

На правах рукописи

Ковалева Наталья Александровна

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ
ГОРОДСКИХ ПАССАЖИРСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ**

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

2015

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Мамаев Энвер Агапашаевич

Официальные оппоненты: **Кочерга Виктор Григорьевич** –
доктор технических наук,
директор по региональному развитию
ОАО «ГИПРОДОРНИИ»

Ларин Олег Николаевич –
доктор технических наук, профессор,
ведущий научный сотрудник
Российского института
стратегических исследований
(ФГНБУ РИСИ)

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Уральский
государственный университет
путей сообщения»

Защита состоится 21 декабря 2015 г. в 12-00 ч на заседании диссертационного совета Д 218.010.01 в Ростовском государственном университете путей сообщения по адресу: 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2, конференц-зал.

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

Автореферат разослан « » октября 2015 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук,
профессор

Соломин Владимир Александрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Городская пассажирская транспортная система предполагает взаимодействие различных видов транспорта в процессе оказания услуг по перевозке населения, имеет важное экономическое и социальное значение и должна качественно и эффективно обеспечивать население транспортными услугами. В современных условиях развития рыночной экономики и децентрализации управления элементами транспортной системы большое значение имеет создание единой городской пассажирской транспортной системы, которая предполагает интеграцию всех участников перевозочного процесса.

Изменение ритма жизни населения крупных городов, рост мобильности населения, интенсивное развитие городских агломераций, увеличение дальности поездки пассажиров стали причиной того, что в качестве одного из главных критериев выбора способа перемещения на первый план выдвигается скорость сообщения. Возникает необходимость пересмотра существующей концепции развития городской транспортной системы.

В этих условиях повышается актуальность вопросов создания комплексной и адаптивной модели на всем пространстве организации движения, учитывающей оптимальное использование всех имеющихся ресурсов.

Степень разработанности темы исследования. Исследования в области функционирования городской транспортной системы, ее оптимизации и развития, взаимодействия подсистем и элементов, поиска оптимальных параметров организации движения проводились различными отечественными организациями (НИИПИ Генплана Москвы, ОАО ГИПРОДОРНИИ и др.), отраслевыми вузами (МАДИ, ТГАСУ, ПГУПС, РГУПС, РГСУ (РИСИ), МГУПС (МИИТ), УрГУПС, Саратовский ГТУ, ИПТ РАН и др.), а их результаты представлены в трудах ведущих ученых. Вопросам изучения оптимизации потоков общественного транспорта посвящены работы М.Е. Корягина, И.Н. Пугачева, Х.Ю. Эльдарханова, С.В. Федорова. В области организации и управления системой городского пассажирского транспорта проводили исследования Н.О. Блудян, В.М. Власов, А.В. Гузенко, М.П. Поздняков, И.В. Спирин. Сфере развития интеллектуальных транспортных систем посвятили труды С.В. Жанказиев, В.Г. Кочерга. Развитию методов и методологий формирования систем городского общественного транспорта в различных условиях уделяли внимание Д.А. Брусянин, В.Д. Герами, А.А. Кажаяев, Л.Б. Миротин, Г.Н. Плахов, В.М. Сай. Изучение транспортных систем городов и регионов было предметом исследований С.А. Ваксмана, В.Р. Вучика, Вл.Вас. Зырянова, Вас.Вл. Зырянова, О.Н. Ларина, Э.А. Мамаева, Э.А. Сафронова, А.В. Шабанова. Работы А.А. Моисеенко, Т.В. Рязанцева, В.Т. Семенова, С.Г. Шеина, Н.Э. Штомпеля, В.А. Федорова, М.Р. Якимова посвящены развитию транспортных систем в условиях формирования городских агломераций, урбанизации населения и образования мегаполисов.

Теоретико-прикладные исследования ученых оказали значительное влияние на развитие пространственно-технологических процессов городской пассажирской транспортной системы.

Объектом исследования является система городского пассажирского транспорта как элемент транспортной системы города и региона в целом.

Предмет исследования – пространственно-технологическое состояние и методическое обеспечение эффективного взаимодействия существующих видов транспорта в системе городского пассажирского транспорта.

Цели и задачи исследования. Целью диссертационного исследования является пространственно-технологическое развитие городской пассажирской транспортной системы крупного города.

Для достижения цели в работе были поставлены следующие задачи:

- провести анализ функционирования и развития городских пассажирских транспортных систем, определить основные траектории их развития с учетом пространственных и социально-экономических факторов;
- определить зависимость устойчивости развития города и региона от уровня развития городской пассажирской транспортной системы и организации движения пассажирского транспорта;
- рассмотреть место железнодорожного транспорта и пригородно-городских пассажирских перевозок в системе городского транспорта;
- разработать математическую модель определения графика движения городского электропоезда с учетом динамики пассажиропотоков на остановочных площадках мегаполиса;
- определить алгоритмы совершенствования городского пассажирского транспорта путем внедрения в маршрутную сеть маршрутов, работающих в режиме «экспресс»;
- разработать модель экономической оценки эффективности функционирования городской транспортной системы в зависимости от скорости движения транспорта.

Методология и методы диссертационного исследования. Теоретико-методологической основой исследования явились научные труды отечественных и зарубежных ученых в области оптимизации городской пассажирской транспортной системы. 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 Целевые индикаторы функционирования городской пассажирской транспортной системы определяются на основе ее текущего пространственно-технологического развития и отличаются для разных городов.
- 2 Требования к качеству работы городской пассажирской транспортной системы являются универсальными и ориентированы на повышение качества жизни в городской среде.

3 Генезис развития городской пассажирской транспортной системы требует использования существующей транспортной инфраструктуры внеуличного (железнодорожного) транспорта, имеющей высокую пропускную способность, для «сглаживания» пиковых пассажиропотоков мегаполиса. При этом привлечение внеуличного транспорта может иметь ограниченный по времени характер действия.

4 Экономические механизмы регулирования городского пассажирского транспорта должны быть инвариантны по отношению к перевозке, что требует организации мультимодальных и интермодальных перевозок, скоростных маршрутов в автобусных сообщениях.

5 Оценка эффективности функционирования городской транспортной системы должна иметь вариативность как по сложности измерения и оценки, так и по глубине рассматриваемых вопросов. При этом одним из доминантных индикаторов эффективности ее организации является скорость движения транспортных средств, через которую следует ее оценивать.

Степень достоверности. Достоверность основных положений, выводов и рекомендаций исследования обеспечена проведением необходимого объема натурных исследований, применением известных методов математической статистики при обработке результатов, а также использованием официальных федеральных и региональных баз данных статистики.

Научная новизна:

1 Алгоритм реализации внутригородских железнодорожных перевозок пассажиров, обеспечивающий съём пассажиропотока с других видов городского пассажирского транспорта в часы пик.

2 Развитие методики совершенствования маршрутной сети пассажирского транспорта, включающей организацию маршрутов скоростного сообщения с учетом интенсивности пассажиропотока.

3 Построение математической модели и алгоритма расчета эффективности организации городской транспортной системы, учитывающей скорость движения транспортных средств.

4 Предложена математическая модель определения оптимальной нитки в графике движения поездов для включения в расписание городского электропоезда.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в разработке моделей и рекомендаций по совершенствованию городской пассажирской транспортной системы в мегаполисе, отвечающей интересам пассажиров, в условиях ограниченности ресурсов и использовании разработанных предложений и мероприятий в развитии городской транспортной системы.

Результаты исследования были использованы при подготовке научно-исследовательских отчетов по темам: «Развитие внутригородских железнодорожных перевозок пассажиров в Ростовской агломерации (проект “Городская электричка”): ОАО «Северо-Кавказская пригородная пассажирская компания», № 507 от 12.03.2012, «Проведение обследования целей поездок легкового и грузового автотранспорта на улично-дорожной сети г. Ростова-на-

Дону»: ОАО «Метротранс», № 236 от 12.10.2009. Имеются акты внедрения результатов исследования.

