – кол-во поврежденных авт. от одного ДТП, авт/ДТП;</p> <p>$C_{ДТП}^{АТ}$ – потери авт. от одного ДТП на переезде, руб.;</p> <p>$N_{ДТП}^{ПС}$ – кол-во раненых от одного ДТП на переездах, чел/ДТП;</p> <p>$C_{ДТП}^{ПС}$ – потери общества на одного раненого человека при ДТП, руб.;</p> <p>$N_{ДТП}^{ГБ}$ – кол-во погибших людей от одного ДТП на переездах, чел.;</p> <p>$C_{ДТП}^{ГБ}$ – потери общества на 1-го погибшего чел. при ДТП, руб.</p>
$P_{пас} = \sum_{i=1}^k (T_{скор} + T_{закр}) \cdot N_{пас}^i \cdot \Delta C_{пас} \cdot 265$ $\Delta C_{пас} = \frac{ВВП}{365 \cdot 24 \cdot N}$	<p>$N_{пас}^i$ – среднее кол-во пассажиров в одном авт., пас.;</p> <p>$\Delta C_{пас}$ – стоимостная оценка времени, руб/пас-ч;</p> <p>265 – кол-во рабочих дней в году;</p> <p>$N_{АТ}$ – размеры движения авт., авт/сут;</p> <p>S – средняя длина участка зоны ж.-д. переезда, км;</p> <p>V_0 – скорость движения авт. в зоне ж.-д. переезда, км/ч;</p> <p>V_1 – скорость движения авт. средств по путепроводу, км/ч;</p> <p>$N_{ЖТ}$ – размеры движения ж.-д. транспорта, поезд/сут;</p> <p>$t_{закр}$ – среднее время одного закрытия ж.-д. переезда, ч;</p> <p>ВВП – показатель годового валового регионального продукта на период расчетов;</p> <p>N – численность экономически активного населения рассматриваемого региона, чел.</p>
$P_{эж} = \Delta q(v_{ср}) \cdot \Delta c_{экол} \cdot (T_{скор} + T_{закр})$	<p>$\Delta c_{экол}$ – выплаты за загрязнение окружающей природной среды от сжигания топлива, руб/у.е. топл.</p>

Результаты имитационного моделирования позволили произвести расчет социально-экономических потерь в зависимости от интенсивности движения транспортных средств на одноуровневых ЖАПТС и технологических параметров переезда (рисунок 13).

