

На правах рукописи



ФАДЕЕВ АЛЕКСАНДР ИВАНОВИЧ

**МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЕРЕВОЗОК И
УПРАВЛЕНИЯ НАЗЕМНЫМ ПАССАЖИРСКИМ ТРАНСПОРТОМ
ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ**

Специальность 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

КРАСНОЯРСК – 2021

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский федеральный университет»

Научный консультант: **Михайлов Александр Юрьевич**,
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Автомобильный транспорт» ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет»

Официальные оппоненты: **Корчагин Виктор Алексеевич**,
доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники, профессор кафедры «Управление автотранспортом» ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

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

Корягин Марк Евгеньевич,
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Высшая математика» ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

Ведущая организация: Открытое акционерное общество «Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта» (ОАО «НИИАТ»), г. Москва

Защита состоится 30 сентября 2021 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.073.04 при ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» по адресу: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, конференц зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» и на сайте: <http://www.istu.edu/static/dis/61380>

Автореферат диссертации разослан: 17.08.2021.

Отзывы на автореферат (два экземпляра, заверенные организацией) направлять в адрес диссертационного совета:

664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Д 212.073.04. e-mail: ds04@istu.edu.

Учёный секретарь
диссертационного совета



С.Ю. Красноштанов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования обусловлена значением пассажирского транспорта общего пользования как важнейшего элемента инфраструктуры, обеспечивающего экономическое и социальное развитие общества. Пассажирский транспорт общего пользования (общественный транспорт, public transport, public transportation, public transit, mass transit, simply transit) - это система групповых перевозок неограниченного круга лиц, обычно осуществляемых по регулярным маршрутам с применением публичных тарифов за проезд.¹

Интенсивная динамика автомобилизации, вызванная повышением мобильности населения, вследствие сопутствующих транспортных заторов в конечном счете сдерживает удовлетворение транспортных потребностей общества. В городских агломерациях низкая скорость сообщения транспорта приводит к большим потерям времени на ежедневные поездки маятниковой миграции жителей, снижению доступности объектов притяжения населения.

Развитие улично-дорожной сети для возрастающих транспортных потоков ограничивается высокими затратами и дефицитом городского пространства. Необходимый уровень транспортного предложения при ограниченном развитии улично-дорожной сети возможен за счет совершенствования общественного транспорта.

Эффективный общественный транспорт обеспечивает баланс транспортного спроса и предложения без излишнего объема инфраструктуры. Такие системы в последнее время называются устойчивым транспортом², который осуществляет экономичное, безопасное, надежное, экологически чистое и качественное удовлетворение мобильности населения: доступ к месту работы, учебы, товарам, услугам, социальным и культурно-бытовым объектам.

Реализация концепции устойчивого общественного транспорта требует решения таких проблем, как мониторинг транспортного спроса, установление показателей доступности и качества перевозок, проектирование маршрутных систем³, структуры парка, планирование транспортного предложения, соответствующего спросу и установленным стандартам качества обслуживания, эффективное управление перевозочным процессом.

Традиционные методы обследования пассажирских потоков вследствие их трудоемкости и ограниченной эффективности не позволяют осуществлять на должном уровне мониторинг транспортного спроса. В настоящее время для создания эффективных решений используются технологии, основанные на сборе, интеграции и анализе больших данных (Urban computing, Big data, Internet of things, IoT). Применение этого подхода имеет большие перспективы для разработки систем учета спроса общественного транспорта

Непременным условием транспортной политики является формирование и реализация стандартов обслуживания в соответствии с имеющимися ресурсами и пред-

¹ English Oxford Living Dictionaries. Oxford University Press. Archived from the original on 31 January 2018. Retrieved 30 January 2018. Buses, trains, and other forms of transport that are available to the public, charge set fares, and run on fixed routes

² https://en.wikipedia.org/wiki/Sustainable_transport

³ Методические рекомендации по разработке документа планирования регулярных перевозок пассажиров и багажа по муниципальным и межмуниципальным маршрутам автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом», утв. Минтрансом России 30.06.2020

почтениями населения⁴. Однако до настоящего времени нет приемлемых рекомендаций по нормированию параметров транспортного предложения, таких как пропускная способность остановочных пунктов (ОП), время работы подвижного состава (ПС), коэффициент использования вместимости для обеспечения установленных показателей функционирования транспортной системы. По этой причине зачастую регулирующие органы устанавливают для транспортных организаций недостижимые условия, которые обуславливают нерентабельную работу перевозчиков, низкое качество услуг, что, в конечном счете, приводит к оттоку пассажиров, деградации системы общественного транспорта и, соответственно, к обострению транспортной проблемы.

Предлагаемые в настоящее время методы проектирования маршрутных систем, структуры парка общественного транспорта имеют недостатки и противоречия, затрудняющие формирование транспортного предложения, в должной степени соответствующего пассажирским потокам. В существующих методиках не учитывается эффект перераспределения пассажирских потоков по взаимодействующим маршрутам, недостаточно проработаны рекомендации по применению методов дизайна и оценки эффективности маршрутных систем.

Определяющую роль в решении транспортной проблемы играют системы диспетчерского управления. Автоматизированный анализ транспортного процесса, расчет интегральных и дифференциальных параметров текущего и исполненного движения транспорта, автоматическое выявление состояний, требующих управляющих решений, предоставление пассажирам информации в реальном режиме времени о транспортном процессе являются необходимыми условиями надежного и безопасного транспортного обслуживания.

Недостаток знаний о методах мониторинга транспортного спроса, нормирования параметров и формирования оптимального транспортного предложения, соответствующего пассажирским потокам, технологическим нормативам, экономическим показателям перевозок и качества транспортного обслуживания населения, определения интегральных и дифференциальных характеристик текущего и исполненного движения в системах диспетчерского управления снижает эффективность функционирования общественного транспорта. Решение комплекса перечисленных проблем является необходимым условием устойчивого развития наземного пассажирского транспорта общего пользования для осуществления безопасного, надежного и экологически чистого удовлетворения мобильности населения при ограниченных материальных и финансовых ресурсах.

Целью диссертационной работы является повышение эффективности функционирования наземного пассажирского транспорта общего пользования и качества транспортного обслуживания населения.

Объект исследования – процессы функционирования наземного пассажирского транспорта общего пользования, обеспечивающие его эффективность и качество транспортного обслуживания населения

Предмет исследования – закономерности, функциональные зависимости и статистические параметры, характеризующие эффективность процессов функционирования наземного пассажирского транспорта общего пользования и качество транспортного обслуживания населения.

⁴ Социальный стандарт транспортного обслуживания населения при осуществлении перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом (распоряжение Минтранса РФ от 31.01.2017 №НА-19-р)

Рабочая гипотеза заключается в том, что эффективность функционирования наземного пассажирского транспорта общего пользования и качество транспортного обслуживания населения можно значительно повысить путем совершенствования проектирования перевозок и управления транспортным процессом.

Задачи исследования:

1. Теоретически обосновать комплекс математических моделей, алгоритмов и методов проектирования перевозок наземным пассажирским транспортом общего пользования, обеспечивающий формирование оптимального транспортного предложения, соответствующего объему спроса, технологическим нормативам, показателям экономической эффективности транспортного процесса и качества транспортного обслуживания населения.

2. Разработать математическую модель программы перевозок, учитывающую взаимное влияние маршрутов на распределение пассажирских корреспонденций по сети и обеспечивающую расчет параметров эффективности и качества транспортного предложения.

3. Установить зависимость среднего коэффициента динамического использования вместимости от параметров спроса, рабочего времени ПС, колебаний скорости движения.

4. Определить зависимость среднего рабочего времени ПС от интервалов движения в периоды пиковых пассажиропотоков, межпиковые периоды, в начале и завершении работы наземного пассажирского транспорта общего пользования.

5. Разработать математическую модель функционирования ОП наземного пассажирского транспорта общего пользования, установить зависимости его параметров от количества остановочных мест, закономерностей поступления и обслуживания транспортных средств, а также определить пропускную способность системы.

6. Разработать и теоретически обосновать методику расчета транспортного спроса путем анализа операций валидации электронных проездных билетов, интегрированных с данными системы диспетчерского управления движением транспортных средств.

7. Разработать дискретно-событийную математическую модель системы диспетчерского управления наземным пассажирским транспортом общего пользования, как хронологическую последовательность событий, обуславливающих формирование множества состояний управляемой системы, обеспечивающих в реальном режиме времени автоматизированный контроль транспортного процесса, выявление состояний, требующих управляющих решений.

8. Разработать и теоретически обосновать метод расчета фактической траектории движения транспортных средств, решить задачу определения соответствия планового и фактического маршрутов наземного пассажирского транспорта общего пользования для обеспечения расчета интегральных и дифференциальных параметров эффективности транспортного процесса и качества транспортного обслуживания населения.

9. Осуществить производственную проверку и определить технико-экономические результаты выполненного научного исследования.

Методы и средства исследования. При решении поставленных задач использовались методы теории больших систем, системного подхода и исследований операций, математической статистики, теории вероятностей, математического моделирования и анализа, теории массового обслуживания, математического программирования

и численных расчетов, транспортного планирования, реляционной алгебры и реляционной теории данных, программирования на языках высокого уровня, экспериментальных исследований с использованием систем глобального позиционирования ГЛОНАСС/GPS, систем видеорегистрации и видеонаблюдения, автоматизированных информационных систем и систем анализа больших данных.

Научную новизну исследования составляют следующие методологические основы проектирования перевозок и управления общественным транспортом:

1. Теоретически обоснованная многокритериальная математическая модель, разработанный эвристический алгоритм оптимального распределения транспортных ресурсов между маршрутами транспортной сети, обеспечивающие решение задач проектирования перевозок наземным пассажирским транспортом общего пользования с учетом, пассажирского спроса, технологических нормативов, показателей экономической эффективности и качества транспортного обслуживания населения.

2 Разработанная теоретически обоснованная математическая модель программы перевозок, методика распределения пассажирских корреспонденций по сети взаимодействующих маршрутов, обеспечивающие расчет критериев эффективности и качества транспортного предложения.

3. Научно-обоснованная зависимость среднего коэффициента динамического использования вместимости от параметров спроса общественного транспорта, рабочего времени ПС, колебаний скорости движения по транспортной сети

4. Разработанная и экспериментально подтвержденная зависимость среднего рабочего времени транспортной единицы на линии от заданных интервалов движения в периоды пиковых пассажиропотоков, межпиковые периоды, в начале и завершении работы наземного пассажирского транспорта общего пользования.

5. Разработанная аналитическая и имитационная математическая модель ОП общественного транспорта как системы массового обслуживания (СМО), впервые учитывающая неодинаковую производительность остановочных мест.

6. Научно обоснованный и экспериментально подтвержденный метод нормирования пропускной способности ОП, основанный на критерии отказа в обслуживании, рассчитываемом в соответствии с уровнями значимости вероятности очереди 0,01 (1%), 0,05 (5%) и 0,1 (10%), которые применяются в зависимости от степени влияния ОП на транспортный трафик.

7. Теоретически обоснованная и практически апробированная методика расчета спроса на городской общественный транспорт, включающая разработанный эвристический алгоритм интеллектуального анализа операций валидации электронных проездных билетов, интегрированных с данными системы диспетчерского управления движением транспортных средств, установленные и апробированные критерии определения поездок пассажиров, методика расчета транспортного спроса и параметров транспортного предложения с использованием коэффициентов балансировки для учета неидентифицированных операций валидации.

8. Разработанное теоретически обоснованное формальное описание системы диспетчерского управления наземным пассажирским транспортом, в котором, в отличие от других систем, в качестве объекта управления рассматривается не только парк ПС, но и транспортные терминалы (автовокзалы, автостанции и транспортно-пересадочные узлы).

9. Разработанная дискретно-событийная математическая модель системы диспетчерского управления наземным пассажирским транспортом, в соответствии с ко-

торой управляемая подсистема представляется динамической, асинхронной, переходы состояний в ней инициируют события, происходящие в дискретные моменты времени.

10. Теоретически обоснованный и практически апробированный алгоритм расчета фактической траектории движения транспортных средств, основанный на двухэтапной процедуре обработки данных спутниковой навигации.

11. Впервые разработанная математическая модель оценки соответствия плановой и фактической траектории движения транспортных средств как наибольшей общей подпоследовательности двух упорядоченных множеств пунктов планового и фактического маршрутов ПС, практически апробированный алгоритм решения данной задачи.

Практическая значимость работы. Результаты исследования могут использоваться пассажирами наземного транспорта, перевозчиками пассажиров, автовокзалами и автостанциями, водителями ПС, операторами диспетчерского управления и контроля движения пассажирского транспорта, региональными и муниципальными органами власти для решения следующих задач:

1. Получение в реальном режиме времени информации о движении наземного общественного транспорта.

2. Реализация пассажирских билетов на регулярные пригородные и междугородные автобусные маршруты посредством разработанной инвенторной системы бронирования.

3. Реализация билетов водителями в салоне транспортных средств на промежуточных ОП пригородных и междугородных маршрутов с фиксированием операций в инвенторной системе бронирования.

4. Диспетчерский контроль операций пассажирских терминалов: прибытия и отправления, посадки и высадки пассажиров на автовокзалах, автостанциях и транспортно-пересадочных узлах.

5. Диспетчерское управление перевозками по регулярным маршрутам наземного общественного транспорта, заказным и специальным маршрутам автомобильного транспорта посредством разработанной под руководством автора диссертации интегрированной информационной системы BusTrafficManagement (<https://www.bustraffic.ru>).

6. Информационное обслуживание процессов деятельности транспортной организации: учета выполненной транспортной работы, контроля режимов труда и отдыха водителей, контроля перевозочного процесса посредством интегрированной системы диспетчерского управления и видеонаблюдения.

7. Формирование транспортного предложения, обеспечивающего заданные параметры эффективности и качества транспортного обслуживания населения, путем совершенствования расписания перевозок, пассажирских тарифов, существующей системы маршрутов, структуры парка общественного транспорта с учетом взаимодействия маршрутов на сети, пропускной способности транспортной сети, объема транспортного спроса, технологических нормативов и экономических показателей транспортного процесса.