Апробация результатов исследования

Основные положения и выводы работы, а также прикладные рекомендации докладывались автором и обсуждались на международных, всероссийских, региональных межвузовских и вузовских научно-практических конференциях и семинарах: «Наука и образование транспорту» (Самара, 2009 г.); «Инфраструктура рынка: проблемы и перспективы» (Ростов-на-Дону, 2011 г.); «Актуальные вопросы развития современного общества» (Курск, 2011 г.); «Маркетинг і логістика в системі менеджменту пасажирських перевезень на залізничному транспорті» (Донецк, 2011, 2014 г.); «Перспективы развития и эффективность функционирования транспортного комплекса Юга России» (Ростов-на-Дону, 2015 г.); «Транспорт-2010», «Транспорт-2011», «Транспорт-2012», «Транспорт-2013» «Транспорт-2014» «Транспорт-2015» (Ростов-на-Дону).

Результаты диссертационного исследования используются в работе Северо-Кавказской пригородной пассажирской компании, а также в учебном процессе ФГБОУ ВПО «Ростовский государственный университет путей сообщения».

Публикации. Основное содержание диссертации и результаты исследования опубликованы в 18 научных работах общим объемом 23,9 п.л. (авторских – 8,1 п.л.), в том числе 3 статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, и 2 монографии.

Структура и объем работы определены целью и задачами, поставленными и решенными в ходе исследования. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка, включающего в себя 138 наименований, и приложений. Работа изложена на 140 страницах основного текста, содержит 36 рисунков, 14 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, предмет и объект, теоретическая и методологическая основа, научная новизна и практическая значимость работы, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В **первой главе «Городская пассажирская транспортная система в современных пространственно-экономических условиях функционирования»** сформулированы основные понятия и определения, которые используются в работе. Под *городским пассажирским транспортом* (ГПТ) подразумеваются различные виды транспорта, применяемые в процессе внутригородского перемещения населения с различными целями; под *городской пассажирской транспортной системой* (ГПТС) – совокупность транспортных коммуникаций всех видов (дорожно-транспортная инфраструктура, инженерные сооружения), а также взаимодействие всех видов транспорта и участников перевозочного процесса, включая пасса-

жиров, транспортные предприятия, систему управления городом. ГПТС сама является частью, или подсистемой, системы градообразования. Для нормального функционирования ГПТС, с одной стороны, необходимо учитывать градообразующие функции города, расселение населения, а с другой – необходимо четко определить место ГПТ в системе функциональных взаимосвязей, сложившихся в том или ином регионе. Авторское видение влияния внешних и внутренних факторов на работу городской пассажирской транспортной системы (ГПТС) представлено на рис. 1.

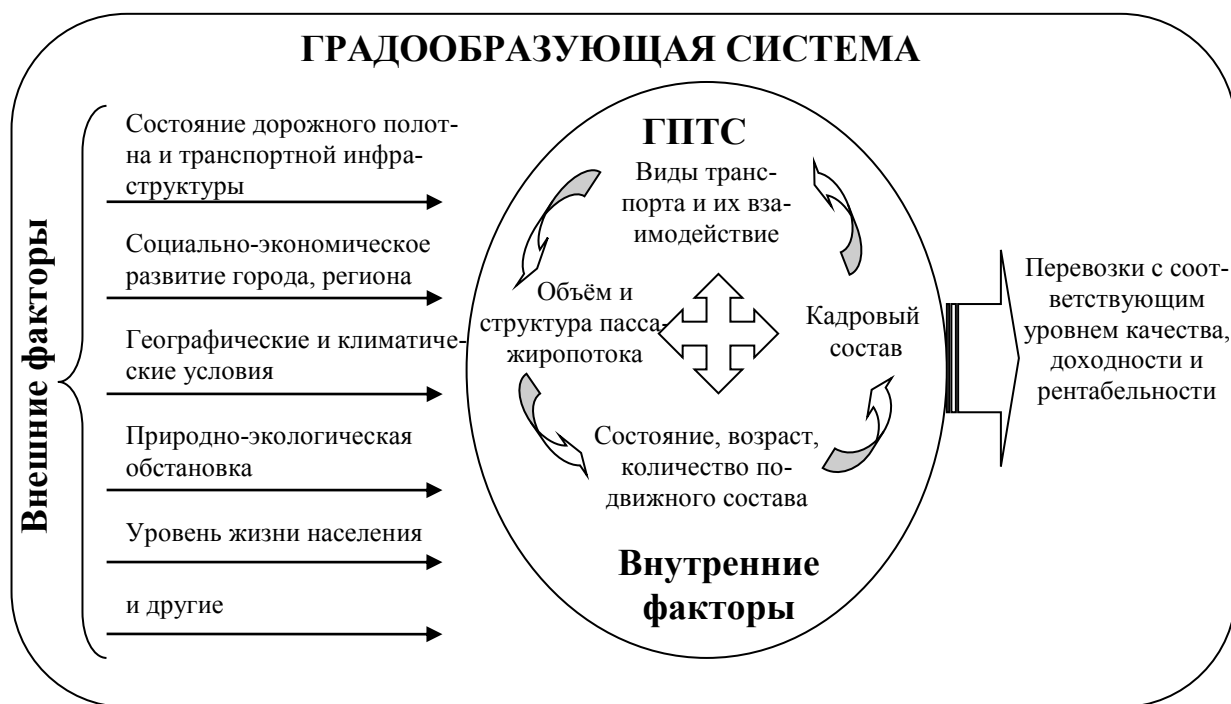


Рисунок 1 – Влияние внешних и внутренних факторов на работу ГПТС

Рассмотрена роль транспорта в формировании уровня жизни и степень влияния развития транспортной системы на условия жизнедеятельности населения, определяемая *индексом устойчивого развития* (ИУР), который включает систему показателей оценки, таких как экономическое развитие, городская инфраструктура, демография и население, социальная инфраструктура, экология. Среди городов-мегаполисов с численностью населения более 1000 тыс. человек (рис. 2) города-лидеры: Москва, Екатеринбург, Санкт-Петербург. Город Ростов-на-Дону находился на 5-м месте в 2012 г. (0,545) и на 9-м месте в 2013 г. (0,499).

Стоит отметить, что ИУР в России не превышает 0,7 даже в развитых городах страны. Транспортная составляющая напрямую или косвенно воздействует на ИУР. Уровень развития зависит от объема и качества оказания услуг населению в перемещении с различными целями, при этом повышение экономической активности невозможно без оптимизации транспортной сети городов, городских агломераций, регионов и создания сбалансированной системы функционирования общественного транспорта, причем в последнее

время остро стоит вопрос о повышении привлекательности общественных перевозок с целью переориентации населения, так как дальнейший рост личного автомобильного транспорта зачастую невозможно регулировать, и власти городов предпринимают ряд ограничений.