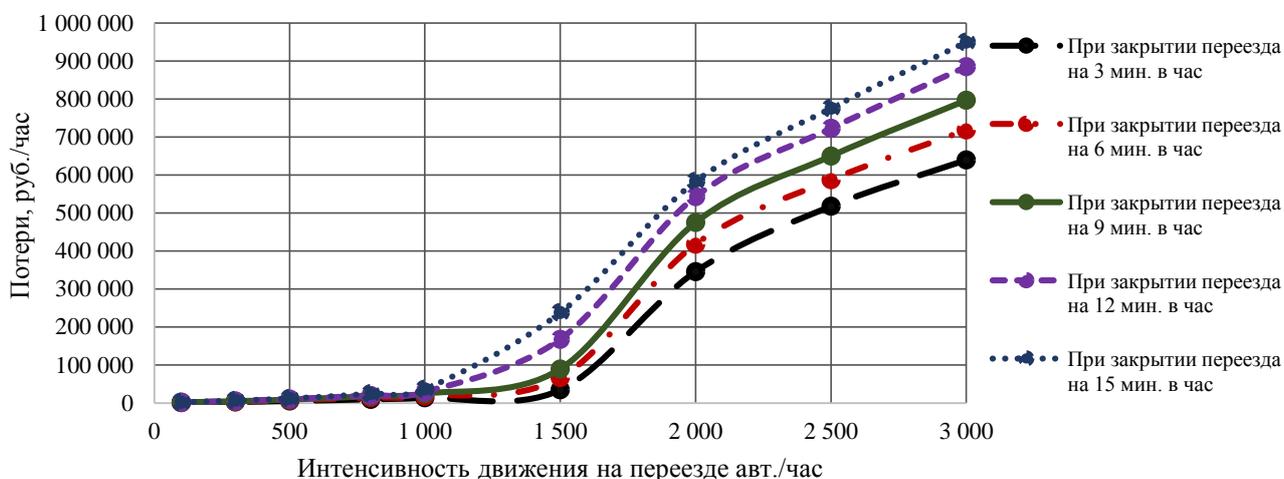


Рисунок 13 – Зависимость социально-экономических потерь на железнодорожных переездах при 2-х полосах автомобильной дороги и 3-х железнодорожных путях

Представленный экспресс-метод оценки социально-экономических потерь на переезде может быть использован в различных ЖАПТС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследований работы позволяют сделать ряд выводов.

1 Рассмотрены подсистемы и структурные элементы городской транспортной системы, формирующие УТС, их организация и взаимодействие в обеспечении перевозок грузов и пассажиров, формировании параметров мобильности населения, доступности городской среды. Проанализировано современное состояние одноуровневых ЖАПТС, выделены основные проблемы функционирования автомобильного и железнодорожного транспорта на одноуровневых пересечениях. Показана необходимость использования транспортного моделирования при разработке мероприятий по решению транспортных проблем в ЖАПТС и принятии научно обоснованных решений по их реализации.

2 Выявлены основные причины возникновения дорожно-транспортных происшествий на ЖАПТС и виды социально-экономических потерь общества и государства. Проведен регрессионный анализ статистики ДТП на одноуровневых ЖАПТС. Исследованы методы контроля управления движением на железнодорожных переездах. Описаны современные цифровые технологии, используемые для обеспечения безопасности движения в ЖАПТС.

3 Проведен вариантный анализ представления объектных моделей с разной целевой установкой в задачах оптимального управления городской транспортной системой. Построена декомпозиция предметной области, которая позволяет сократить сроки создания новых имитационных моделей для решения транспортных проблем.

4 Проведен анализ железнодорожных переездов Северо-Кавказской железной дороги, подлежащих замене на автодорожный путепровод. По результатам анализа выявлены основные параметры железнодорожного переезда, влияющие на технические показатели дорожного движения. С помощью имитационного моделирования в программе PTV Vissim построены модели железнодорожных переездов с различными параметрами. По результатам имитационного моделирования построены эмпирические зависимости потерь времени автомобильного транспорта, приведены графики и функции изменения пропускной способности железнодорожного переезда в зависимости от параметров переезда. Проведен анализ по комбинированной имитационно-аналитической методике расчетов характеристик движения на ЖАПТС.

5 Предложены методы оценки основных социально-экономических потерь в зависимости от интенсивности движения транспортных средств на железнодорожных переездах. Определены виды социально-экономических потерь, возникающих на одноуровневых пересечениях автомобильного и железнодорожного транспорта. Разработана математическая модель оценки социально-экономических потерь, возникающих на железнодорожном переезде, позволяющая произвести экспресс-расчет влияния задержки автотранспортных средств на переезде в зависимости от выбранных доминантных факторов. Представлена методика расчета потерь с указанием эмпирической базы для расчетов, включающей федеральные и региональные данные статистики, данные предприятий и организаций по регулированию дорожного движения на УДС и перевозочного процесса на железнодорожном транспорте. Результаты имитационного моделирования позволили произвести расчет социально-экономических потерь в зависимости от интенсивности движения на переезде и технологических параметров переезда. Предложенный метод оценки социально-экономических потерь на переезде может быть использован на различных ЖАПТС.