8. Создание системы мониторинга пассажирских потоков за счет использования математических моделей и методов определения спроса на городской общественный транспорт путем анализа операций валидации электронных проездных билетов.

Реализация результатов исследований осуществлена в:

проекте комплексной маршрутной сети общественного транспорта города Красноярска (муниципальный контракт №16 от 01 ноября 2006 г. на выполнение работ по обследованию пассажирских потоков и разработке комплексной маршрутной сети общественного транспорта города Красноярска; постановление главы города Красноярска от 15.07.2008 г. №371 «Об утверждении маршрутной сети города Красноярска»);

рекомендациях по совершенствованию маршрутной сети и стандарте качества обслуживания населения города Зеленогорска Красноярского края пассажирским транспортом общего пользования (муниципальный контракт №0319300012312000033/20468 от 26 июня 2012 г. «Обследование пассажирских потоков и формирование маршрутной сети г. Зеленогорска»);

концепции целевой программы развития пассажирского транспорта г. Красноярска на 2011 – 2015 годы с перспективой до 2020 года (договор от 30.06.2009 г № 20073);

рекомендациях по оптимизации системы пригородных автобусных маршрутов в Красноярском крае и проекте реестра пригородных маршрутов Красноярского края (дополнительное соглашение № 18/14 от 24 сентября 2014 г. к Соглашению № 07 от 06.08.2009 г., заключенному между КФН и Сибирским федеральным университетом (СФУ) по проекту «Моделирование, анализ и расчет оптимальных параметров системы пригородного автобусного транспорта в Красноярском крае»);

интегрированной информационной системе (ИС) BusTrafficManagement, используемой для управления перевозками пассажиров по регулярным и заказным маршрутам Красноярского края, Республик Хакасия, Тыва, Томской и Кемеровской области (bustraffic.ru);

проекте системы мониторинга пассажирских потоков МКУ «Красноярскгортранс» г. Красноярска (разработано программное обеспечение, проведены тестовые расчеты на операциях валидации электронных проездных билетов общественного транспорта г. Красноярска за октябрь месяц 2016 года и апрель месяц 2019 года).

Результаты диссертационного исследования используются в учебном процессе кафедры транспорта СФУ магистров и бакалавров направления «Технология транспортных процессов».

Положения, выносимые на защиту:

1. Теоретически обоснованная многокритериальная математическая модель проектирования перевозок, разработанный эвристический алгоритм оптимального распределения транспортных ресурсов между маршрутами обеспечивают формирование транспортного предложения с учетом взаимного влияния маршрутов, транспортного спроса, технологических нормативов, экономической эффективности и качества транспортного обслуживания населения.

2. Научно обоснованная математическая модель программы перевозок, алгоритм распределения пассажирских корреспонденций по сети взаимодействующих маршрутов обеспечивают расчет показателей эффективности и качества транспортного предложения при решении задач проектирования перевозок общественным транспортом.

3. Впервые установленная зависимость среднего коэффициента динамического использования вместимости ПС от параметров пассажирского спроса, рабочего времени ПС, колебаний скорости движения по транспортной сети позволила разработать

научно обоснованный метод нормирования данного показателя для проектирования транспортного предложения, соответствующего установленным параметрам качества транспортного обслуживания населения.

4. Метод нормирования среднего рабочего времени ПС, основанный на установленной зависимости данного показателя от заданных интервалов движения наземного общественного транспорта, позволяет определять ресурсы, обеспечивающие установленные параметры качества транспортного предложения.

5. Математическая модель ОП общественного транспорта как однофазовой многоканальной СМО с неодинаковой производительностью каналов обслуживания обеспечивает нормирование пропускной способности маршрутной сети посредством применения критерия отсутствия очереди в соответствии с уровнями значимости ее вероятности.

6. Разработанная и теоретически обоснованная методика расчета пассажирских корреспонденций, основанная на анализе операций валидации электронных проездных билетов, интегрированных с данными системы диспетчерского управления движением транспортных средств, позволяет осуществлять мониторинг спроса на городской общественный транспорт и тем самым обеспечивает проектирование транспортного предложения, соответствующего установленным показателям качества транспортного обслуживания населения.

7. Разработанная математическая модель и формальное описание системы диспетчерского управления общественным транспортом, который рассматривается как дискретно событийная система реального времени, повышает эффективность автоматизированного контроля перевозочного процесса, выявления состояний, требующих управляющих решений, и на этой основе обеспечивает установленные показатели качества транспортного обслуживания населения.

8. Применение двухэтапной процедуры обработки данных спутниковой навигации и фиксирования контрольного пункта (КП) посредством радиусов обнаружения и позиционирования обеспечивает эффективное формирование фактической траектории движения транспортных средств.

9. Разработанный метод определения наибольшей общей подпоследовательности двух упорядоченных множеств КП планового и фактического маршрутов ПС позволяет эффективно оценивать соответствие планового и фактического движения транспортных средств и на этой основе осуществлять расчет интегральных и дифференциальных параметров качества и эффективности функционирования общественного транспорта.

Достоверность результатов подтверждается: корректностью математического обоснования проведенных исследований и системным подходом к решению задач; использованием методов реляционной алгебры и реляционной модели данных; применением обработки статистических данных с использованием репрезентативных объемов выборок и контроля выбросов в выборках; результатами обследований пассажирских потоков и параметров функционирования транспортных систем; тестированием разработанных моделей в реальных транспортных системах, функционирующих под контролем спутниковой системы глобального позиционирования ГЛОНАСС/GPS, систем видеонаблюдения; статистическим контролем сходимости экспериментальных исследований и реальных процессов.

Теоретические основы построены на проверяемых данных и фактах, согласуются с публикациями по теме диссертации.

Личный вклад автора заключается в формировании концепции и цели работы; постановке задач и их решении; разработке теоретических и методологических положений научной новизны исследования; разработанных с применением новых методов, моделей и подходов к решению задач, сформулированных в диссертации.

Апробация результатов работы. Основные результаты, полученные в работе, обсуждены на:

Краевой НТК «Молодые ученые и специалисты - народному хозяйству» (Красноярск, 1985), межвузовской НПК «Автомобильный транспорт в условиях перехода к рынку (Красноярск, 1993), межвузовской НПК «Транспортные средства Сибири (состояние и проблемы)» (Красноярск, 1994, 1995, 1996 г.), II семинаре-совещании АСДГ «Проблемы развития управления пассажирским транспортом и его эксплуатация» (Красноярск, 1997 г.), IV Всероссийской конференции «Проблемы информатизации региона. ПИР-98» (Красноярск, 1998 г.), Всероссийской НПК «Проблемы системы автомобильного транспорта Красноярского края и направления их решения: Достижения науки и техники – развитию сибирских регионов» (Красноярск, 2003), ВНТК «Транспортные системы Сибири» (Красноярск, 2003, 2004, 2005, 2013 гг.), Межрегиональной НПК «Инновационное развитие регионов Сибири» (Красноярск, 2006), ВНТК «Политранспортные системы» (Красноярск, 2004, 2006, 2007, 2010, 2013 гг., Новосибирск, 2009 г.), НПК «Перспективы развития и безопасность автотранспортного комплекса» (Новокузнецк 2011 г.), ВНТК СиБАДИ с международным участием, (Омск, 2011г.), Международной НПК «Транспортные системы Сибири» (Красноярск, 2016), Международном конгрессе «Сибирский плацдарм: время новых решений» (Красноярск, 2017), Международных Сибирских транспортных форумах (Новосибирск, 2016, 2017, 2019), Международной НПК «Российская наука в современном мире» (Москва 2018), Конференции Российского автотранспортного союза (РАС) «Правовое регулирование деятельности пассажирского автомобильного транспорта. Повышение качества услуг на автомобильном транспорте» (Сочи, 2018), Международной НТК «Авиамашиностроение и транспорт Сибири» (Иркутск, 2018, 2019, 2020 г.), Международной НТК ААИ «Безопасность колесных транспортных средств в условиях эксплуатации» (Иркутск, 2019 г.), Всероссийской НТК «Борисовские чтения» (Красноярск, 2019), Конференции РАС «Актуальные проблемы функционирования и развития пассажирских автобусных перевозок» (Сочи, 2019).

Публикации. Основные результаты, полученные в диссертационной работе, опубликованы в 57 научных работах: 10 статьях в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК РФ и 10 публикациях в изданиях, индексируемых в системах Scopus и WOS, 3 свидетельствах об официальной регистрации программы для ЭВМ.

Соответствие диссертационной работы паспорту специальности. Выполненные исследования отвечают формуле научной специальности 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта в части технологии и организации перемещения пассажиров, процессов, обеспечивающих эти перемещения, их взаимодействия с природой и обществом и соответствуют областям исследований, определенным п. 2, п. 3, п. 15.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка 420 использованных источников. Изложена на 330 страницах машинописного текста, включает 91 рисунок и 39 таблиц. Содержит 7 приложений на 104 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность, представлены цель, задачи, рабочая гипотеза, объект и предмет исследования, научная новизна, практическая значимость, основные научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен обзор современного состояния теории и практики проектирования перевозок и управления наземным пассажирским транспортом общего пользования.

В создание основ научных знаний в области систем наземного пассажирского транспорта значительный вклад внесли ведущие российские ученые, такие как Л.Л. Афанасьев, А.П. Артынов, М.Д. Блатнов, М.Я. Блинкин, И.О. Блудян, Г.А. Варелопуло, В.М. Власов, П.П. Володькин, А.И. Воркут, В.Р. Вучик, Б.Л. Геронимус, И.М. Головных, В.А. Гудков, Г.А. Гуревич, В.Д. Герами, А.Э. Горев, В.Н. Ембулаев, С.В. Жанказиев, В.В. Зырянов, Д.Б. Ефименко, И.С. Ефремов, А.Х. Зильберталь, В.А. Корчагин, Е.А. Кравченко, М.Е. Корягин, В.М. Курганов, О.Н. Ларин, Л.Б. Миротин, А.Ю. Михайлов, И.В. Спирин, А.Т. Таранов, А.А. Чеботаев, Н.Н. Якунин и многие другие.

Пассажирский транспорт – это сложная система, совершенствование которой подразделяется на задачи проектирования маршрутов, структуры парка ПС, распределения имеющегося ПС по маршрутам, определения оптимальных интервалов движения, расчета требуемого объема субсидирования при заданных параметрах качества транспортного обслуживания⁵. Применяемые в настоящее время методы проектирования перевозок наземным пассажирским транспортом имеют существенные недостатки и противоречия:

- не в полной мере проработаны рекомендации по решению задач проектирования перевозок в многокритериальной постановке;
- до настоящего времени нет эффективных методов решения задачи формирования маршрутной системы в комплексе со структурой парка ПС;
- вызывают сомнение рекомендации применения в задачах совершенствования транспортной системы матрицы пассажирских корреспонденций периода наибольшей мощности пассажиропотоков потому, что, во-первых, в этом случае из расчетов исключаются корреспонденции межпиковых периодов и, во-вторых, выделить интервал времени, в котором пассажирские потоки всех направлений находятся в пиковом состоянии, не представляется возможным, т.к. пиковые периоды разных маршрутов неодинаковые;
- не представляется возможным использовать межостановочные пассажирские корреспонденции напрямую, поскольку не учитывается перераспределение пассажиров между остановочными пунктами, находящимися в пешеходной доступности; в случаях, когда известна матрица межостановочных корреспонденций, ее агрегируют к межрайонной матрице, что существенно усложняет решение задачи и снижает точность получаемых результатов;
- при распределении пассажирских корреспонденций по сети не учитывается взаимодействие маршрутов.

⁵ Социальный стандарт транспортного обслуживания населения при осуществлении перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом. Утв. распоряжением Минтранса России от 31 января 2017 г. №НА-19-р

До настоящего времени нет приемлемых для практики решений по нормированию параметров транспортного предложения: коэффициента использования вместимости транспортных средств, среднего времени работы ПС на маршрутах, пропускной способности остановочных пунктов.

Выявлены серьезные недостатки опубликованных алгоритмов определения спроса общественного транспорта из операций валидации смарт-карт, которые существенно ограничивают их применение.

В связи с использованием интегрированных информационных систем, систем искусственного интеллекта (в т.ч. интеллектуальных транспортных систем), экспертных систем существенно изменились требования, предъявляемые к диспетчерским системам в части их функциональности и взаимодействия с внешней средой. Актуальными задачами совершенствования диспетчерского управления общественным транспортом являются интегрированное использование информационных потоков, применение дискретно-событийного метода моделирования транспортного процесса, определение соответствия планового и фактического движения ПС.

По результатам выполненного обзора поставлены задачи исследования.

Вторая глава посвящена разработанным теоретическим основам проектирования перевозок и управления наземным пассажирским транспортом общего пользования

Под системой пассажирского транспорта понимается комплекс объектов, выделенных из внешней среды в соответствии с принципами системного подхода - это множество элементов, обладающее свойствами интегративности, целостности и иерархичности, сложное взаимодействие которых приводит к достижению некоей цели. Формализованная схема системы наземного пассажирского транспорта общего пользования приведена на рис. 1.