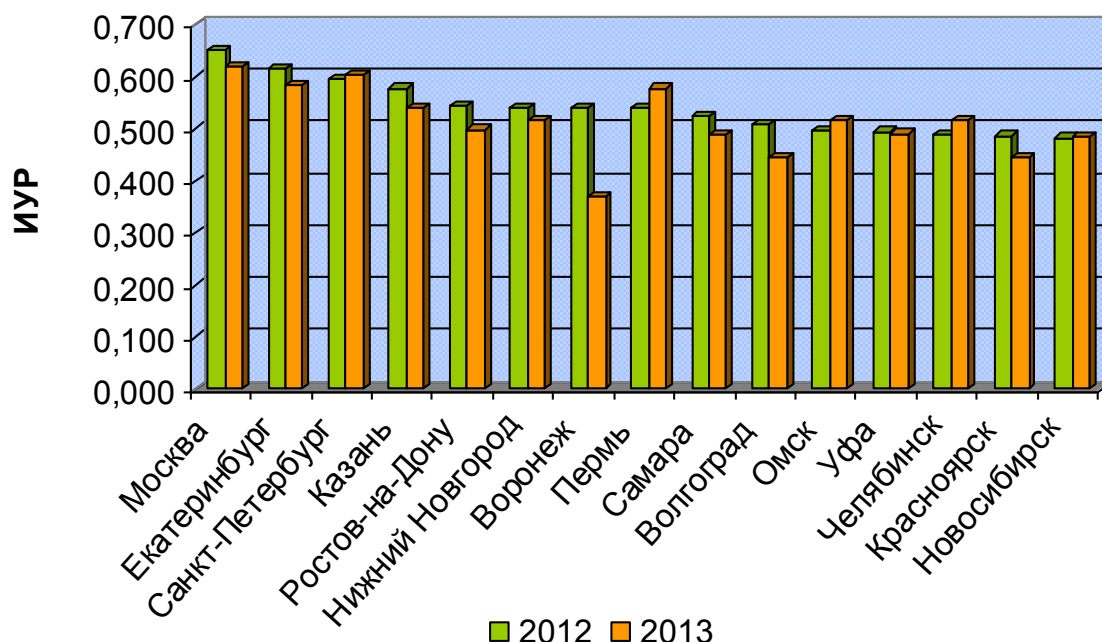


Рисунок 2 – ИУР в городах Российской Федерации с численностью населения более 1 000 тыс. человек

Произведен анализ существующих видов городского пассажирского транспорта (рис. 3). Городской наземный пассажирский транспорт (ГПТ) включающий в себя трамваи, троллейбусы, автобусы большой вместимости (АБВ), автобусы малой вместимости (АМВ), метрополитен, скоростные трамваи и другие альтернативные виды транспорта, осуществляет перевозки по определенным маршрутам согласно установленному расписанию движения. Рост численности населения городов неизбежно ведет к увеличению транспортной подвижности населения, увеличению нагрузки на улично-дорожную сеть (УДС). При этом зачастую сохранение трамвайных линий происходит только в центральных районах городов – в среднем около 70 км, а основная нагрузка приходится на городской пассажирский автомобильный транспорт. Строительство метрополитенов и использование существующих железнодорожных линий является решением таких проблем, как связь периферийных районов (в основном жилых массивов, промышленных зон) с центральной (деловой) частью городов.

Преимущества железнодорожного транспорта делают его универсальным и для перевозки пассажиров как в пригородном, местном и дальнем сообщениях, так и в системе городского пассажирского транспорта. Организация железнодорожных перевозок в черте города позволяет решить ряд задач ГПТС (рис. 4).

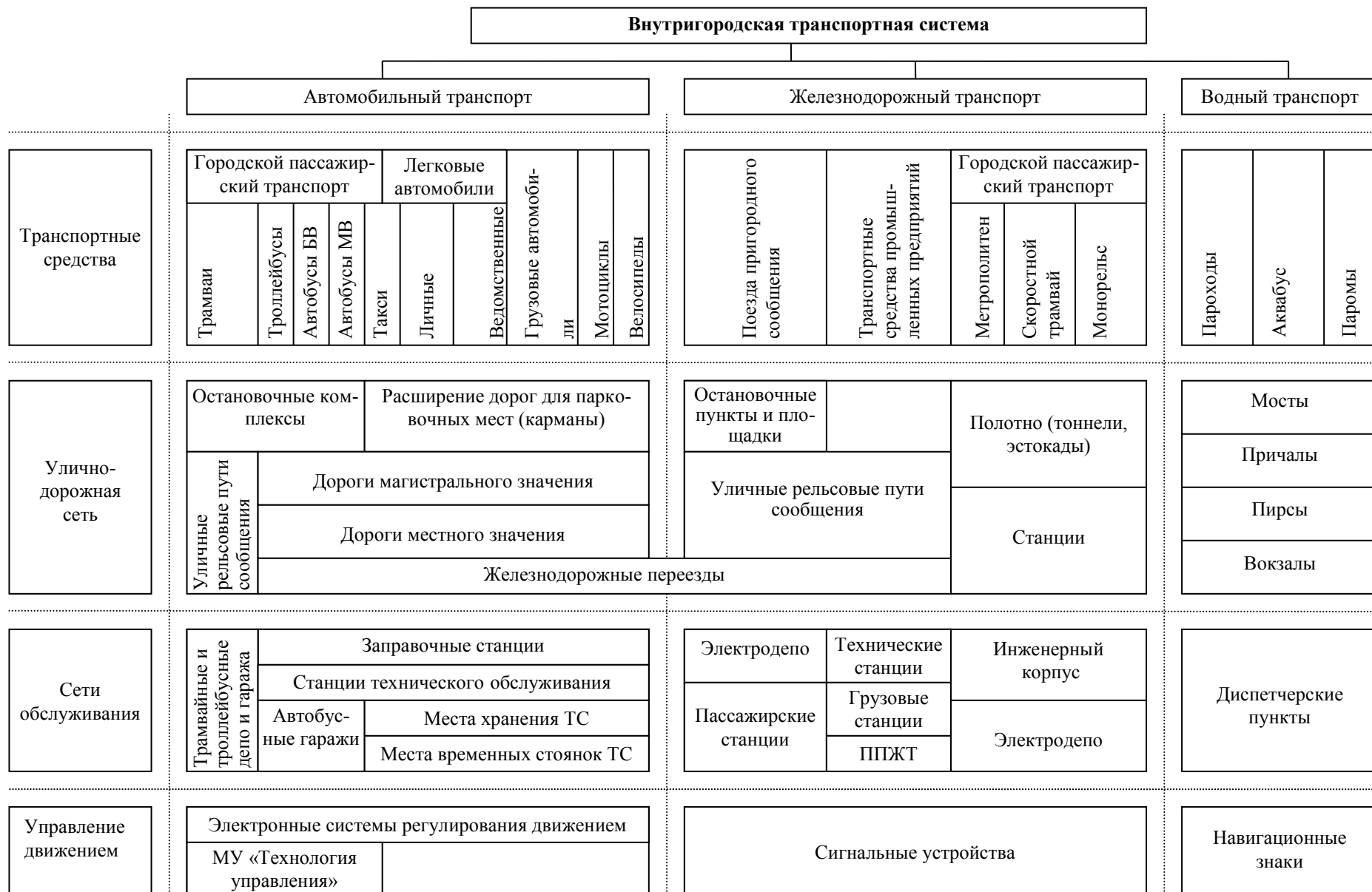


Рисунок 3 – Внутригородская транспортная система и ее структурные элементы



Рисунок 4 – Преимущества железнодорожного транспорта в системе ГПТС

Развитие внутригородских железнодорожных перевозок пассажиров обусловлено необходимостью увеличения доходности пассажирских перевозок, устранения диспропорции между темпами развития транспортной инфраструктуры и жилого, общественного, промышленного и других видов строительства, снижения нагрузки на городскую автодорожную сеть в рамках разработки проектов «Городская электричка» для таких городов, как Москва, Екатеринбург, Ростов-на-Дону и др.

Проведенное исследование городских пассажирских транспортных систем и методологических основ развития и взаимодействия видов транспорта позволило определить вектор развития, методы оценки и оптимизации ГПТС.