Рекомендации и перспективы дальнейших исследований по теме

Выполненные в диссертационной работе теоретические и методические исследования могут послужить научной основой для разработки вопросов организации и развития узлов транспортной сети с разными видами транспорта, с локализацией проблем по типизированным видам узлов транспортной сети в транспортной системе Российской Федерации. Практическое применение полученных эмпирических зависимостей может послужить методической базой в расчетах комплексных систем организации дорожного движения населенных пунктов с ЖАПТС.

Основное содержание диссертации отражено в следующих публикациях:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК, и в международных базах данных:

1 **Хашев, А. И.** Технология расчета потерь на железнодорожных переездах / А. И. Хашев // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2020. – № 1 (77). – С. 137–144. – ISSN 0201-727X.

2 **Хашев, А. И.** Одноуровневые железнодорожно-автомобильные пересечения: технологический и экономический аспект / А. И. Хашев // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2019. – № 1. – С. 93–99. – ISSN 0201-727X.

3 Imitation and analytical approaches to assessment of condition and modeling of city transport system nodes / E. A. Mamaev, N. A. Kovaleva, A. I. Khashev, O. V. Mulenko // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 786, International Scientific Conference Interstroyemeh – 2019. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/786/1/012086>.

4 **Мамаев, Э. А.** Объектная модель городской транспортной системы в оптимальном управлении / Э.А. Мамаев, А. И. Хашев // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 2. – URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_97_Mamaev_Khashev.pdf_e5fbc75ee5.pdf.

Публикации в журналах и научных сборниках:

5 **Хашев, А. И.** Программа расчета потерь на железнодорожном переезде / А. И. Хашев // 4-я Международная научно-практическая конференция «Транспорт и логистика: пространственно-технологическая синергия развития». – Ростов-на-Дону, 2020. – С. 325–328.

6 **Хашев, А. И.** Использование цифровых технологий для обеспечения безопасности и управления движением в узлах транспортной сети / А. И. Хашев // 2-я Международная научно-практическая конференция «Цифровая трансформация в экономике транспортного комплекса. Развитие цифровых экосистем: наука, практика, образование». – Москва, 2019. – С. 352–355. – ISBN 978-5-7876-0290-6.

7 **Мамаев, Э. А.** Комбинированные методы имитационно-аналитического моделирования узлов транспортной сети / Э. А. Мамаев, А. И. Хашев // Международная научно-практическая конференция «Транспорт России: проблемы и перспективы – 2019». – Санкт-Петербург, 2019. – С. 59–64.

8 **Хашев, А. И.** Экономика безопасности на железнодорожных переездах / А. И. Хашев // Третья Всероссийская национальная научно-практическая конференция «Экономико-правовые механизмы обеспечения национальной безопасности». – Ростов-на-Дону, 2019. – С. 159–162. – ISBN 978-5-88814-997-3.

9 **Хашев, А. И.** Оценка потерь времени транспортных средств на железнодорожном переезде / А. И. Хашев // Международная научно-практическая конференция «Транспорт: наука, образование, производство» («Транспорт-2019»). – Ростов-на-Дону, 2019. – С. 269–272. – ISBN 978-5-88814-987-4.

10 **Хашев, А. И.** Социально-экономические потери от дорожно-транспортных происшествий на железнодорожных переездах / А. И. Хашев // Третья Международная научно-практическая конференция «Транспорт и логистика: стратегические приоритеты, технологические платформы и решения в глобализованной цифровой экономике». – Ростов-на-Дону, 2019. – С. 443–447. – ISBN 978-5-88814-817-4.

11 **Хашев, А. И.** Взаимодействие функциональных подсистем городских транспортных систем / А. И. Хашев // Международная научно-практическая конференция «Транспорт: наука, образование, производство» («Транспорт-2018»). – Ростов-на-Дону, 2018. – Т. 1. – С. 88–91. – ISBN 978-5-88814-810-5.