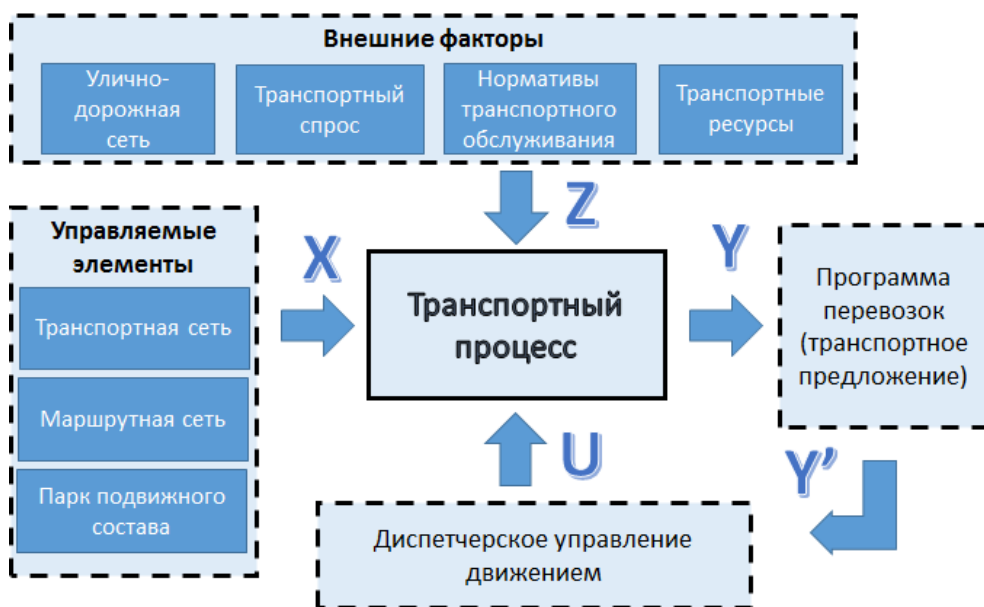


Рис. 1. Формализованная схема системы наземного пассажирского транспорта общего пользования

Проектирование перевозок пассажиров наземным общественным транспортом. На улично-дорожной сети сформирована транспортная сеть:

$$G = (W, E); w \in W; |W| = n; (u, w) \in E; |E| = d; u \neq w; u, w = \overline{1, n} \quad (1)$$

где: W - конечное непустое множество вершин; E - множество связей между вершинами; n, d - число вершин и связей на графе G .

На графе G определено множество потенциальных маршрутов M ; $M = \{w_1, \dots, w_i, \dots, w_t\}$; $M \subset \mathbf{M}$; $|\mathbf{M}| = m$. Маршруты подразделяются по видам транспорта, например, автобус, трамвай, троллейбус.

Спрос общественного транспорта задан матрицей пассажирских корреспонденций $T = \{T_{ij}\}$; $i \in W$; $j \in W$, которая отражает усредненную потребность в передвижениях в том периоде, для которого решается задача.

Транспортная система оценивается набором показателей (критериев эффективности). Многокритериальная модель проектирования транспортной системы заключается в оптимизации функции:

$$F(X) \rightarrow \max; X = \{X_1, \dots, X_m\}; X_k = (V_k^t, A_k); F = \{f_1, \dots, f_s\}, \quad (2)$$

где: X – вектор транспортных ресурсов (тип и количество ТС), закрепленных за маршрутами;

V_k^t – тип транспортных средств на k -м маршруте (например, трамвай, троллейбус, автобусы разных классов вместимости);

A_k – количество ТС на k -м маршруте;

f_i – i -й критерий качества транспортного предложения, на который может быть наложено ограничение: $f_i^{\min} \leq f_i \leq f_i^{\max}$.

Парк ТС $\Psi(V^t, A)$; $\psi_s \cdot A \leq A_{\max}^s$, на который могут быть наложены ограничения по числу транспортных средств каждого типа.

Таким образом, проектирование перевозок общественным транспортом заключается в оптимальном распределении транспортных ресурсов между маршрутами транспортной сети в соответствии с заданными критериями оптимальности, на которые могут быть наложены соответствующие ограничения. Данная постановка охватывает задачи, которые до настоящего времени описывались разными моделями, например, проектирование маршрутов, структуры парка ТС, расчет интервалов движения и т.д.

Критерии решения задачи рассчитываются посредством **программы перевозок**, которая описывает потребные ресурсы и параметры транспортного предложения.

При расчете программы перевозок необходимо осуществить распределение пассажирских корреспонденций по маршрутной сети с учетом взаимного влияния (взаимодействия) маршрутов. В работе фактор взаимного влияния маршрутов определен следующим образом: взаимодействующими являются маршруты, остановочные пункты которых расположены на расстоянии пешеходной доступности (рис. 2) таким образом, что пассажир осуществляет выбор маршрута для поездки.

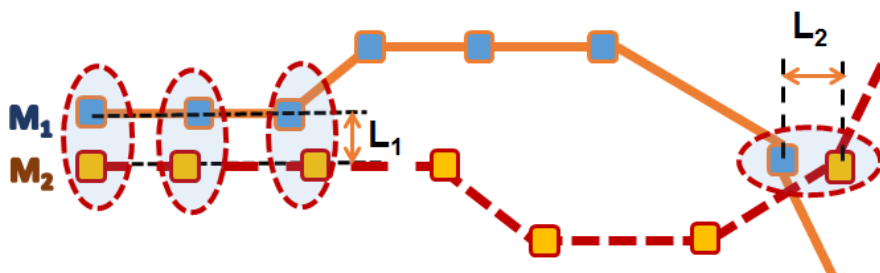


Рис. 2. Схема взаимного влияния (взаимодействия) маршрутов M_1 и M_2 ; $L_1 < L_p$, $L_2 < L_p$, где L_p – расстояние пешеходной доступности

Для пассажирской корреспонденции формируются возможные варианты сетевых поездок, состоящих из одной или нескольких маршрутных. Множество маршрут-

ных поездок описывается реляционным отношением $\Phi(M, I^m, J^m)$, где: M, I^m, J^m - атрибуты отношения: маршруты, пункты начала и завершения поездок соответственно. Кортеж отношения $\phi(M, i^m, j^m)$ - одна из маршрутных поездок. Атрибуты кортежа ϕ обозначаются следующим образом: $\phi.M, \phi.i^m, \phi.j^m$ - номер маршрута, пункт начала и завершения поездки соответственно.

Множество допустимых сетевых поездок для корреспонденции ij :

$$A_{ij} = \{\phi_1, \dots, \phi_n\}, n \geq 1, l(i, \phi_1.i^m) \leq L_p, l(\phi_n.j^m, j) \leq L_p, l(\phi_s.j, \phi_{s+1}.i) \leq l_p, \quad (3)$$

где: $l(i, \phi_1.i^m)$ - евклидово расстояние между пунктами транспортной сети i и $\phi_1.i^m$;

L_p - расстояние пешеходной доступности. Начальный пункт сетевой поездки находится на расстоянии пешеходной доступности от пункта отправления пассажирской корреспонденции, а конечный пункт - от пункта ее назначения. Пункты пересадок также расположены в пешеходной доступности друг от друга.

Обозначим Φ^{ij} - множество маршрутных поездок, из которых состоят все допустимые сетевые поездки для корреспонденции ij , Φ_x^{ij} - множество маршрутных поездок, составляющих x -ю сетевую поездку ($\Phi_x^{ij} \subset \Phi^{ij}$).

Вероятность использования x -й сетевой поездки для корреспонденции ij - произведение вероятностей маршрутных поездок, составляющих сетевую поездку:

$$p_x^{ij} = \varphi_s^l \prod_{\phi_s \subset \Phi_x^{ij}} p_s, 0 \leq p_x^{ij} \leq 1, \sum p_x^{ij} = 1, \quad (4)$$

где: p_s - вероятность s -й маршрутной поездки;

φ_s^l - коэффициент, учитывающий непрямолинейность поездки.

Порядок расчета вероятностей предпочтения поездок рассмотрен в п. 2.1.2 диссертации.

Математическая модель программы перевозок дана в таблице 1.

Таблица 1. Математическая модель программы перевозок

Наименование	Технико-эксплуатационные показатели	
	Дифференциальные (для k -го маршрута)	Интегральные (для M -го множества маршрутов)
1	2	3
Интенсивность движения	$a_k = A_k / t_k^o$	(5)
Пробег	$L_k = l_k^o a_k \bar{T}_k^m$	$L = \sum_{k \in M} L_k$ (6)
Число пассажиров	$Q_k = \sum_i \sum_j T_{ij} \sum_{\phi_s.M=k, \phi_s \subset \Phi_{ij}} p_s$	$Q = \sum_{k \in M} Q_k$ (7)
Число обслуженных корреспонденций	$T' = \sum_i \sum_j T_{ij} \sum_x p_x^{ij}$ (8)	
Коэффициент пересадочности	$\psi = Q / T'$ (9)	

Окончание таблицы 1

1	2	3
Пассажирооборот	$P_k = \sum_i \sum_j T_{ij} \sum_{\phi_s.M=k, \phi_s \in \Phi_{ij}} p_s l_s$	$P = \sum_{k \in M} P_k$ (10)
Количество ПС	$A_k = \frac{P_k}{q_n \gamma_k V_e \bar{T}_k^m}$	$A = \sum_{k \in M} A_k$ (11)
Коэффициент непрямолинейности поездок		$k^l = \sum_k P_k / (\sum_i \sum_j T_{ij} l_{ij})$ (12)
Затраты времени пассажирской корреспонденции ij	$\tau_{ij} = \sum_x p_x^{ij} \{ (\tau_{\phi_1^x.i^m}^b + \sum_1^n [\tau_{\phi_s^x.i^m}^o + t(\phi_s^x.i^m, \phi_s^x.j^m)] + \sum_1^{n-1} t(\phi_s^x.j^m, \phi_{s+1}^x.i^m) + \tau_{\phi_n^x.j^m}^e) \}$ (13)	
Коэффициент использования вместимости	$\gamma_k = P_k / P_k'$	$\gamma = \sum_{k \in M} P_k / \sum_{k \in M} P_k'$ (14)
Коэффициент дублирования маршрута	$\alpha_k^d = Q_k^d / Q_k$	$\alpha^d = \sum_k Q_k^d / \sum_k Q_k$ (15)
Коэффициент уникальности маршрута	$\alpha_k^u = Q_k^u / Q_k$	$\alpha^u = \sum_k Q_k^u / \sum_k Q_k$ (16)
Затраты транспортной системы	$S_k^p = S_k^{km} L_k$	$S^p = \sum_{k \in M} S_k^p$ (17)

где: $\sum_{\phi_s.M=k, \phi_s \in \Phi_{ij}} p_s$ - сумма вероятностей поездок по k -му маршруту при обслуживании ij корреспонденции;

l_{ij} - длина ij -й корреспонденции по кратчайшему пути;

$\tau_{\phi_1^x.i^m}^b$ - время пешего движения до $\phi_1^x.i^m$ -го остановочного пункта, первого

пункта поездки пассажира;

$\tau_{\phi_s^x.i^m}^o$ - время ожидания на остановке $\phi_s^x.i^m$; $\tau_{\phi_s^x.i^m}^o = 1/(2a_{\phi_s^x.M})$;

$t(\phi_s^x.i^m, \phi_s^x.j^m)$ - время движения по маршруту $\phi_s^x.m$ между остановочными пунктами $\phi_s^x.i^m$ и $\phi_s^x.j^m$;

$t(\phi_s^x.j^m, \phi_{s+1}^x.i^m)$ - затраты времени на пешее перемещение между остановочными пунктами предыдущей (ϕ_s^x) и следующей (ϕ_{s+1}^x) маршрутной поездки при пересадке;

$\tau_{\phi_n^x.j^m}^e$ - время пешего перемещения от $\phi_n^x.j^m$ -го остановочного пункта, последнего пункта поездки;

q_k - номинальная вместимость ПС на k -м маршруте;

P_k' - пассажирооборот при полном использовании вместимости; $P_k' = q_k * L_k$;

l_k^o - длина оборота по k -му маршруту;

$\bar{T}_k^m$ -среднее рабочее время ПС на k -м маршруте.

t_k^o - время оборота по k -му маршруту;

F^p - пассажирский тариф;

Q_k^d - количество корреспонденций k -го маршрута, которые могут быть обслу-

жены другими маршрутами;

Q_k - общее число корреспонденций k -го маршрута;

Q_k^u - количество корреспонденций, которые могут быть обслужены исключительно k -м маршрутом;

A_k - количество ПС на k -м маршруте;

q_k^{km} - число пассажиров, перевезенных за один километр пробега по k -му маршруту;

S_k^{km} - затраты на один км пробега подвижного состава по k -му маршруту.

Как упоминалось выше, решение задач проектирования перевозок заключается в оптимальном распределении транспортных ресурсов между маршрутами в соответствии с заданными критериями оптимальности. В п. 2.1.3 диссертации приведена система параметров эффективности и качества транспортного обслуживания пассажиров, которые разделены на группы процессов проектирования перевозок и управления наземным общественным транспортом. Примерный перечень критериев оптимальности решения задач проектирования перевозок приведен в табл. 2.

Таблица 2. Условия задач проектирования перевозок общественным транспортом

Наименование	Целевая функция	
Число обслуженных пассажирских корреспонденций	$T' = \sum_i \sum_j T_{ij} \sum_x p_x^{ij} \Rightarrow \max; \Phi_x^{ij} \leq n_{\max}$	(18)
Средний коэффициент динамического использования вместимости ПС	$\bar{\gamma} = \sum_k P_k / \sum_k P'_k \Rightarrow \min$	(19)
Интенсивность движения по маршрутам	$\sum_k a_k Q_k \Rightarrow \max$	(22)
Затраты времени пассажиров	$\sum_i \sum_j \tau_{ij} \Rightarrow \min$	(21)
Объем бюджетных субсидий	$\sum_{q_k^{km} < Q_m^{km}} (Q_k^{km} - q_k^{km}) L_k F^p \Rightarrow \min$	(22)
Пассажирский тариф	$F^p \Rightarrow \min$	23
Транспортная работа	$P \Rightarrow \min$	24

В качестве **ограничений** используются следующие показатели эффективности и качества перевозочного процесса:

- средний коэффициент динамического использования вместимости на k -м маршруте:

$$\bar{\gamma}_k \leq \gamma_{\max}; k = \overline{1, n} \quad (25)$$

- пропускная способность маршрутной сети:

$$\sum_k a_k \leq a_{ij}^{\max}; i \in W_k, j \in W_k \quad (26)$$

- интенсивность движения по маршруту:

$$a_{\min} \leq a_k \leq a_{\max}; k = \overline{1, n} \quad (27)$$

- экономическая эффективность перевозок:

$$q_k^{km} \geq Q_k^{km}; k = \overline{1, n} \quad (28)$$

- объем бюджетного субсидирования:

$$\sum_{q_k^{km} < Q_m^{km}} (Q_k^{km} - q_k^{km}) L_k F^p \leq S_{\max} \quad (29)$$

где: Q_k^{km} - минимальное число пассажиров на один км пробега, обеспечивающее рентабельную работу транспортного средства, использующегося на k -м маршруте;

$a_{\min}, a_{\max}$ - ограничения интенсивности движения ПС по маршрутам;
 $\gamma_{\max}$ - ограничения коэффициента динамического использования вместимости;
 $a_{ij}^{\max}$ - ограничение пропускной способности ij участка маршрутной сети;
 $S_{\max}$ - предельный объем бюджетного субсидирования.