Во второй главе «Методы и модели исследования и развития городских пассажирских транспортных систем» определены методологические подходы к исследованию и оптимизации городского пассажирского транспорта, основные направления его совершенствования – оптимизация инфраструктуры, маршрутной сети, использование новых, инновационных видов транспорта, развитие взаимодействия видов транспорта, технологий обслуживания и сервиса пассажиров, а также внедрение информационных систем управления. Обзор существующих подходов и методов для оптимизации ГПТС представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Обзор существующих подходов, методов и моделей оптимизации ГПТС

Методы, подходы, модели	Достоинства	Недостатки	Примеры использования
Системный анализ	Определяет участников системы; описывает взаимодействие участников перевозочного процесса и определяет роль каждого из них	Не проявляется гибкость систем; сложность описания в связи с большим числом элементов в ГПТС	Централизация управления ГПТС (государственное, с учетом разных форм собственности подвижного состава)
Методы теории графов	Простота представления и описания процессов в ГПТС	Алгоритмическая сложность моделей; сложность формализации оптимизационных задач	Анализ корреспонденций пассажиров по транспортной сети; моделирование транспортных потоков
Прогнозирование	Доступный и апробированный аппарат исследования; простота реализации и интерпретации результатов	Потребность в большом объеме достоверной ретроспективной информации; базируется на предположении об устойчивости процессов	Прогнозирование внутригородских пассажирских потоков; планирование развития транспортных систем городов
Метод экспертных оценок	Получение обобщенных оценок; конкретизация цели исследования; доступность и простота методики исследования	Сложность поиска компетентной экспертной группы; необходимость четкой проработки сценария; большой объем информации; противоречивость результатов	Конкурсный отбор перевозчика; сценарные экспертные прогнозы развития ГПС
Метод сравнений и аналогий	Простота реализации разработки модели; наглядность применения и использования результатов	Зависимость от эталона, влияющая на эффективность решения; большое число факторов для сопоставления	Перенос технологий перевозок и способов организации движения от одних городов к другим
Статистические методы	Учет сформированных трендов, инерционности процессов; простота обработки данных; возможность визуализации результатов	Большой объем первичной информации; зависимость от достоверности данных; невозможность использования для нестационарных процессов	Обследование пассажиропотока; данные оценки пассажиров о качестве предоставления транспортных услуг
Теория оптимального управления	Развитый теоретический и математический аппарат; точность формирования задач	Сложность формализации масштабных социально-экономических, транспортных проблем; потребность в достоверной информации	Оценка влияния ГПТС на социально-экономическое развитие, на экологию города

Проведенный сравнительный анализ подходов и методов оптимизации ГПТС позволяет сделать заключение о необходимости выбора адекватного аппарата математического моделирования транспортно-технологических процессов, отвечающего целям, статистической (эмпирической) базе, задачам исследования и принципам логистики. Установлено, что существующие методы и способы организации движения нуждаются в адаптации к современным условиям функционирования и взаимодействия транспорта – пространственно-технологический генезис требует разных механизмов реализации векторов развития ГПТС. Выявлено, что требования к качеству городской пассажирской

транспортной системе являются универсальными и отвечают ее глобальной цели – обеспечению качественной среды проживания населения города. Показатели работы ГПТС отражают степень ее развития и позволяют количественно оценить уровень ее работы. В работе дана классификация параметров качества обслуживания пассажиров, основные из которых безопасность, надежность, комфортабельность, информативность и квалификация персонала.

Используемые методы стратегического анализа ГПТС (PEST-анализ, SWOT-анализ) позволяют локализовать проблемную область исследования, отвечающую современным реалиям состояния объекта исследования. В результате комплексного анализа определены основные проблемы и сформулированы возможные пути их решения. Стоит отметить, что указанные проблемы характерны для большинства крупных городов. На сегодняшний день активно обсуждаются и внедряются следующие мероприятия:

- 1) поиск альтернативного использования уже существующих железных дорог, а также прокладка новых линий железнодорожного транспорта;
- 2) ввод ограничений движения личного автотранспорта в центре города (платные парковки, запрет въезда);
- 3) приоритетное развитие и использование общественного транспорта;
- 4) создание тарифных зон и зонированная оплата проезда на ГПТС (в том числе при интермодальной перевозке) и другие.

В третьей главе «Рационализация использования различных видов транспорта в пассажирской системе» определены схемы развития уличного и внеуличного транспорта, принципы проектирования маршрутных схем внеуличного транспорта – железнодорожных электропоездов в системе городского пассажирского транспорта. Внутригородской железнодорожный транспорт обладает высокой пропускной способностью.

Оценка эффективности внедрения нового маршрута включает факторы доходности, связанные с перевозками пассажиров, оказанием сопутствующих услуг пассажирам и получением иных доходов, связанных с публичностью организации работы пассажирского транспорта, например, от рекламы. Расходными статьями являются плата за пользование железнодорожной инфраструктурой, подвижным составом и издержки по организации перевозок. Реализация нового маршрута перевозок возможна, если выполняется условие:

$$\sum_{z=1}^Z d_z x_z + c^{\text{доп}} p \geq (1 + r_{\min}) \left(\sum_{z=1}^Z z_z x_z + p(3_{\text{и}} + 3_{\text{п}}) + 3^{\text{доп}} \right), \quad (1)$$

где d_z – тариф на перевозку пассажира в зоне z , $z = 1, 2, \dots, Z$; x_z – объем перевезенных пассажиров в зоне z ; $c^{\text{доп}}$ – дополнительные доходы на одну поездку по маршруту; p – число поездок по маршруту; $r_{\min}$ – минимальная норма рентабельности пассажирских перевозок; $3_{\text{и}}$ – плата за пользование инфраструктурой на одну поездку; $3_{\text{п}}$ – плата за пользование подвижным составом на одну поездку; $3^{\text{доп}}$ – затраты, связанные с предоставлением дополнительных услуг, на один рейс; z_z – затраты на организацию поездки одного пассажира в зоне z .

Увеличение (уменьшение) протяженности маршрута базируется на анализе изменения доходных и затратных частей показателей результативности маршрута. В частности, в условиях предыдущей постановки задачи изменению подвергаются составляющие Δx_z , $\Delta c^{\text{доп}}$, $\Delta Z^{\text{доп}}$, $\Delta Z_{\text{и}}$, $\Delta Z_{\text{п}}$, то есть изменение протяженности маршрута возможно при выполнении условия:

$$\sum_{z=1}^n d_z \Delta x_z + \Delta c^{\text{доп}} p \geq (1 + r_{\min}) \left(\sum_{z=1}^n z_z \Delta x_z + p(\Delta Z_{\text{и}} + \Delta Z_{\text{п}}) \right). \quad (2)$$

Организация интермодальных железнодорожно-автомобильных перевозок преследует цель получения результирующего положительного эффекта от реализации проекта. При этом доходные и затратные составляющие включают автомобильную составляющую поездки. Тогда пассажиропоток x_z складывается из:

$$x_z = x_z^{\text{ж}} + x_z^{\text{а}}, \quad (3)$$

где $x_z^{\text{ж}}$, $x_z^{\text{а}}$ – пассажиропоток, реализуемый железнодорожным и автомобильно-железнодорожным транспортом соответственно.

Приращения доходной и расходной частей в условии (2) следующие:

$$\Delta D = c_{\text{авт}} x_z^{\text{а}} + c_{\text{авт}}^{\text{доп}} x_z^{\text{а}}; \quad (4)$$

$$\Delta Z = z_{\text{авт}} x_z^{\text{а}} + z(x_z^{\text{а}}), \quad (5)$$

где $c_{\text{авт}}$ – тариф на перевозку автомобильным транспортом; $x_z^{\text{а}}$ – пассажиропоток, реализуемый автотранспортом; $c_{\text{авт}}^{\text{доп}}$ – дополнительные доходы, получаемые от организации пассажирских перевозок $x_z^{\text{а}}$; $z(x_z^{\text{а}})$ – затраты на организацию автомобильных перевозок, зависящие от объема пассажиропотока $x_z^{\text{а}}$.