12 **Хашев, А. И.** Интермодальные транспортные технологии перевозок пассажиров в г. Ростове-на-Дону / А. И. Хашев, Н. К. Бартновский // Всероссийская национальная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы и перспективы развития транспорта, промышленности и экономики России» («ТрансПромЭк-2018»). – Ростов-на-Дону, 2018. – С. 288–291. – ISBN 978-5-88814-749-8.

13 **Хашев, А. И.** Анализ и пути решения транспортных заторов на улично-дорожной сети г. Ростова-на-Дону / А. И. Хашев, Н. С. Хадукаев // 2-я Международная научно-практическая конференция «Транспорт и логистика: инновационное развитие в условиях глобализации технологических и экономических связей». – Ростов-на-Дону, 2018. – С. 122–125. – ISBN 978-5-88814-772-6.

14 **Мамаев, Э. А.** Моделирование транспортных систем: выбор системы поддержки принятия решений / Э. А. Мамаев, А. И. Хашев // Международная научно-практическая конференция «Транспорт и логистика: инновационное развитие в условиях глобализации технологических и экономических связей». – Ростов-на-Дону, 2017. – С. 172–176. – ISBN 978-5-88814-521-0.

15 **Хашев, А. И.** Технологические проблемы моделирования разноуровневых железнодорожно-автомобильных перевозок в логистике / А. И. Хашев, Д. А. Зорин // Международная научно-практическая конференция «Транспорт: наука, образование, производство» («Транспорт-2017»). – Ростов-на-Дону, 2017. – Т. 4. – С. 234–237. – ISBN 978-5-88814-533-3.

16 **Хашев, А. И.** Мультимодальная городская пассажирская транспортная система / А. И. Хашев, Н. А. Ковалева // Международная научно-практическая конференция «Транспорт: наука, образование, производство» («Транспорт-2017»). – Ростов-на-Дону, 2017. – Т. 4. – С. 228–231. – ISBN 978-5-88814-533-3.

17 **Хашев, А. И.** Имитационное моделирование в исследовании транспортных систем / А. И. Хашев // Международная научная конференция «Механика и трибология транспортных систем» (МехТрибоТранс-2016). – Ростов-на-Дону, 2016. – Т. 1. – С. 65–69. – ISBN 978-5-88814-458-9.

18 **Хашев, А. И.** Использование имитационного моделирования в логистических системах / А. И. Хашев // Международная научно-практическая конференция «Транспорт-2016». – Ростов-на-Дону, 2016. – С. 283–287. – ISBN 978-5-88814-458-9.

19 **Хашев, А. И.** Имитационное моделирование в логистике с использованием ANYLOGIC / А. И. Хашев // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения, Научно-технический журнал. – 2015. – № 4(33). – С. 125–129. – ISSN 1818-5509.

Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ:

20 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020617524. Программа оценки социально-экономических потерь на железнодорожных перевозках / А.И. Хашев, Э.А. Мамаев. – Заявка № 2020616420. Дата поступления 22 июня 2020 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 08 июля 2020 г.

Личный вклад соискателя. Основные положения и результаты исследований получены автором самостоятельно. В работах с соавторами личный вклад соискателя заключается в следующем: в работах [4, 20] проведена декомпозиция предметной области транспортной модели дорожного движения и разработан алгоритм реализации модели и программное обеспечение; в работах [3, 7, 14, 16] построены имитационные и аналитические модели ЖАПТС, проведены численные расчеты; в работах [12, 13, 15] выявление транспортных проблем в организации движения, предложение мероприятий по их устранению в УТС.

Хашев Аскер Измуудинович

РАЗВИТИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНО-АВТОМОБИЛЬНЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ В ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАННОГО ИМИТАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Подписано в печать 13.10.2021. Формат 60×84/16.

Усл. печ. л. 1,39. Тираж 100 экз. Заказ 10982.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Ростовский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВО РГУПС)

Адрес университета: 344038, г. Ростов н/Д, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2, www.rgups.ru