Методика проектирования перевозок общественным транспортом состоит из следующих этапов:

1. **Дизайн маршрутной сети** (network structure design) заключается в выборе принципа формирования маршрутной сети, например, прямого обслуживания (direct service systems), магистральные и вспомогательные (периферийные) системы (trunk-feeder system), смешанные системы (hybrids systems). Также формулируются условия их применения и технологические ограничения.

Принципы дизайна маршрутной сети рассматриваются в разделе 2.1.3 диссертации.

2. **Анализ системы маршрутов.** В соответствии с предъявляемыми требованиями эффективности и дизайна осуществляется анализ и в необходимых случаях корректировка имеющихся маршрутов. При решении задачи проектирования маршрутной сети производится выбор существующих маршрутов, которые априорно включаются в сеть.

3. **Формирование исходного множества маршрутов**, используемых в задаче.

Задача проектирования маршрутной сети предполагает определение допустимых потенциальных маршрутов, которые могут быть организованы на транспортной сети. Маршрут формируется из двух терминалов и последовательности промежуточных остановочных пунктов. Условия допустимости маршрута обуславливаются установленными ограничениями длины, прямолинейности, интенсивности пассажирских потоков и т.д.

Для других задач проектирования перевозок исходное множество маршрутов – это существующая маршрутная сеть, которая на этапе 2 может быть частично откорректирована.

4. **Расчет оптимального варианта перевозок** осуществляется посредством эвристической процедуры направленного перебора вариантов, которые формируются путем варьирования распределения транспортных ресурсов между маршрутами.

В диссертации представлены алгоритмы расчета оптимального варианта маршрутной системы и структуры парка ПС. Данные задачи решаются в многокритериальной постановке методом целевого программирования, в соответствии с которым критерии (цели) упорядочиваются по степени важности и для каждого из них решается отдельная задача таким образом, что менее важная цель не может ухудшить критерий более высокого приоритета.

Выражение (18) задает критерий максимума обслуженных пассажирских корреспонденций при ограничении числа звеньев (маршрутных поездок) в сетевой поездке. Данный критерий описывает беспересадочное обслуживание при условии $|\Phi_x^{ij}| = 1$ (сетевая поездка состоит исключительно из одной маршрутной).

Ограничение числа пересадок обуславливается дизайном маршрутной сети и принятыми тарифами. Например, схема сети рис. 4а (прямое обслуживание) применяется при тарифе, в соответствии с которым пассажирский билет действителен только для одной маршрутной поездки. В этом случае один из критериев оптимальности за-

дачи - это максимальное число беспересадочных сообщений.

Схема рис. 4б может обеспечить меньшие затраты времени пассажира на ожидание начала поездки и более высокую экономическую эффективность работы оператора. Для данной схемы целесообразно применять тарифы, предусматривающие пересадку пассажира без дополнительной оплаты. В рассматриваемом случае допускаются сетевые поездки из двух звеньев ($|\Phi_x^{ij}| \leq 2$).

5. Экспертный этап. Экспертный анализ результатов решения задачи, разработка и оценка возможных вариантов совершенствования транспортной системы по предложениям экспертов.



Рис. 4. Пример вариантов дизайна маршрутной сети

Для расчета программы перевозок требуется определить нормативы следующих показателей:

- среднего коэффициента динамического использования вместимости ПС за расчетный период;
- среднего времени работы ПС на линии;
- пропускной способности участков маршрутной сети.

Необходимо рассчитать средний за время движения транспорта **коэффициент динамического использования вместимости** $\bar{\gamma}_{\max}$ таким образом, чтобы на участках сети с наибольшей мощностью пассажирских потоков обеспечивалось ограничение заданной вместимости ПС (q_n):

$$q_{kij} \leq q_n, \quad (30)$$

где: q_{kij} - количество пассажиров на j -м перегоне i -го рейса по k -му маршруту.

Известны следующие рекомендации по данному вопросу. Во-первых, для участков наибольшей мощности пассажиропотока коэффициент статического использования вместимости должен находиться в пределах от 0,7 до 0,8⁶, во-вторых, средний коэффициент динамического использования вместимости за время работы транспорта рекомендуется от 0,3 до 0,35⁷ или не выше 0,3⁶.

Пассажирские потоки нестационарные, они изменяются во времени и пространстве. В разделе 2.2.1 диссертации установлена и теоретически обоснована зависимость среднего коэффициента динамического использования вместимости ПС от параметров пассажирских потоков, времени работы транспортной единицы на маршруте, неравномерности скорости сообщения. На этой основе норматив коэффициента динамического использования вместимости:

⁶ Спирин И.В. Перевозки пассажиров городским транспортом: Справочное пособие. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2004

⁷ Вельможин А. В. Эффективность городского пассажирского общественного транспорта / Вельможин А. В., Гудков В. А., Куликов А. В., Сериков А. А./ Монография – Волгоград: 2002

$$\bar{\gamma} \leq \frac{\bar{T}}{k_h k_m k_t k_v \bar{T}_m}, \quad (31)$$

где: k_h, k_m, k_t, k_v - коэффициенты неравномерности: внутричасовой, распределения транспортной нагрузки по длине маршрута, направлениям маршрута, часам движения транспорта, скорости сообщения соответственно;

$\bar{T}, \bar{T}_m$ - продолжительность периода движения транспорта, среднее время работы ПС на линии соответственно.

На рис. 5 приведена зависимость коэффициента использования вместимости от времени работы ПС на маршруте и неравномерности скорости сообщения.

По результатам проведенных обследований пассажирских потоков установлено, что средний за рабочий день коэффициент динамического использования вместимости по маршрутам сети городского общественного транспорта варьируется от 0,2 до 0,39, в среднем составляет 0,28. В периоды наибольшей мощности пассажирских потоков данный параметр составляет от 0,45 до 0,73.

Таким образом, средний коэффициент использования вместимости изменяется в широких пределах, его следует рассчитывать для каждого маршрута в отдельности.

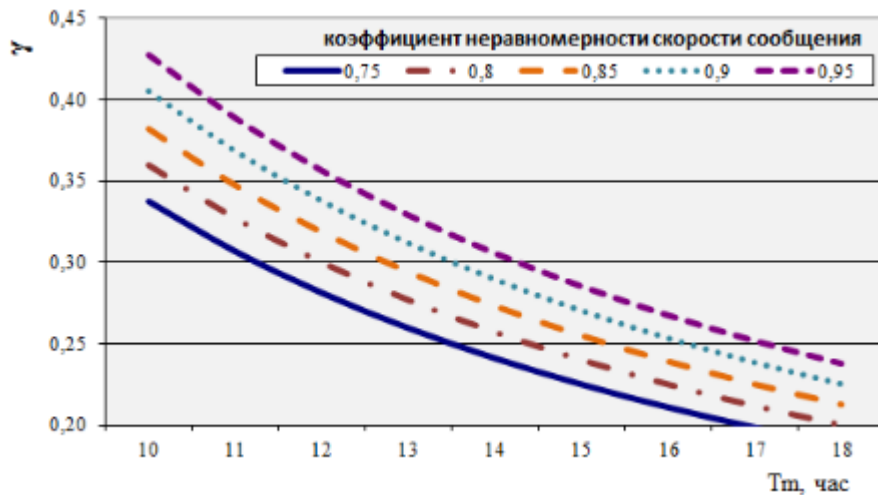


Рис. 5. Зависимость коэффициента динамического использования вместимости (γ) от среднего времени работы ПС на маршруте (T_m) и неравномерности скорости сообщения

От среднего времени работы ПС $\bar{T}_m$ зависят интервалы между транспортными единицами на маршрутах в разные периоды движения транспорта. $\bar{T}_m$ находится в теоретических пределах от максимального, соответствующего всему периоду движения транспорта, до минимального, которое ограничено вместимостью ПС (рис. 6). На графике минимальное время определено исходя из среднего числа пассажиров в салоне транспортного средства в период наибольшей мощности пассажирских потоков, которое является максимально допустимым наполнением ПС. Таким образом, в зависимости от времени работы ПС, среднее число пассажиров в транспортном средстве изменяется от $q_{\min}$ до q_m . Таким образом:

$$\bar{T}_m \leq \bar{T}; \bar{T}_m \geq \bar{T} k_v / k_t, \quad (32)$$

$$I_i \leq \frac{I_p P_p T_p}{P_i T_i k_v}, \quad (33)$$

$$\bar{T}_m = T_p + T_w I_p / I_w + T_b I_p / I_b, \quad (34)$$

где: I_p, I_w, I_b - интервал движения ПС по маршрутам в периоды пиковых пассажиропотоков, межпиковое время, в начале и завершении работы транспорта соответственно;

T_p, T_w, T_b - длительность периодов пиковых пассажиропотоков, межпикового времени, начала и завершения движения транспорта соответственно;

I_i - значение интервала движения в i -м периоде;

P_i, P_p - часовой объем транспортной работы в i -м периоде и в периодах пиковых пассажиропотоков соответственно.

Посредством выражения (33) рассчитываются интервалы движения ПС по маршрутам в зависимости от параметров пассажирских потоков в соответствующем периоде функционирования транспорта.

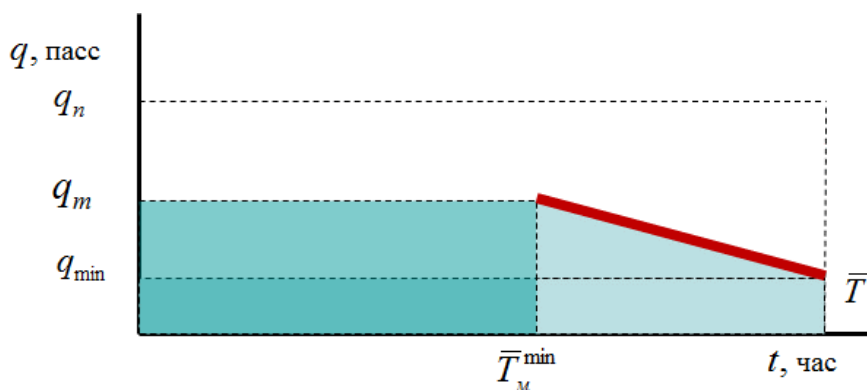


Рис. 6. Зависимость наполнения ПС от среднего времени работы на маршруте, где: q_m - среднее число пассажиров в салоне ПС в пиковый период; q_n - номинальная вместимость ПС

Предельная интенсивность движения ПС по участку сети ограничивается **пропускной способностью остановочных пунктов**, которые в работе рассматриваются как многоканальная однофазовая система массового обслуживания (СМО) с очередью (рис. 7). Количество каналов обслуживания в модели (n) соответствует числу остановочных мест. В систему поступает поток заявок (транспортных средств) с интенсивностью λ .

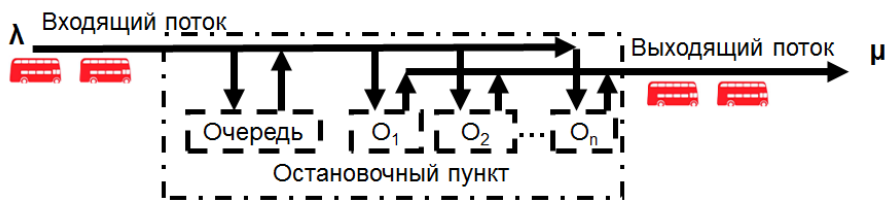


Рис. 7. Схема остановочного пункта как СМО

Каналы обслуживания обладают неодинаковой производительностью, т.е. интенсивность потока обслуженных заявок:

$$\mu = \sum_{i=1}^m \mu_i = k_m \mu', \quad (35)$$

где: μ_i - пропускная способность i -го канала обслуживания;

k_m - коэффициент приведения к интенсивности обслуживания первого канала (μ') при m занятых каналах ($k_1 = 1; k_2 \leq 2; \dots$).

На рис. 8 приведена схема изменения состояний СМО. В разделе 2.3 диссертации разработана аналитическая и имитационная модели функционирования остановочного пункта, в которых учтена неодинаковая производительность каналов обслуживания. Аналитическая модель применима для пуассоновских потоков поступления

и обслуживания заявок. Имитационная модель разработана на основе принципа последовательной проводки заявки (таблица 3).



Рис. 8. Схема изменения состояний СМО (с тремя каналами), где: e_i – событие поступления или обслуживания заявки в t_i ; $s_j, j = \overline{1, \infty}$ – состояние СМО

Таблица 3. Математическая модель функционирования ОП

Параметры	Аналитическая	Имитационная
1. Вероятность отсутствия требований в системе	$P_0 = \left(1 + \sum_{i=1}^n \frac{\rho^i}{\prod_{i=1}^n k_i} + \frac{\rho^{n+1}}{\prod_{i=1}^n k_i \cdot (k_n - \rho)}\right)^{-1}$	$P_0 = T_0 / T \quad (36)$
2. Вероятность очереди	$P_{wt} = P_0 \frac{\rho^n}{\prod_{i=1}^n k_i} \cdot \frac{1}{(1 - \frac{\rho}{k_n})}$	$P_{wt} = \sum_{i>n} T_i / T \quad (37)$
3. Средняя длина очереди	$\bar{l}_{wt} = P_0 \frac{\rho^{n+1}}{\prod_{i=1}^{n-1} k_i \cdot (k_n - \rho)^2}$	$l_{wt} = \frac{\sum_{i>n} (i - n) T_i}{\sum_{i>n} T_i} \quad (38)$

где: $\rho = \lambda / \mu'$; T_i - время нахождения системы в состоянии S_i ;

T - длительность имитации.

Разработанная математическая модель позволяет рассчитывать показатели системы при определенных параметрах случайного процесса поступления и обслуживания заявок. По результатам проведенных экспериментальных исследований (рис. 9) научно обоснован и экспериментально подтвержден метод нормирования пропускной способности остановочного пункта, основанный на критерии отказа в обслуживании (наличия очереди), который рассчитывается в соответствии со стандартными в статистике уровнями значимости вероятности 0,01 (1%); 0,05 (5%); 0,1 (10%). Уровни значимости применяются в зависимости от степени влияния остановочного пункта на транспортный трафик.