Оптимизация остановочных площадок железнодорожного маршрута связана с обеспечением высокой скорости перемещения пассажиров и эффективного использования инфраструктуры и подвижного состава, в том числе за счет привлечения дополнительного пассажиропотока. Условием реализации новой схемы остановок является положительное сальдо между доходностью новой и старой схем. Планирование расписания городских электропоездов для обеспечения зарождающегося пассажиропотока на остановочных площадках осуществляется исходя из следующих двух критериев:

- минимизация времени ожидания транспортного средства пассажиром
- критерий, отражающий социальную ориентацию организации внутригородских электропоездов и качество перевозок;
- максимизация охвата пассажиров – экономический интерес предприятия, предоставляющего данную услугу.

Для определения оптимального расписания движения электропоезда используются следующие данные: $p(i, t)$ – пассажиропоток по i -й остановочной площадке в момент времени (интервал времени) t , $i = 1, 2, \dots, I$; J – число альтернативных вариантов ниток графика движения электропоезда в данном

маршруте; g_{ij} – время прохождения i -й остановочной площадки электропоезда по варианту нитки графика j , $j = 1, 2, \dots, J$.

Тогда для определения одной нитки графика для городского электропоезда можно воспользоваться критерием:

$$j_{opt} = \arg \max_j \sum_{i=1}^I p(i, t) f(g_{ij}, t), \quad (6)$$

где

$$f(g_{ij}, t) = \begin{cases} 1, & \text{если } 0 \leq (g_{ij} - t) \leq \Delta t, \\ 0, & \text{в остальных случаях} \end{cases}, \quad (7)$$

Δt – единичный интервал планирования движения электропоездов в графике движения.

Выбор электропоезда по (6) определяет и минимальное ожидание для пассажиров (7), и охват максимального пассажиропотока. Исходными данными для определения размеров движения поездов являются прогнозируемые пассажиропотоки в утренние и вечерние часы на момент начала реализации проекта, вместимость состава и тип графика.

На базе предложенной методики проведено технико-экономическое обоснование реализации проекта городского электропоезда на примере Ростовской агломерации. Анализ действующего графика движения поездов в пригородном железнодорожном сообщении, проходящих по территории города Ростова-на-Дону, показывает, что все маршруты концентрируются (зарождаются или погашаются) на одной станции – Ростов-Пригородный, то есть имеют радиальную схему, а внутригородская железнодорожная корреспонденция между районами отсутствует. Железнодорожная сеть имеет достаточную развитость в западной, южной и восточной частях города.

Одними из перспективных маршрутов являются маршрут «Пригородный вокзал – Гниловская – Ростов-Западный – Рабочий городок – Развилка – Рабочий городок – Пригородный вокзал» и маршрут «Батайск – Пригородный вокзал – Рабочий городок – Сельмаш – Зеленый остров – Батайск» (рис. 5), охватывающий жилые районы и промышленные зоны Западного жилого массива, Центрального района и Сельмаша.

В работе разработана модель реализации «экспресс-маршрутов», обеспечивающих достаточно высокую скорость доставки пассажиров в городском пассажирском транспорте (ГПТ).

Время нахождения транспортного средства в пути следования от начального до конечного пункта на маршруте M , включающее последовательность дуг со смежными вершинами $M = \{(i_1, i_2); (i_2, i_3); \dots (i_{M-1}, i_M)\}$, определяется по формуле:

$$T_M = \sum_{(i,j) \in M} T_{ij}(l_{ij}) + k \cdot T_i^{cp}, \quad (8)$$

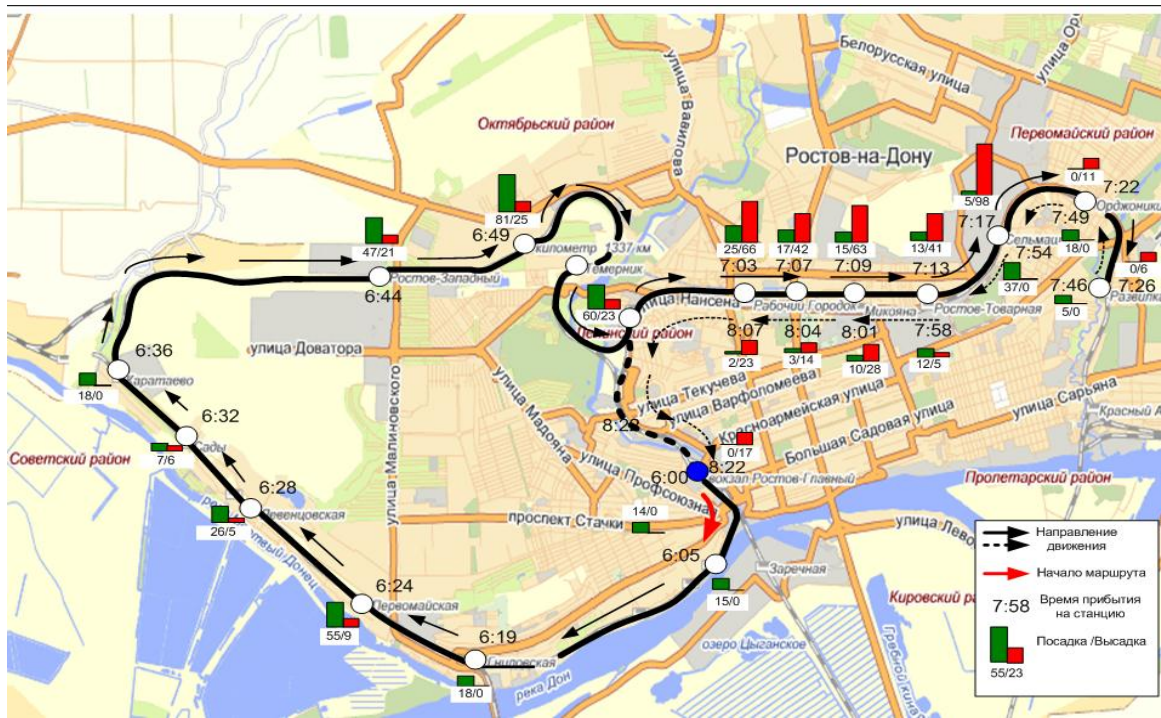


Рисунок 5 – Схема маршрута «Пригородный вокзал – Гниловская – Ростов-Западный – Рабочий городок – Развилка – Рабочий городок – Пригородный вокзал»

где $T_{ij}(l_{ij})$ – время, необходимое транспортному средству на преодоление расстояния l_{ij} ; l_{ij} – длина перегона (i,j) , $L = \sum_{(i,j) \in M} l_{ij}$ – протяженность маршрута M ; i, j – номера остановочных пунктов на маршруте; $(i,j) \in M$ – участок между двумя смежными пунктами маршрута M ; $k = |M|$ – количество промежуточных остановочных пунктов на маршруте; T_i^{cp} – среднее время, затрачиваемое на посадку и высадку пассажиров на промежуточном остановочном пункте маршрута.

$$T_i^{cp} = t_{p,z} + p_i \cdot t_{нас, выс} \quad (9)$$

где $t_{p,z}$ – время на разгон и замедление транспортного средства; $t_{нас, выс}$ – время стоянки транспортного средства на промежуточном остановочном пункте маршрута для посадки и высадки пассажиров.

На линейном маршруте с пунктами 1, 2, ... n и пассажиропотоком между пунктами (i,j) , равным P_{ij} , суммарные потери времени пассажиров при нахождении на транспорте составят:

$$T_{\Pi}^M = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n (T_{ож} + (j-i) \cdot T_i^{cp} + T_{ij}(l_{ij})) \cdot P_{ij}. \quad (10)$$

Сокращения времени нахождения пассажира в пути можно достичь за счет второго слагаемого – исключения промежуточных остановок – форми-

рованием «экспресс-маршрутов», которые будут останавливаться только на крупных пассажирообразующих пунктах.

Пусть из маршрута M с дугами $D_M = \{(1,2), (2,3), \dots, (n-1,n)\}$ исключаются промежуточные остановки, и формируется «экспресс-маршрут» $M_{\text{э}}$ с дугами $D_{M_{\text{э}}} = \{(i_0 = 1, i_1), (i_1, i_2), \dots, (i_{M_{\text{э}}}, i_n = n)\}$, $1 < i_k < n$, $|D_{M_{\text{э}}}| < |D_M|$.

Тогда время нахождения пассажира на маршруте составит:

$$T_{\Pi}^{M_{\text{э}}} = \sum_{(i_k, i_{k+1}) \in D_{M_{\text{э}}}} (T_{o.ж} + (i_{k+1} - i_k) \cdot T_i^{cp} + T_{i_k i_{k+1}}(l_{i_k i_{k+1}})) \cdot P_{i_k i_{k+1}}. \quad (11)$$

В результате движения «экспресс-маршрута» экономия времени транспортного средства $\Delta T_{mc}^{M_{\text{э}}}$ на маршруте составит:

$$\Delta T_{mc}^{M_{\text{э}}} = \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{i=i+1}^n (j-i) \cdot T_i^{cp} - \sum_{(i_k, i_{k+1}) \in D_M} (i_{k+1} - i_k) \cdot T_i^{cp}. \quad (12)$$

Естественно, что маршруты с организацией движения в режиме «экспресс» должны быть экономически обоснованы. Экономия от выделения «экспресс-маршрута» будет складываться из экономии времени пассажира в стоимостном выражении и увеличения доходов от эксплуатации транспортного средства. Пусть $C_{\text{пасс}}$ – стоимость единицы времени пассажира, $\Delta d_{\text{тс}}$ – чистый доход от эксплуатации транспортного средства в единицу времени. Пусть известны величины $P_{M_{\text{э}}}^{\min}$ и $P_{M_{\text{э}}}^{\max}$ – соответственно минимальная и максимальная загрузка «экспресс-маршрута» в пути следования; $P^{\text{пред}}$ – предельная вместимость транспортного средства «экспресс-маршрута» $M_{\text{э}}$. Тогда экономически целесообразный «экспресс-маршрут» $M_{\text{э}}$ будет определяться из решения задачи:

$$(T_{\Pi}^M - T_{\Pi}^{M_{\text{э}}}) \cdot \Delta C_{\text{пасс}} + \Delta d_{\text{тс}} \cdot \Delta T_{mc}^{M_{\text{э}}} \longrightarrow \min_{M_{\text{э}}} \quad (13)$$

при ограничениях:

$$P_{M_{\text{э}}}^{\min} \leq \sum_{(i,j) \in M_{\text{э}}} P_{ij} \leq P_{M_{\text{э}}}^{\max}; \quad (14)$$

$$\sum_{\substack{(i,j) \in M_{\text{э}} \\ i \leq i_k, j > i_k}} P_{ij} \leq P^{\text{пред}}, \text{ для всех } i_k \in M_{\text{э}}, \quad (15)$$

где $i \in M_{\text{э}}, j \in M_{\text{э}}, i_k \in M_{\text{э}}$ – вершины сети, по которым проходит «экспресс-маршрут».

Ограничение (14) – определяет пределы безубыточности организации «экспресс-маршрута», (15) – предельно допустимое число пассажиров в транспортном средстве по пунктам следования при условии использования пассажирами для поездки одного транспортного средства.

При прочих равных условиях фактическое число пассажиров «экспресс-маршрута» может только увеличиваться за счет пересадки пассажиров от подвозящих маршрутов к остановкам «экспресса». Предложен алгоритм фор-

мирования скоростных маршрутов городского транспорта – маршруты, работающие в режиме «экспресс», обеспечивающие перевозки пассажиров с минимальными временными затратами пассажира на поездку.

В четвертой главе «Экономические механизмы и методы развития ГПТС на примере города Ростова-на-Дону» показано, что одним из главных факторов оценки эффективности функционирования городской транспортной системы является скорость движения транспортных средств. Определены доминантные факторы, определяющие потери экономики и социального сектора от уменьшения скорости движения на УДС города:

- 1 Увеличение времени доставки грузов $\Delta P_{вр}$.
- 2 Увеличение расходов топлива и энергоресурсов в организации движения грузового и пассажирского транспорта $\Delta P_{топ}$.
- 3 Рост амортизации и износа транспортных средств $\Delta P_{амор}$.
- 4 Потери времени пассажиров в общественном и личном транспорте $\Delta P_{пасс}$.
- 5 Ухудшение состояния экологической среды $\Delta P_{экол}$.
- 6 Потери от ДТП на всех видах транспорта, зависящие от интенсивности движения $\Delta P_{дтп}$.

В таблице 2 приведены расчетные формулы потерь с детализацией их по вышеприведенным признакам.

Интегральные потери от изменения скорости движения в транспортной сети равны:

$$\Delta P = \Delta P_{вр} + \Delta P_{топ} + \Delta P_{амор} + \Delta P_{пасс} + \Delta P_{экол} + \Delta P_{дтп}.$$

Анализ официальной статистики и параметров для расчета потерь показывает реализуемость расчетных формул. Большинство параметров находятся в официальном обращении статистических органов разных уровней: G_t , $G_{ткм}$, Δc , $\Delta c_{гр}$, $S_{ср}$, Δc_q , G_n , $G_{пкм}$, $S_{ср}^{пасс}$ и др. Некоторые параметры могут быть получены экспертным способом либо натурными исследованиями для отдельных сегментов транспортного рынка.

Приведенная методика расчета потерь от изменения скорости движения может использоваться для разработки имитационных (ситуационных) моделей организации движения транспорта для мегаполисов, регионов и транспортной сети без привлечения развернутых натурных исследований и применения вычислительных (имитационных) моделей и экспериментов. При этом расчеты потерь можно производить как по отдельным факторам (вследствие отсутствия или неопределенности информации для расчетов по другим факторам), так и для всей транспортной системы.

Графическое представление интегральных потерь при изменении средней скорости движения на 1 км/ч для данных г. Ростова-на-Дону представлено на рисунке 6.