Для **систем мониторинга транспортного спроса** актуальным направлением является определение пассажирских корреспонденций на основе интеллектуального анализа операций валидации электронных проездных билетов (электронных устройств, electronic gadget), реквизиты которых фиксируются в автоматизированной системе управления перевозками.

Требуется восстановить множество маршрутных (**P**) и сетевых (**H**) поездок пассажиров (пассажирских корреспонденций), выполненных по электронным проездным

билетам. Сетевая корреспонденция состоит из одной или нескольких последовательных маршрутных.

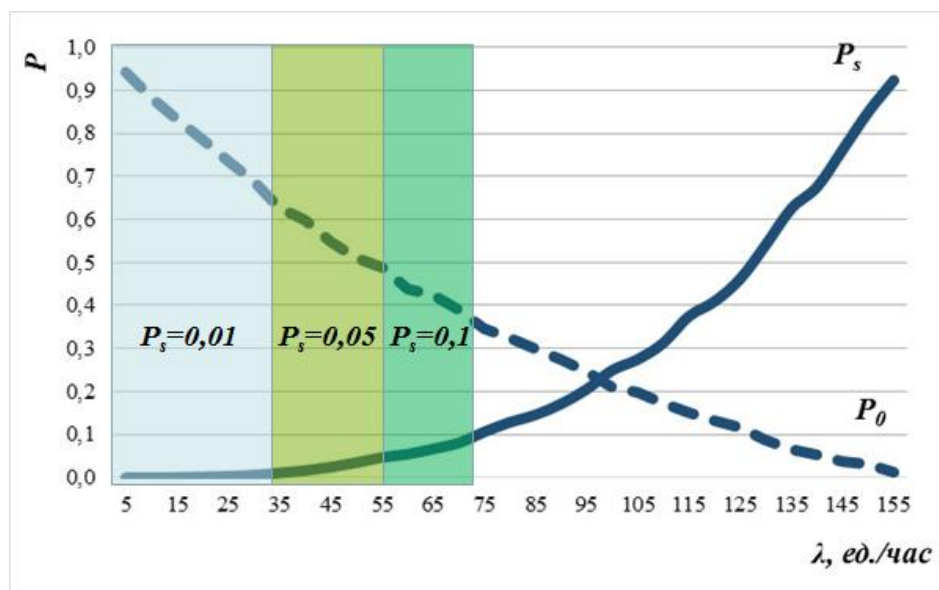


Рис. 9. Схема определения пропускной способности остановочного пункта по критерию вероятности очереди, где: P_0 - вероятность отсутствия заявок в системе; P_s - вероятность очереди

Разработанная в диссертации методика определения спроса на городской общественный транспорт путем анализа операций валидации электронных проездных билетов, в отличие от существующих алгоритмов, обеспечивает:

- обработку операций валидации электронных билетов, осуществленных как в начале, так и в конце поездки.
- установление последней поездки за день путем анализа цепочки операций валидации, выполненных в последующий период, в отличие от опубликованных алгоритмов, в которых пункт назначения последней поездки определяется на основании гипотезы возвращения пассажира в начало первой поездки;
- определение транспортного спроса с учетом нераспознанных операций валидации посредством теоретически обоснованных и апробированных весовых коэффициентов;
- оценку репрезентативности пассажирских корреспонденций, полученных из операций валидации электронных проездных билетов.

В транзакции валидации регистрируется идентификатор билета, время совершения операции и транспортное средство. Необходимо установить остановочный пункт валидации, который является началом или завершением пассажирской корреспонденции в зависимости от принятого правила оплаты проезда: в начале и конце поездки. При оплате в начале поездки остановочный пункт, предыдущий валидации электронного билета, является началом пассажирской корреспонденции, в обратном случае (при оплате в конце поездки) пункт, следующий за операцией валидации, - это завершение корреспонденции пассажира (рис. 10). Остановочные пункты определяются посредством фактической траектории движения ПС по сети, которая формируется на основе данных системы диспетчерского управления и навигационных отметок ГЛОНАСС (п. 2.5.2 диссертации).

Таким образом, из операции валидации определен один из пунктов пассажирской корреспонденции. Противоположный пункт (конечный или начальный) рассчитывается из смежной валидации электронного билета при выполнении условий связанности операций. К смежной относится следующая операция при оплате проезда в

начале поездки или предыдущая операция, если плата с пассажиров собирается в конце поездки. Условия связанности операций позволяют устанавливать последовательные поездки, между которыми нет передвижений, не зафиксированных посредством валидации электронного билета.

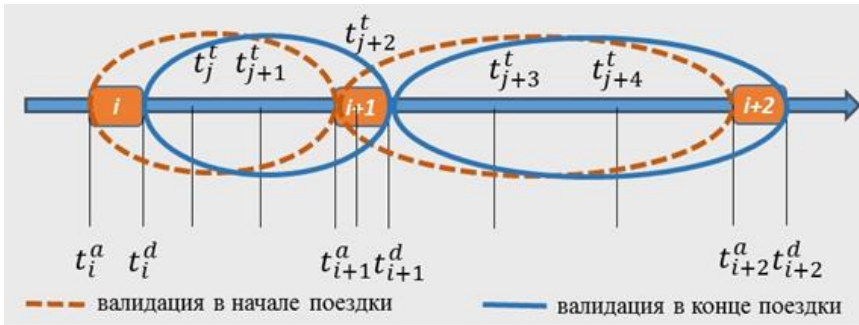


Рис. 10. Схема определения остановочного пункта валидации; где: $t_j^t, t_{j+1}^t, \dots$ - время валидации билета; $t_j^a, t_{j+1}^a, \dots$ - время прибытия на $j, j+1, \dots$ остановочный

пункт соответственно; $t_j^d, t_{j+1}^d, \dots$ - время отправления с остановочного пункта.

Условия связанности текущей и смежной операций валидации электронного билета:

$$\text{а) при оплате в начале поездки} \quad l(i_j, i_{j+1}) > L_p; l(i_j^+, i_{j+1}) < L_p; \quad (39)$$

$$\text{б) при оплате в конце поездки} \quad l(i_j^-, i_{j-1}) > L_p; l(i_j^-, i_{j-1}^-) < L_p, \quad (40)$$

где: L_p - расстояние пешеходной доступности;

i_j, i_j^+ - ОП, предыдущий валидации в j -й операции, следующий за валидацией в j -й операции;

i_j^+ - пункт маршрута, расположенный после пункта начала поездки j -й операции валидации;

i_j^- - пункт маршрута, расположенный перед пунктом завершения поездки j -й операции валидации.

При оплате в начале поездки пункт завершения корреспонденции i_j^+ выбирается из условия $l(i_j^+, i_{j+1}) \rightarrow \min$. В обратном случае (если оплата в конце поездки) условие пункта начала корреспонденции i_j^- : $l(i_j^-, i_{j-1}^-) \rightarrow \min$.

Разработанный алгоритм решения задачи приведен в разделе 2.4 диссертации.

Формирование сетевых корреспонденций осуществляется из множества маршрутных межостановочных корреспонденций пассажиров. Для каждого проездного билета маршрутные корреспонденции упорядочиваются по времени. По результатам анализа условий пересадки из данной последовательности составляются сетевые корреспонденции.

Условия пересадочности (связанности) маршрутных корреспонденций:

а) пункт завершения текущей маршрутной корреспонденции (i_j^e) находится в пешеходной доступности (L_p) от пункта начала следующей корреспонденции (i_{j+1}^b):

$$l(i_j^e, i_{j+1}^b) < L_p; \quad (41)$$

б) интервал времени между завершением текущей корреспонденции (t_j^e) и началом следующей (t_{j+1}^b) не превышает время пересадки (T_p):

$$(t_{j+1}^b - t_j^e) < T_p. \quad (42)$$

Сформированное в результате решения задачи множество маршрутных и сетевых пассажирских корреспонденций является выборкой из генеральной совокупности поездок пассажиров. Некоторые операции валидации остаются неопределенными, у них неизвестен один из пунктов поездки. Такие корреспонденции возникают, если пассажир совершает часть перемещений без валидации электронного билета (например, на такси).

Количество перевезенных пассажиров по k -му маршруту рассчитывается:

$$Q_k = Q_k' / \alpha_k^r, \quad (43)$$

где: α_k^r - удельный вес поездок по электронным билетам по k -му маршруту;

Q_k' - число пассажиров k -го маршрута по электронным билетам.

Расчет матрицы маршрутных корреспонденций:

$$T_{ij} = \sum_k (p_{kij} \varphi_{ki} + p_{kij}' \varphi_{kj}) / \alpha_k^r, \quad (44)$$

где: T_{ij} - расчетное количество поездок между пунктами i, j ;

p_{kij}, p_{kij}' - количество распознанных поездок между пунктами i, j по k -му маршруту, для которых пункт валидации является началом или завершением корреспонденции соответственно;

$\varphi_{ki}, \varphi_{kj}$ - коэффициент балансировки операций валидации на i -м или j -м остановочном пункте k -го маршрута ($\varphi_{ki} \geq 1; \varphi_{kj} \geq 1$).

Коэффициент балансировки s -го остановочного пункта k -го маршрута:

$$\varphi_{ks} = (z_{ks}^0 + z_{ks} + z_{ks}') / (z_{ks} + z_{ks}'), \quad (45)$$

где: $z_{ks}^0, z_{ks}, z_{ks}'$ - количество нераспознанных операций валидации на s -м остановочном пункте, количество интерпретированных операций на s -м пункте в начале или конце поездки по k -му маршруту соответственно.

Автоматизированная система диспетчерского управления (АСДУ) общественного транспорта описывается посредством дискретно-событийного моделирования, в соответствии с которым управляемая подсистема представляется динамической, асинхронной, переходы состояний в ней инициируют события, происходящие в дискретные моменты времени.

Разработанная и реализованная в информационной системе BusTrafficManagement структурная схема АСДУ приведена на рис. 11. Объект управления представлен двумя подсистемами: парком ПС (Car Fleet) и транспортной сетью (Transport Network). В вершинах транспортной сети находятся терминалы ($T_1, \dots, T_k$) или контрольные пункты ($CP_1, \dots, CP_p$). Терминалы - это функциональные блоки, выполняющие процессы автовокзалов, автостанций и других линейных сооружений. Функциональные блоки терминалов подразделяются на активные, в которых осуществляется диспетчерский контроль транспортного процесса, и пассивные, служащие для осуществления вспомогательных операций (например, смены экипажей).

Имеется два типа функциональных блоков управления транспортными средствами (Car_1 CU, ..., Car_m CU): оборудованные системой спутниковой навигации (активные) и без данной системы (пассивные).

Включение в объект управления транспортных терминалов обеспечивает повышение эффективности диспетчерской системы: контролируется не только процесс движения транспорта (как в других системах), но и функционирование автовокзалов и автостанций, посадка-высадка и регистрация пассажиров. Через активные терминалы также осуществляется управление транспортными средствами с отсутствующей или неработающей спутниковой навигацией, что существенно повышает надежность диспетчерского управления.

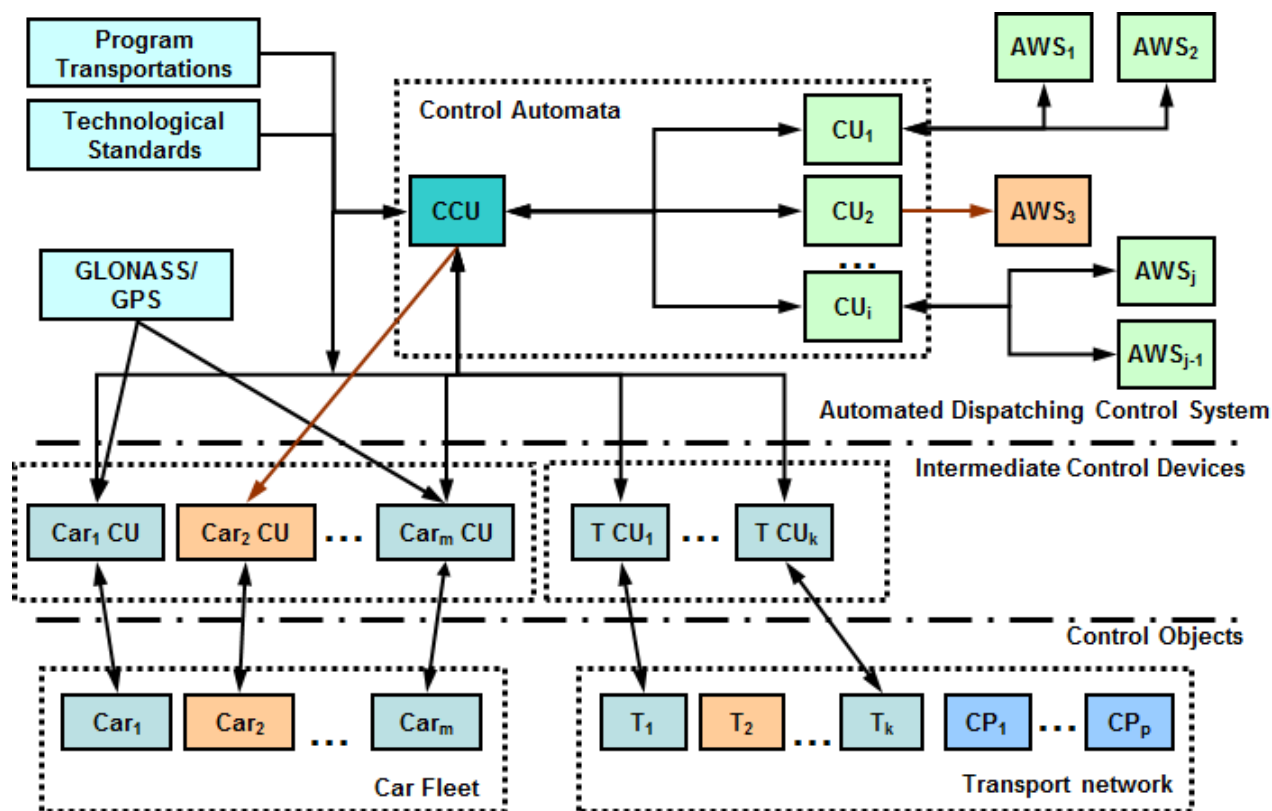


Рис.11. Структурная схема системы диспетчерского управления; где: CCU - центральный блок управления; CU - блок управления; GLONASS/GPS - глобальная навигационная спутниковая система; AWS - автоматизированное рабочее место; CarCU - функциональный блок транспортного средства; TCU - функциональный блок транспортного терминала; Car - транспортное средство; T - транспортный терминал; CP - контрольный пункт

АСДУ состоит из двух подсистем: автоматического управления (Control Automata) и комплекса автоматизированных рабочих мест (Automated Workstation - AWS). Имеются активные и пассивные AWS. Пассивные рабочие места используются для предоставления информации о движении без управления, например, уполномоченным организациям, контролирующим органам, заказчикам перевозок и т.д.