Таблица 2– Формулы расчета потерь от изменения скорости движения

Расчетная формула	Принятые обозначения
$\Delta P_{\text{вп}} = \frac{\Delta t}{t_1} G_{\text{т}} \Delta c_{\text{гр}} \frac{\Delta c}{100},$ $t_1 = \frac{S_{\text{ср}}}{v_{\text{ср}}^{\text{гр}}}, t_2 = \frac{S_{\text{ср}}}{v_{\text{ср}}^{\text{гр}} + \Delta v_{\text{ср}}},$ $G_{\text{ткм}} = G_{\text{т}} S_{\text{ср}}, \Delta t = t_2 - t_1$	$G_{\text{т}}$ – грузооборот (объем перевозок), т; $G_{\text{ткм}}$ – грузооборот, т-км; Δc – норма рентабельности единицы продукции, %; $\Delta c_{\text{гр}}$ – удельная стоимость груза, руб/т; $v_{\text{ср}}^{\text{гр}}$ – скорость движения грузового транспорта, км/ч; $\Delta v_{\text{ср}}$ – изменение скорости движения транспорта, км/ч; $S_{\text{ср}}$ – средняя дальность перевозки, км;
$\Delta P_{\text{топ}} = \frac{G_{\text{т}} \Delta t}{g_{\text{т}}} \Delta q(v_{\text{ср}}) \Delta c_{\text{топ}}$	$\Delta q(v_{\text{ср}})$ – удельный вес изменения расхода топлива, зависящий от скорости движения грузового транспорта, у.е. топ. на ч; $g_{\text{т}}$ – грузоемкость (грузоподъемность) транспортного средства, т; $\Delta c_{\text{топ}}$ – цена у.е. топлива, руб/у.е. топ.;
$\Delta P_{\text{амор}} = \frac{\Delta t}{t_1} \frac{G_{\text{т}}}{g_{\text{т}}} c_{\text{тс}}$	$c_{\text{тс}}$ – стоимость единицы транспортного средства, руб.;
$\Delta P_{\text{пасс}} = G_{\text{п}} \frac{S_{\text{ср}}^{\text{пасс}}}{\gamma_{\text{гр}}^{\text{пасс}} \Delta v_{\text{ср}}^{\text{гр}}} \Delta c_{\text{п}},$ $G_{\text{пкм}} = G_{\text{п}} S_{\text{ср}}^{\text{пасс}},$ $v_{\text{ср}}^{\text{пасс}} = \gamma_{\text{ср}}^{\text{пасс}} v_{\text{ср}}$	$G_{\text{п}}$ – объем перевозок пассажиров, пасс; $G_{\text{пкм}}$ – пассажирооборот, пасс-км; $S_{\text{ср}}^{\text{пасс}}$ – средняя дальность поездки пассажира, км; $\gamma_{\text{ср}}^{\text{пасс}}$ – коэффициент приведения скорости пассажирского транспорта от скорости грузового транспорта; $v_{\text{ср}}^{\text{пасс}}$ – скорость движения пассажирского транспорта, км/ч; $\Delta c_{\text{п}}$ – стоимость единицы времени пассажира, руб/пасс-час;
$\Delta P_{\text{эк}} = \frac{G_{\text{т}} \Delta t}{g_{\text{т}}} \Delta q(v_{\text{ср}}) \Delta c_{\text{экол}}$	$\Delta c_{\text{экол}}$ – выплаты за загрязнение окружающей среды от сжигания топлива, руб/у.е. топ.;
$\Delta P_{\text{дтп}} = \frac{v_{\text{ср}}}{v + \Delta v} D_{\text{дтп}} \Delta c_{\text{дтп}}$	$D_{\text{дтп}}$ – количество ДТП; $\Delta c_{\text{дтп}}$ – ущерб от одного ДТП, руб.

Принятые в расчетах значения исходных параметров: $G_{\text{т}} = 40,4$ млн т/год, $G_{\text{ткм}} = 323,2$ млн т-км/год, $g_{\text{т}} = 15$ т, $\Delta c_{\text{топ}} = 30$ руб/л, $c_{\text{тс}} = 2300$ тыс. руб., $\Delta c_{\text{п}} = 101,6$ руб. пасс/ч, $\Delta c_{\text{экол}} = 125$ руб/л, $\Delta c_{\text{дтп}} = 120$ тыс. руб., $\Delta c = 8\%$, $\Delta c_{\text{гр}} = 13203$ руб/т, $S_{\text{ср}} = 16$ км, $G_{\text{п}} = 155$ млн пасс/год, $G_{\text{пкм}} = 620$ млн пасс-км, $S_{\text{ср}}^{\text{пасс}} = 4$ км. Как видно, график зависимости экономических потерь от скорости движения транспортных средств по улично-дорожной сети города имеет экспоненциальный вид. Уменьшение скорости движения до 30 км/ч и менее влечет за собой достаточно резкий рост потерь экономики региона.

Представленный экспресс-метод оценки потерь от ухудшения дорожной ситуации может быть использован для транспортной сети разного масштаба.

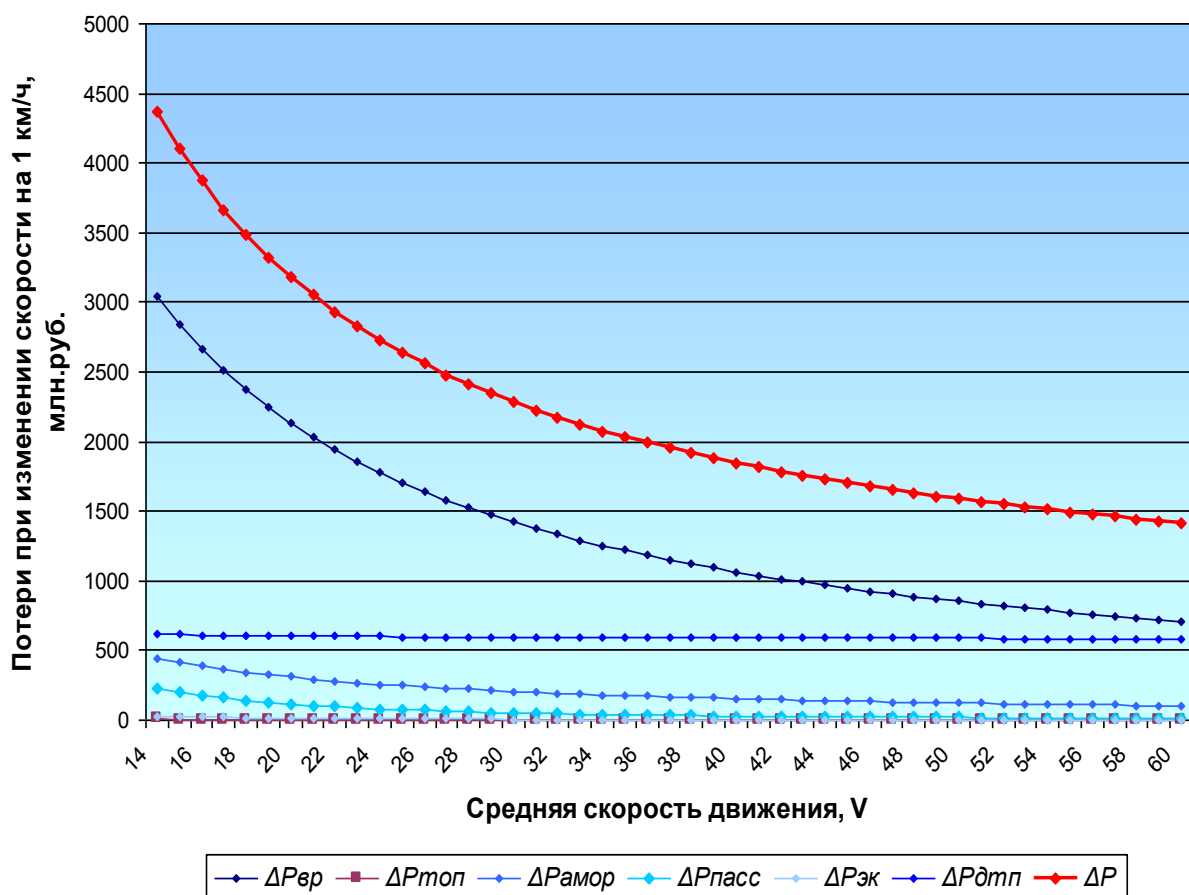


Рисунок 6 – Зависимость потерь от изменения скорости движения на улично-дорожной сети города

Приведенный расчет потерь экономики от неэффективной организации движения в транспортной сети города является обобщенным и может быть использован при разработке сценариев стратегических расчетов социально-экономического развития города.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1 Проведен анализ функционирования городской транспортной системы и определен уровень влияния изменений ее параметров на обеспечение устойчивого развития городов, в том числе в условиях формирования городских агломераций. Выявлена необходимость сбалансированного развития всех видов городского транспорта, интеграции всех участников перевозочного процесса для оптимизации функционирования городской пассажирской транспортной системы с учетом требований пассажиров.