AWS делятся на рабочие места диспетчерского контроля и диспетчерского управления. Места диспетчерского контроля предназначены для фиксирования операций технологического процесса транспортных терминалов, например, прибытия ПС, начала посадки пассажиров, отправления транспортных средств и т.д. Посредством активных рабочих мест решаются задачи диспетчерского управления путем осуществления в реальном режиме времени оценки соответствия фактического движения плановой программе перевозок и установленным технологическим нормативам.

Источниками событий АСДУ, обуславливающих переходы состояний объекта

управления, являются функциональные блоки транспортных терминалов (Т СУ) и автотранспортных средств (Car СУ), а также центральный блок управления (С СУ).

Для обеспечения процессов диспетчерского управления на основании данных спутниковой навигации формируются траектории фактического движения ПС. Настоящая задача рассмотрена в разделе 2.5.2 диссертации. Фактической траекторией движения транспортного средства является упорядоченное множество контрольных пунктов транспортной сети с указанием времени прибытия и отправления.

Требуется определить соответствие планового и фактического маршрутов ПС. Плановому маршруту R необходимо поставить в соответствие фактический маршрут R' .

Разработанный в диссертации метод предусматривает решение данной задачи следующим образом. Во-первых, определяется маршрут R' : в фактической траектории рассчитывается контрольный пункт, соответствующий началу планового маршрута. Пунктом завершения маршрута является начальный пункт следующего планового маршрута или последний пункт фактической траектории (см. раздел 2.5.3 диссертации).

Во-вторых, выполняется оценка соответствия фактического и планового маршрутов как задача динамического программирования о нахождении наибольшей общей подпоследовательности двух упорядоченных множеств: контрольных пунктов планового и фактического движения.

Имеется два множества: R , R' - плановый и фактический маршруты транспортного средства. Требуется определить множество R^s - наибольшую общую подпоследовательность элементов множеств R и R' . Для хранения промежуточных результатов используется трехмерная матрица $a[m+1, n+1, 2]$, в которую на пересечении строки i и столбца j записывается номер пункта планового и фактического маршрутов.

Разработан следующий алгоритм решения задачи:

1. Вычисление длины наибольшей общей подпоследовательности.

$D(i, j) = 0$ для $i = 0, j = 0..n; i = 0..m, j = 0$;

Для $i = 1..m, j = 1..n$ рассчитывается:

$$\text{если } k_{i-1} = k'_{j-1} \begin{cases} D(i, j) = D(i-1, j-1) + 1 \\ a(i, j, 1) = i-1 \\ a(i, j, 2) = j-1 \end{cases} ; \quad (46)$$

иначе:

$$\text{если } D(i-1, j) > D(i, j-1) \begin{cases} D(i, j) = D(i-1, j) \\ a(i, j, 1) = i-1 \\ a(i, j, 2) = j \end{cases} ; \quad (47)$$

$$\text{иначе} \begin{cases} D(i, j) = D(i, j-1) \\ a(i, j, 1) = i \\ a(i, j, 2) = j-1 \end{cases} \quad (48)$$

В результате расчета в $D(m, n)$ записана длина наибольшей подпоследователь-

ности.

2. Поиск подпоследовательности вычисленной длины осуществляется по заполненному массиву $D(m, n)$ посредством метода Вагнера и Фишера, основанного на приеме, который называется следом (trace).

Определение подпоследовательности начинается с последнего элемента, т.е с $z = D(m, n)$, $i = m$, $j = n$.

В цикле рассчитывается:

если $a(i, j, 1) = i - 1$ и $a(i, j, 2) = j - 1$, $r_z^s(p, p') : p_z = i - 1; p'_z = j - 1;$

$i = i - 1; j = j - 1$,

иначе:

если $a(i, j, 1) = i - 1$ и $a(i, j, 2) = j$, $i = i - 1; j = j$,

иначе:

если $a(i, j, 1) = i$ и $a(i, j, 2) = j - 1$, $i = i; j = j - 1$.

Если $i = 0$ или $j = 0$, расчет закончен, реляционное множество $R^s(P, P')$ содержит перечень номеров совпадающих пунктов планового и фактического маршрутов.

В третьей главе описаны методики экспериментальных исследований:

- определения транспортного спроса, обследования пассажирских потоков городского общественного транспорта с использованием современных информационных технологий и реляционных СУБД;
- статистической обработки экспериментальных данных, анализа экспериментальных выборок;
- моделирования функционирования остановочных пунктов городского пассажирского транспорта посредством теории массового обслуживания;
- расчета параметров программы перевозок общественного транспорта с использованием реляционных СУБД.

В данной главе также рассмотрена интегрированная информационная система организации и управления перевозками пассажиров общественным транспортом BusTrafficManagement, посредством которой осуществлены экспериментальные исследования процессов диспетчерского управления (рис. 12).

Система BusTrafficManagement разработана под руководством автора диссертации лабораторией транспортного моделирования СФУ по заказу и при участии ОАО Автоколонна 1967», внедрена в 2012 году. В настоящее время ее используют более 20 крупных перевозчиков Красноярского края, Томской области, Кемеровской области, Алтайского края, выполняющих междугородные, пригородные, специальные, заказные и школьные перевозки. В системе BusTrafficManagement обрабатывается порядка 600 рейсов в сутки, обслуживается более 2 млн пассажиров в год, она доказала свою эффективность при решении задач транспортного обеспечения Универсиады-2019.

Подсистема диспетчерского управления BusTrafficControl информационной системы BusTrafficManagement разработана на основе формального описания, приведенного на рисунке 11. В данной системе (рис. 13) реализовано комплексное (интегрированное) использование информационных потоков: спутниковой навигации ГЛОНАСС/GPS, диспетчерского контроля автовокзалов, автостанций и остановочных

пунктов, нормативной и корпоративной информационных систем, а также системы видеонаблюдения BusTrafficVideo.

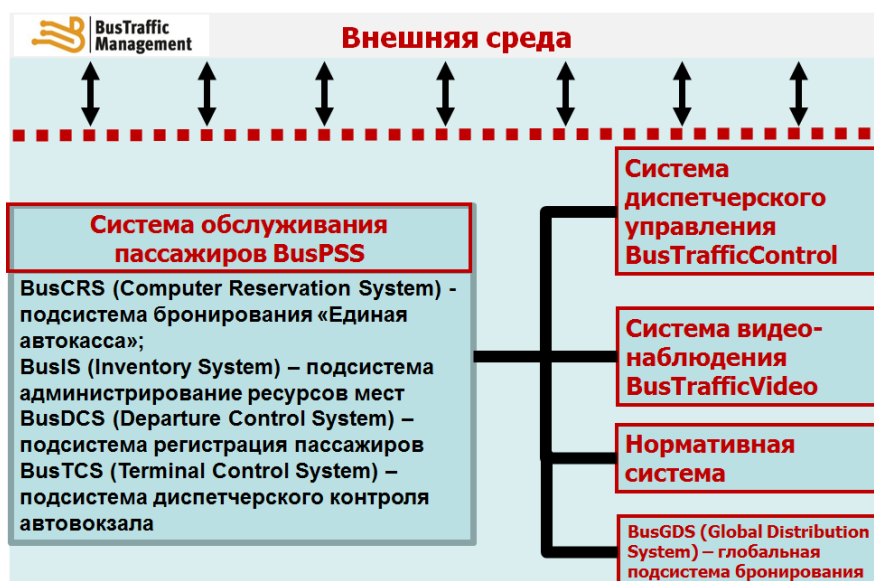


Рис. 12. Функциональная схема информационной системы организации и управления перевозками пассажирами общественным транспортом BusTrafficManagement



Рис. 13. Функциональная схема системы диспетчерского управления BusTraffic-Control

В четвертой главе представлены основные результаты применения разработанных методологических основ проектирования перевозок и управления общественным транспортом.

Апробация разработанной методики **определения спроса общественного транспорта** по операциям валидации электронных билетов осуществлена по данным за октябрь 2016 года и апрель 2019 года, предоставленным Муниципальным казенным учреждением города Красноярск (МКУ) «Красноярскгортранс». В настоящее время на пассажирском транспорте города Красноярск производится порядка 6 млн поездок в месяц по электронным проездным билетам.

Разработанный алгоритм позволяет интерпретировать порядка 65% валидаций электронных билетов.

В разделе 4.2.1 диссертации рассмотрена задача оценки репрезентативности поездок, полученных из валидаций электронных билетов, генеральной совокупности пассажирских корреспонденций общественного транспорта. Для ее решения поездки по электронным билетам сравниваются с результатами выборочного автоматизированного учета пассажиров, осуществленного посредством специально оборудованных транспортных средств. Объем учета составил более 281 тысяч пассажиров за апрель

2019 г и 336 тысяч пассажиров за октябрь 2016 г. Обследовано 6938 рейсов в апреле 2019 г. и 6094 рейса в октябре 2016 г. Всего рассмотрено 11 из 68 (16%) постоянных маршрутов пассажирского транспорта города Красноярск.

Разработанная методика решения рассматриваемой задачи основана на оценке распределения по длине маршрута количества входящих и выходящих пассажиров, полученных по результатам валидаций электронных билетов (выборка 1) и инструментального обследования (выборка 2). На рис. 14 дана гистограмма такого распределения вошедших пассажиров одного из маршрутов, которая позволяет выдвинуть гипотезу о том, что две рассматриваемые выборки относятся к одной и той же совокупности.

Для сравнения двух независимых несвязанных выборок использован критерий Стьюдента (t -критерий). Рассчитанная статистика критерия позволяет принять данную гипотезу для всех обследованных маршрутов (см. раздел 4.2.1 диссертации).

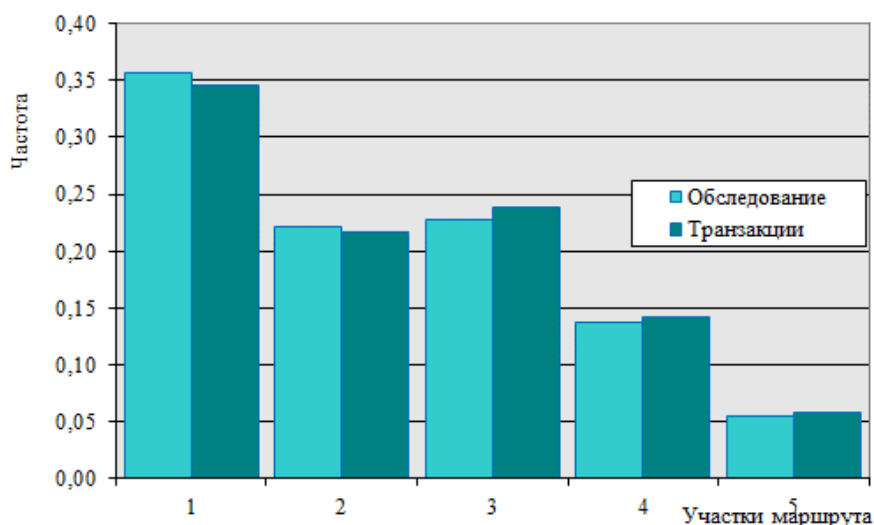


Рис. 14. Гистограмма распределения числа вошедших пассажиров по длине маршрута №61 (обратное направление)

Таким образом, доказано, что пассажирские корреспонденции, полученные из операций валидации электронных билетов, репрезентативны генеральной совокупности пассажирских поездок. Они могут применяться для объективной оценки транспортного спроса, качества обслуживания и эффективности функционирования транспортной системы (рис. 15).

Маршрут	Q_k	P_k	l_q	Z_m	Q_p	q_n	L_m	γ_d	K_{sm}	
10	5918	35252	6,0	121	49,1	90	22,8	0,14	3,8	Q_k - объем перевозок, пасс.
11	5451	22602	4,1	177	30,8	90	10,3	0,14	2,5	P_k - пассажирооборот, пасс-км
12	8425	65963	7,8	140	60,4	90	28,9	0,18	3,7	l_q - средняя дальность поездки пассажира, км
13т	5084	15084	3,0	113	45,1	90	8,5	0,18	2,9	Z_m - рейсов по маршруту
14	1511	8100	5,4	32	47,7	45	16,3	0,35	3,0	Q_p - пассажиров на рейс, пасс.
										q_n - номинальная вместимость транспортного средства, пасс.
										L_m - длина маршрута, км
***										γ_d - коэффициент динамического использования вместимости
ИТОГО	710049	4342741	6,2					0,27		K_{sm} - коэффициент сменности пассажиров

Рис. 15. Техничко-эксплуатационные показатели транспортной системы

Рассчитанный объем перевозок за будний день апреля 2019 года составил порядка 710 тысяч пассажиров. Перевозки в будние дни имеют стабильный характер,

незначительное снижение на 4% объема перевозок наблюдается в понедельник. В выходные дни число перевезенных пассажиров существенно отличается от будних дней и составляет 64% в субботу и 50% в воскресенье от среднего числа пассажиров в будний день.

Уровень пересадочности маршрутной сети города Красноярска составляет 4,4%. Средняя дальность поездок пассажиров: 6,4 км по операциям с электронными билетами.

Полученные технико-эксплуатационные показатели функционирования транспортной системы подтверждаются отчетными данными перевозчиков и ранее проведенными обследованиями пассажирских потоков.

Проведенные расчеты **оптимальной маршрутной сети и структуры парка ПС** города Красноярска подтверждают эффективность теоретических и методических рекомендаций проектирования перевозок, нормирования параметров транспортного предложения, таких как пропускная способность остановочных пунктов, рабочее время ПС, коэффициент использования вместимости. Разработанный проект маршрутной сети города Красноярска существенно превосходит исходный вариант по экономической эффективности, качеству транспортного обслуживания, уровню обслуживания транспортных районов и другим параметрам (таблица 4).

В проектной сети на 10% повысилась провозная способность парка за счет удельного веса автобусов большой вместимости, на 65% уменьшилось число маршрутов, на 38% увеличилось количество пассажиров, приходящихся на 1 км пробега, на 66% снижена интенсивность движения на наиболее напряженных участках сети. В результате эффективность маршрутной системы увеличилась на 10%.

Разработанная маршрутная сеть утверждена Постановлением главы города Красноярска №371 от 15.07.2008 г. и внедрена в эксплуатацию (см. Приложение Е диссертации).

Таблица 4. Сравнительные параметры исходной и проектируемой маршрутной сети

Наименование показателя	Исходная	Проектируемая
Количество маршрутов	104	63
Удельный вес маршрутов с интервалом движения, %		
до 10 мин	55	82
от 10 до 15 мин	6	12
свыше 15 мин	39	6
Протяженность, км	1991	1269
Количество автобусов, ед.	1353	987
Структура парка, %		
малой вместимости	46	13
средней вместимости	21	41
большой вместимости	34	46
Пассажиры-мест	91436	93809
Пассажиров на 1 км пробега	2,9	4,0
Количество поездок с пересадками, %	1,5	4,0
Коэффициент использования вместимости	0,3	0,28
Количество субсидируемых маршрутов	47	11
Коэффициент уникальности маршрутов	0,16	0,25

Производственная проверка разработанной дискретно-событийной системы диспетчерского управления наземным пассажирским транспортом общего пользования выполнена посредством информационной системы BusTrafficControl. Осу- ществленные экспериментальные исследования оперативного контроля и комплекс- ного анализа текущего и исполненного движения подтвердили практическую эффек- тивность метода расчета фактической траектории движения транспортных средств, определения соответствия планового и фактического маршрутов наземного пасса- жирского транспорта общего пользования, которые позволяют в реальном режиме времени осуществлять расчет интегральных и дифференциальных параметров транс- портного процесса.

На рис. 16 и 17 приведен пример информации о реальном движении по заказ- ному и регулярному маршруту в системе диспетчерского управления BusTrafficControl.

Движение рейса 110									
На карте График скоростей		Дата заказа	28.02.19	Дата заказа	28.02.19				
		Заказчик	ДК Свердловский	Автобус	X 749 MB 124 NEOPLAN NORTH-51m				
		Водитель	Плехов В.В.	Местоположение					
№ п/п	Контрольный пункт	Прибытие план	Прибытие факт	Отправление план	Отправление факт	Простой план	Простой факт	Пробег км	
1	Автоколонна 1967		15:43	06:00	05:53		14:10		
2	Театральная площадь		06:03		06:03		00:00	4,6	
3	Предмостная площадь		06:05		06:05		00:00	6,6	
5	ДК Свердловский		06:36		06:36		00:00	9,3	
6	ул. Свердловская3		06:43		06:43		00:00	11,9	
7	ул. Сплавучасток								
9	Арена Платинум		07:01		07:01		00:00	18,6	
11	ул. Сплавучасток		08:59		08:59		00:00	26	
12	ул. Свердловская3		09:37		09:37		00:00	34,1	
13	ДК Свердловский		09:42		09:42		00:00	36,2	
14	Остров Татышев								
15	ТРЦ Планета								
16	Автоколонна 1967	10:00	11:59				15:31	49,8	

Рис. 16. Информация о движении по заказному маршруту

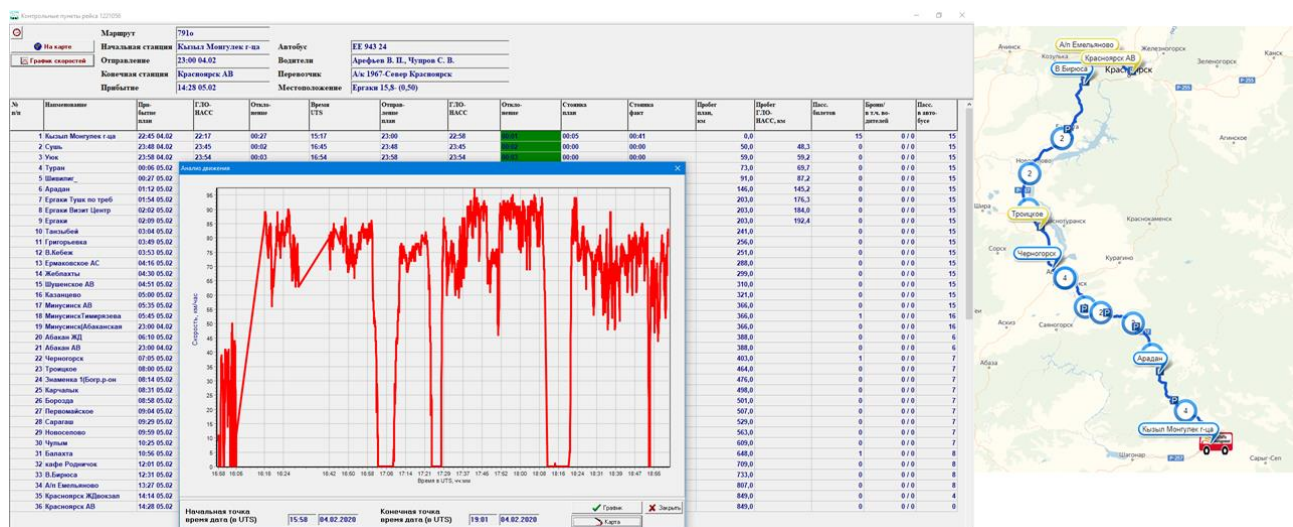


Рис. 17. Информация о движении по регулярному маршруту

Высокий уровень соответствия фактических перевозок расписанию стимулирует стабильный пассажирский спрос. Эффективное диспетчерское управление исключает отправление автобусов из промежуточных остановочных пунктов ранее расписания. В результате существенно повысился удельный вес поездок по предварительно приобретенным билетам, что фактически предотвращает переток пассажиров к конкурирующим, зачастую нелегитимным, перевозчикам.

В системе диспетчерского управления BusTrafficControl регулярность движения составляет 95% для рейсов через пассажирские станции и 90% через промежуточные остановочные пункты.

Повышение регулярности движения, а также широкий спектр услуг, предоставляемых пассажирам, обеспечили увеличение объема перевозок примерно на 20%. Для периферийных пассажиров кардинально повысилось качество транспортного обслуживания. До внедрения системы BusTrafficManagement реализация пассажирских билетов от промежуточных станций осуществлялась по прибытию автобуса, не производилась предварительная продажа, исполнение расписания контролировалось слабо: автобусы зачастую отправлялись раньше планового времени.

Таким образом, внедрение системы диспетчерского управления имеет значительный социальный эффект – повысилось качество обслуживания периферийных пассажиров, удельный вес которых достигает 50%.

В **пятой главе** рассмотрены показатели эффективности методологии проектирования перевозок и управления наземным общественным транспортом:

- транспортного предложения, сформированного в результате проектирования маршрутной сети и структуры парка ПС;
- информационной системы диспетчерского управления наземным общественным транспортом на примере перевозок пассажиров по междугородным регулярным автобусным маршрутам.

Экономическая эффективность проекта комплексной маршрутной сети общественного транспорта города Красноярска составила порядка 2,5 млн рублей за будний день работы транспорта, т.е. порядка 2,5 рублей на одну поездку пассажира.

Эффективность проектов информационной системы диспетчерского управления перевозками общественным транспортом определена путем сопоставления затрат ресурсов для проектирования, разработки, внедрения, развития и обеспечения функционирования с результатами работы рассматриваемой системы после реализации проекта.

Сформированный комплекс оценочных параметров процесса диспетчерского управления общественным транспортом учитывает факторы эксплуатационной и экономической эффективности регулярных пассажирских перевозок.

Общие капитальные расходы на внедрение ИС диспетчерского управления из расчета численности 100 единиц ПС составляют 6,6 млн рублей, ежемесячные эксплуатационные затраты равны 422,5 тыс. рублей. Экономическая эффективность превышает 26 млн рублей в год, т.е. 260 тысяч рублей в год на автобус или 1,35 тысяч рублей на один километр пробега ПС. Срок окупаемости капитальных затрат составляет 0,3 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе разработанных автором научно-методических положений, математических моделей, технологических предложений решена крупная научная проблема – впервые определены методологические основы и теоретически обоснован комплекс математических моделей проектирования перевозок и управления наземным пассажирским транспортом общего пользования, разработаны новые и усовершенствованы существующие методы и методики решения данных задач, внедрение которых повышает эффективность систем общественного транспорта и вносит значительный вклад в развитие транспортной отрасли страны.

1. Теоретически обоснованная многокритериальная математическая модель, разработанный эвристический алгоритм оптимального распределения транспортных ресурсов между маршрутами обеспечивают решение задач проектирования перевозок наземным общественным транспортом с учетом взаимного влияния маршрутов, транспортного спроса, технологических нормативов, показателей экономической эффективности и качества транспортного обслуживания населения.

На маршрутной сети общественного транспорта города Красноярска разработанная методология обусловила повышение провозной способности парка на 10% за счет удельного веса ПС большого и среднего классов, увеличение на 38% числа пассажиров, перевезенных за один километр пробега, снижение на 65% количества маршрутов и на 66% интенсивности движения на участках сети с наибольшей мощностью потоков общественного транспорта. Эффективность маршрутной системы возросла примерно на 10%.

2 Научно обоснованная математическая модель программы перевозок обеспечивает распределение пассажирских корреспонденций по сети взаимодействующих маршрутов, расчет критериев эффективности и качества транспортного предложения в процессе решения задач проектирования перевозок общественным транспортом.

3. Научно обоснованная зависимость среднего КИВ_д ПС от параметров транспортного спроса, рабочего времени ПС, колебаний скорости движения позволяет определять нормативные значения данного показателя, необходимые для расчета программы перевозок в соответствии с заданными параметрами эффективности и качества транспортного предложения.

По результатам проведенных обследований пассажирских потоков установлено, что средний КИВ_д ПС по маршрутам сети городского общественного транспорта варьируется от 0,2 до 0,39, в среднем составляет 0,28. В периоды наибольшей мощности пассажирских потоков данный параметр находится в пределах от 0,45 до 0,73.

Таким образом, коэффициент использования вместимости изменяется в широких пределах, его следует рассчитывать для каждого варианта транспортного предложения, полученного в процессе решения задачи проектирования перевозок пассажирским транспортом общего пользования.

4. Впервые разработанная и экспериментально подтвержденная зависимость среднего рабочего времени ПС от интервалов движения в периоды пиковых пассажиропотоков, межпиковые периоды, в начале и завершении работы общественного транспорта обеспечивает нормирование данного параметра, а также определение интервалов движения транспортных средств в соответствии с заданными показателями эффективности и качества транспортного предложения.

5. Разработанная математическая модель функционирования ОП городского пассажирского транспорта как многоканальной однофазовой СМО с очередью, впер-

вые учитывающая неодинаковую производительность остановочных мест, позволяет исследовать его пропускную способность, рассчитывать показатели функционирования системы при различных параметрах процессов поступления и обслуживания заявок.

Установленные зависимости и проведенные экспериментальные исследования позволили научно обосновать и экспериментально подтвердить метод нормирования пропускной способности ОП, основанный на критерии отказа в обслуживании (наличия очереди) ПС, который рассчитывается в соответствии с уровнями значимости вероятности 0,1 (10%), 0,05 (5%) и 0,01 (1%), применяемыми в соответствии со степенью влияния ОП на транспортный трафик.

6. Теоретически обоснованная и практически апробированная методика определения спроса на городской общественный транспорт, включающая разработанный эвристический алгоритм интеллектуального анализа операций валидации электронных проездных билетов, интегрированных с данными системы диспетчерского управления движением транспортных средств, впервые разработанный метод оценки достоверности получаемых результатов, алгоритм расчета коэффициентов балансировки для учета неидентифицированных поездок позволяет осуществлять расчет матриц пассажирских корреспонденций, параметров пассажирских потоков и показателей качества и эффективности транспортного процесса

Посредством разработанной методики интерпретируется порядка 65% поездок по электронным проездным билетам, что обеспечивает корректную оценку транспортного спроса.

Экспериментально установлено, что пассажирские потоки городского наземного транспорта в будние дни имеют стабильный характер, незначительное снижение на 4% объема перевозок наблюдается в понедельник. В выходные дни число перевезенных пассажиров существенно отличается от будних дней и составляет 64% в субботу и 50% в воскресенье.

7. Применение разработанной методики расчета спроса на городской общественный транспорт из операций валидации электронных билетов позволяет осуществлять непрерывный мониторинг пассажирских потоков, технико-эксплуатационных показателей функционирования общественного транспорта и таким образом обеспечивает реализацию концепции устойчивого общественного транспорта, осуществляющего безопасное, надежное и экологически чистое удовлетворение мобильности населения в соответствии с установленными показателями качества транспортного обслуживания.

8. Разработанное формальное описание системы диспетчерского управления общественным транспортом, в котором, в отличие от других диспетчерских систем, в качестве объекта управления рассматривается не только парк ПС, но и транспортные терминалы (автовокзалы, автостанции и другие линейные сооружения), обуславливает существенное повышение эффективности диспетчерского управления, в процессе которого, кроме движения транспорта, осуществляется контроль операций терминалов, посадки-высадки и регистрации пассажиров, обеспечивается управление ПС с отсутствующей или неработающей спутниковой навигацией, изменения в транспортном процессе отслеживаются автоматически, исключаются дополнительные ручные операции настройки и корректировки

Сформированная структура системы диспетчерского управления обеспечивает интегрированные комплексные решения, охватывающие такие сферы транспортного

процесса, как планирование, диспетчерский контроль и управление парком ПС, информационное обслуживание заказчиков, пассажиров и контролирующих организаций.