2 Развита методологические основы исследования и оптимизации городского пассажирского транспорта, основные направления его совершенствования – оптимизация инфраструктуры, маршрутной сети, развитие взаи-

модействия видов транспорта, технологий обслуживания и сервиса пассажиров, внедрение информационных систем управления.

3 Определена схема развития внеуличного транспорта, принципы проектирования маршрутных схем – железнодорожных электропоездов с перечнем работ для реализации проекта городского электропоезда в системе городского пассажирского транспорта. Разработана математическая модель определения нитки графика для включения в расписание городского электропоезда. Обосновано, что использование внеуличного транспорта может иметь ограниченный по времени характер действия.

4 Определена схема развития уличного транспорта: предложена методика формирования скоростных маршрутов городского транспорта – маршрутов, работающих в режиме «экспресс», обеспечивающих перевозки пассажиров с минимальными временными затратами пассажира на поездку.

5 Показано, что одним из главных факторов оценки эффективности функционирования городской транспортной системы скорость движения транспортных средств. Разработана математическая модель экономической оценки эффективности функционирования транспортной системы, которая позволяет произвести экспресс-расчет влияния скорости движения на экономику города. Выполнен расчет потерь экономики от неэффективной организации движения на примере г. Ростова-на-Дону.

Основное содержание диссертационного исследования отражено в следующих публикациях:

Научные статьи, опубликованные в изданиях, рекомендованных ВАК

1 Ковалева, Н.А. Железнодорожный транспорт в системе развития городского и пассажирского транспорта на примере г. Ростова-на-Дону / Э.А. Мамаев, Н.А. Ковалева // Вестник Ростовского государственного экономического университета (РИНХ). – 2013. – № 4(44). – С. 53–59.

2 Ковалева, Н.А. К оценке потерь экономики от неэффективности организации движения в транспортной сети / Э.А. Мамаев, Н.А. Ковалева // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения (РГУПС). – 2014. – № 2(54). – С. 64–69.

3 Ковалева, Н.А. Формирование скоростных маршрутов в городской транспортной системе [Электронный ресурс] / Э.А. Мамаев, Н.А. Ковалева // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 3. – Режим доступа : <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3225>.

Коллективные монографии

4 Гузенко, А.В. Система городского пассажирского транспорта: логистика и регулирование : моногр. / А.В. Гузенко, Н.А. Вихрева¹ ; Рост. гос. ун-т путей сообщения. – Ростов н/Д, 2011. – 212 с.

¹ Девичья фамилия автора.

5 Муленко, О.В. Развитие логистики пассажирских перевозок Ростовской агломерации : моногр. / О.В. Муленко, А.В. Гузенко, Н.А. Ковалева ; Рост. гос. ун-т путей сообщения. – Ростов н/Д, 2014. – 109 с.

Научные публикации в других изданиях

6 Вихрева, Н.А. Системно-инфраструктурные проблемы развития транспорта города Ростова-на-Дону / Н.А. Вихрева, А.В. Гузенко // Инфраструктура рынка : проблемы и перспективы : ученые записки / Ростовский государственный экономический университет (РИНХ). – Ростов н/Д, 2011. – Вып. 17. – С. 20–26.

7 Вихрева, Н.А. Государственное регулирование в системе городского пассажирского транспорта / Н.А. Вихрева, А.В. Гузенко // Актуальные вопросы развития современного общества : матер. Междунар. науч.-практ. конф. В 2 т. Т. 1. – Курск : Юго-Зап. гос. ун-т, 2011. – С. 137–143.

8 Вихрева, Н.А. К вопросу о классификации параметров качества обслуживания пассажиров предприятиями городского транспорта / Н.А. Вихрева, О.В. Муленко // Наука и образование транспорту : матер. Междунар. науч.-практ. конф. – Самара : СамГУПС, 2009. – С. 55–56.

9 Вихрева, Н.А. К вопросу о классификации параметров качества обслуживания пассажиров городским пассажирским транспортом / Н.А. Вихрева, О.В. Муленко // Тр. Всерос. науч.-практ. конф. «Транспорт-2010». В 3 ч. Ч. 2. – Ростов н/Д, 2010. – С. 182–184.

10 Вихрева, Н.А. Потоки автомобильного транспорта в городской сети дорог (на примере города Ростова-на-Дону) / Н.А. Вихрева // Тр. Всерос. науч.-практ. конф. «Транспорт-2011». В 3 ч. Ч. 1. – Ростов н/Д, 2011. – С. 113–115.

11 Ковалева, Н.А. Устойчивость функционирования городской транспортной системы в условиях формирования нового качества жизни / Н.А. Ковалева // Тр. Всерос. науч.-практ. конф. «Транспорт-2012». В 3 ч. Ч. 1. – Ростов н/Д, 2012. – С. 198–200.

12 Ковалева, Н.А. Интеграция видов перевозок в городском транспорте как фактор интенсификации и повышения качества обслуживания / Н.А. Ковалева, И.В. Туников // Тр. Всерос. науч.-практ. конф. «Транспорт-2012». В 3 ч. Ч. 1. – Ростов н/Д, 2012. – С. 201–203.

13 Развитие внутригородских железнодорожных перевозок пассажиров в Ростовской агломерации / О.В. Муленко, А.В. Гузенко, А.В. Губа, Н.А. Ковалева // Маркетинг і логістика в системі менеджменту пасажирських перевезень на залізничному транспорті : матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції. – Киев : ДАЗТУ, 2012. – С. 57–59.

14 Ковалева, Н.А. Городская транспортная система и ее роль в социально-экономическом развитии города / Н.А. Ковалева // Тр. Междунар. науч.-практ. конф. «Транспорт-2013». Ч. 1. Технические науки. – Ростов н/Д : Рост. гос. ун-т путей сообщения, 2013. – С. 18.

15 Ковалева, Н.А. Подходы и методы оптимизации пассажирских перевозок / Н.А. Ковалева // Тр. Междунар. науч.-практ. конф. «Транспорт-2014». Ч. 1. Технические и экономические науки. – Ростов н/Д : Рост. гос. ун-т путей сообщения, 2014. – С. 46–48.

16 Ковалева, Н.А. К вопросу о государственном регулировании пригородных железнодорожных перевозок / Н.А. Ковалева // Маркетинг і логістика в системі менеджменту пасажирських перевезень на залізничному транспорті: Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції – Киев : ДАЗТУ, 2014. – С. 59–60.

17 Ковалева, Н.А. Особенности развития городских пассажирских транспортных систем : факторы и модели формирования / Н.А. Ковалева // Тр. Междунар. науч.-практ. конф. «Транспорт-2015». – Ростов н/Д, 2015.

18 Ковалева, Н.А. Железнодорожный транспорт в мегаполисе / Н.А. Ковалева, Т.Э. Мамаев // Тр. Междунар. науч.-практ. конф. «Перспективы развития и эффективность функционирования транспортного комплекса Юга России», 20–21 ноября 2014 г. В 3 ч. Ч. 1. Технические науки. – Ростов н/Д : Рост. гос. ун-т путей сообщения, 2015. – С. 48–50.

Ковалева Наталья Александровна

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ
ГОРОДСКИХ ПАССАЖИРСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ**

Подписано к печати 19.10.2015 г.
Формат бумаги 60×84/16. Бумага офсетная.
Ризография. Усл. печ. л. 1,0.
Тираж 100 экз. Заказ № .

Редакционно-издательский центр ФГБОУ ВПО РГУПС.

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