9. Разработанная дискретно-событийная математическая модель системы диспетчерского управления наземным общественным транспортом, в соответствии с которой управляемая подсистема представляется динамической, асинхронной, переходы состояний в ней инициируют события, происходящие в дискретные моменты времени, теоретически обоснованный и практически апробированный алгоритм расчета фактической траектории движения транспортных средств, основанный на двухэтапной процедуре обработки данных спутниковой навигации, разработанная математическая модель оценки соответствия планового и фактического движения транспортных средств как наибольшей общей подпоследовательности двух упорядоченных множеств пунктов планового и фактического маршрутов, практически апробированный алгоритм решения данной задачи позволяют в реальном режиме времени осуществлять автоматизированный контроль транспортного процесса, выявление состояний, требующих управляющих решений, а также обеспечивают расчет интегральных и дифференциальных параметров текущего и исполненного движения.

10. Применение эффективного диспетчерского управления обеспечило: повышение качества транспортного обслуживания населения; высокую регулярность движения, которая в диспетчерской системе BusTrafficManagement составляет 95% рейсов через пассажирские станции и 90% через промежуточные ОП; сокращение на 29% числа рейсов с опозданием; увеличение количества перевезенных пассажиров более, чем на 20%. Внедрение ИС диспетчерского управления дает значительный социальный эффект, выражающийся в повышении уровня качества транспортного обслуживания периферийных пассажиров, удельный вес которых достигает 50% перевозок по регулярным автобусным пригородным и междугородным линиям.

11. Производственная проверка разработанной методологии проектирования перевозок и управления общественным транспортом осуществлена на городском пассажирском транспорте Красноярского края и в системе перевозок автобусами по регулярным и заказным маршрутам Красноярского края, Республик Хакассия, Тыва, Томской и Кемеровской области.

Экономическая эффективность проекта комплексной маршрутной сети общественного транспорта города Красноярска составила порядка 2,5 млн рублей за будний день работы транспорта, т.е. порядка 2,5 рублей на одну поездку пассажира.

Капитальные расходы на внедрение ИС диспетчерского управления ПС численностью 100 единиц составляют 6,6 млн рублей, ежемесячные эксплуатационные затраты равны 422,5 тыс. рублей. Экономическая эффективность превышает 26 млн рублей в год на 100 единиц ПС, что составляет 260 тысяч рублей в год на автобус или 1,35 тысяч рублей на один километр пробега.

Срок окупаемости капитальных затрат равен 0,3 года.

Социальный эффект выражается в повышении качества и расширении спектра услуг, предоставляемых пассажирам, реализации пассажирских билетов через Интернет, применении гибкой системы обслуживания пассажиров, снижении затрат времени пассажиров промежуточных станций на ожидание рейсов

Основные материалы диссертации опубликованы в следующих печатных работах:

- изданиях из перечня ВАК РФ:

1. Фадеев А.И. Методика определения пропускной способности остановочных пунктов ГПТ /Е.В. Фомин, А.И. Фадеев// Вестник Иркутского государственного технического университета – 2012г. - №4(63) - с. 117-124.

2. Фадеев А.И. К вопросу о пропускной способности остановочных пунктов /А.И. Фадеев, Е.В. Фомин// Интегрированная логистика, издательство: Всероссийский институт научной и технической информации РАН (Москва) – 2012г. - №2 - с. 7-11.

3. Фадеев А.И. Задача определения оптимальной структуры парка ПС ГПТ /А.И. Фадеев, Е.В. Фомин// Вестник Иркутского государственного технического университета – 2012г. - №7(66) - с. 130-134.

4. Фадеев А.И. Обоснование целесообразности изучения транспортной подвижности населения на основе мониторинга абонентов мобильной связи / И.М. Блянкинштейн, А.И. Фадеев, А.В. Фёдоров, Н.В. Шадрин, Е.Г. Махова // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. Т. 8. -№ 2 - 2015. – с/ 254 - 263

5. Фадеев А.И. Нормирование параметров системы пассажирского транспорта общего пользования /А.И. Фадеев, В.А. Ковалев, Е.В. Фомин// Вестник Иркутского государственного технического университета – 2014 - №12. – с. 179-183.

6. Фадеев А.И. Методика решения задачи определения оптимальной структуры парка подвижного состава городского пассажирского транспорта общего пользования/А.И. Фадеев, Е.В. Фомин// Вестник Иркутского государственного технического университета – 2018г. - №1 - с. 218-227.

7. Фадеев А.И. Определение оптимальной структуры парка подвижного состава городского пассажирского транспорта общего пользования с учетом взаимного влияния маршрутов / А.И. Фадеев, Е.В. Фомин // Вестник Иркутского государственного технического университета - 2018. - №8 (139) - с. 189-198

8. Фадеев А.И. Определение предельно допустимого коэффициента использования вместимости городского пассажирского транспорта / А.И. Фадеев, Е.В. Фомин, С. Алхуссейни // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2019. Т. 16. №3 (67). - с. 290-301

9. Фадеев А.И. Определение пропускной способности остановочных пунктов городского пассажирского транспорта / А.И. Фадеев, Е.В. Фомин, С. Алхуссейни // Научный рецензируемый журнал «Вестник СибАДИ» - 2020 - №17(2) – с. 248-261

10. Фадеев А.И. Обследование пассажирских потоков путем анализа валидаций электронных проездных билетов / А.И. Фадеев, С. Алхуссейни // Научный рецензируемый журнал «Вестник СибАДИ» - 2021 - №18(1) – с. 52 - 71

- журналах, индексируемых международной системой WoS и/или Scopus:

11. Fadeev A.I. Monitoring public transport demand using data from automated fare collection system / A.I. Fadeev, S. Alhusseini, E.N. Belova // Advances in Engineering Research, volume 158: Proceedings of the International Conference «Aviamechanical Engineering and Transport» – 2018 - p. 5 – 12

12. Fadeev A. Discrete event-based systems of transport automated dispatching control // APITECH-2019 Journal of Physics: Conference Series 1399 – 2019. 033002 IOP Publishing doi:10.1088/1742-6596/1399/3/033002 – p. 7

13. Fadeev A. Using Automated Fare Collection System Data to Determine Transport Demand / A. Fadeev, S. Alhusseini // Advances in Engineering Research, volume

188. International Conference on Aviaemechanical Engineering and Transport (AviaENT 2019) – pp 1 – 9

14. Fadeev A.I. The task of determining the matching of actual and planned operation plans in a dispatch control system of the road transport / A.I. Fadeev // ICI2AE 2019 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 632 – 2019. 012021 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/632/1/012021 – p. 9

15. Fadeev A.I. Standardization of the capacity utilization factor of urban public transport fleet / A I Fadeev, Ye V Fomin, S Alhusseini, K V Pulyanova and E S Voevodin // ICI2AE 2019 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 632 – 2019. 012020 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/632/1/012020 – p. 9

16. Fadeev A.I. The task of determining the actual routes in the traffic control system using satellite navigation / A I Fadeev // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 537 - 2019 022043 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/537/2/022043 – p. 9

17. Fadeev A. The task of determining the optimal structure of the rolling stock fleet of urban passenger transport // MIST: Aerospace 2019 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 734 – 2020. 012114 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/734/1/012114 – p. 7

18. Fadeev A. Determining the public transport demand by validation data of the electronic tickets / A. Fadeev, S. Alhusseini // MIST: Aerospace 2019 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 734 (2020) 012148 IOP Publishing – p. 7

19. Fadeev A.I. Regulation of the stop points throughput capacity in urban public transport /A I Fadeev, S Alhusseini // 2021 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1061 012015 – p. 9

20. Fadeev A.I. Passenger trips analysis determined by processing validation data of the electronic tickets in public transport / A I Fadeev, S Alhusseini // 2021 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1061 012001 – p. 9

- авторских свидетельствах:

21. Фадеев А.И. Программа резервирования ресурсов регулярных автобусных маршрутов «Единая автокасса» / Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2015618647 от 25 июня 2015 г.

22. Фадеев А.И. Программа диспетчерского управления перевозками пассажиров по автобусным маршрутам BusTrafficControl / Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2018614832 от 18 апреля 2018 г.

23. Фадеев А.И. Программа видеонаблюдения за движением автобусов BusTrafficVideo / Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2018614530 от 18 апреля 2018 г.

- учебных пособиях:

24. Фадеев А.И. Формирование тарифов для регулярных автобусных перевозок : Учеб. пособие / И. Л. Голянд, А. И. Фадеев; М-во общ. и проф. образования Рос. Федерации. Краснояр. гос. техн. ун-т. - Красноярск: КГТУ, 1999. – 68 с.

- научных рецензируемых изданиях и сборниках трудов:

25. Фадеев А.И. Расчетный тариф как метод государственного регулирования работы общественного транспорта / А.И. Фадеев, И.Л. Голянд // Транспортные средства Сибири. Состояние и проблемы: Материалы межвуз.науч.-практ.конф.с междунар.участием/ ИТТ КГТУ, Красноярск – 1995

26. Фадеев А.И. Принципы совершенствования системы пассажирских автомобильных перевозок красноярского края и их реальное воплощение / А.И. Фадеев, И.С.

Пыжев // Транспортные средства Сибири (состояние и проблемы): материалы межвузовской научно-практической конференции/ ИТТ КГТУ, Красноярск, 1995

27. Фадеев А.И. Совершенствование системы регионального управления общественным транспортом / А.И. Фадеев // Проблемы развития управления пассажирским транспортом и его эксплуатация: материалы II семинара-совещания Ассоциации Сибирских и Дальневосточных городов 30-31 января 1997 года

28. Фадеев А.И. Принципы совершенствования информационной системы автотранспортного предприятия / А.И. Фадеев, В.Г. Яковлев // Сборник научных трудов КГТУ. Красноярск - 1997

29. Фадеев А.И. Основные проблемы функционирования системы пассажирского транспорта г. Красноярска и концептуальные направления ее совершенствования / А.И. Фадеев, И.С. Пыжев // Транспортные средства Сибири: межвузовский сборник научных трудов с международным участием. /КГТУ, Красноярск - 1998

30. Фадеев А.И. Концептуальный подход и структура информационной системы реализации билетов объединения автовокзалов / А.И. Фадеев, И.С. Пыжев // Проблемы информатизации региона. ПИР-98. Труды Четвертой Всероссийской конференции (Красноярск, 24-26 ноября 1998 г.). Красноярск: ЗАО «Диалог Сибирь-НТ» - 1998.

31. Фадеев А.И. Проблемы системы автомобильного транспорта Красноярского края и направления их решения / А.И. Фадеев, М.Т. Ильянков // Достижения науки и техники – развитию сибирских регионов: Материалы всероссийской научно-практической конференции. В 3 ч. Ч. 2 – 2003 – с. 203 - 204

32. Фадеев А.И. Основные проблемы и направления развития автотранспортного комплекса Красноярского края / А.И.Фадеев М.Г. Омышев // Транспортные средства Сибири. Межвузовский сборник научных трудов с международным участием. КГТУ. Красноярск - 2003

33. Фадеев А.И. Направления совершенствования сети общественного пассажирского транспорта г. Енисейска / А.И. Фадеев В.П. Горячев // Транспортные системы Сибири: Материалы II Всероссийской научно-технической конференции. Красноярск: ИПЦ КГТУ - 2004.

34. Фадеев А.И. Задачи совершенствования системы междугородного автобусного транспорта Красноярского края / А.И. Фадеев, И.В. Черенова // Транспортные системы Сибири: Материалы II Всероссийской научно-технической конференции. Красноярск: ИПЦ КГТУ - 2004.

35. Фадеев А.И. Порядок определения инвестиционной составляющей тарифов пассажирского общественного транспорта / А.И. Фадеев // Вестник Красноярского государственного технического университета. Выпуск 35. ИПЦ КГТУ - 2004 – 5 с.

36. Фадеев А.И. Направления совершенствования междугородного пассажирского транспорта красноярского края / А.И. Фадеев, М.Т. Ильянков // Транспортные системы Сибири: Материалы III Всероссийской научно-технической конференции. Красноярск: КГТУ - 2005.

37. Фадеев А.И. Проблемы системы автомобильного пассажирского транспорта Красноярского края и направления их решения / А.И. Фадеев, М.Т. Ильянков // Транспортные средства Сибири, Выпуск 10. КГТУ - 2004г

38. Фадеев А.И. Совершенствование системы пассажирского транспорта общего пользования г. Красноярска / А.И. Фадеев, В.П. Горячев // Транспортные системы Сибири: Материалы III Всероссийской научно-технической конференции. Красноярск: КГТУ - 2005.

39. Фадеев А.И. Методические рекомендации для расчета норматива затрат линейных сооружений системы междугородного автобусного транспорта / А.И. Фадеев // Вестник Красноярского государственного технического университета. Выпуск 39. ИПЦ КГТУ - 2005.

40. Фадеев А.И. Программа развития пассажирского транспорта общего пользования г. Красноярска на 2006-2008 годы / А.И. Фадеев, В.Г. Песегов // Инновационное развитие регионов Сибири: Материалы Межрегиональной научно- практической конференции. Красноярск: ИПЦ КГТУ - 2006

41. Фадеев А.И. Разработка рационального варианта организации дорожного движения с использованием имитационного моделирования транспортных потоков // А.И. Фадеев, В.В. Борисов // Инновационное развитие регионов Сибири: Материалы Межрегиональной научно- практической конференции. Красноярск: ИПЦ КГТУ – 2006

42. Фадеев А.И. Задача проектирования маршрутных схем городского пассажирского транспорта общего пользования // Политранспортные системы: материалы V Всерос. научн.-техн. конф., Красноярск, 21 – 23 ноября 2007 г. Ч. 1. Красноярск: Сиб. федер. ун-т; Политехн. ин-т, 2007. – с. 170 - 174

43. Фадеев А.И. Методические рекомендации по формированию расчетных тарифов для регулярных автобусных перевозок. Красноярск: КГТУ, 2008 - 36 с

44. Фадеев А.И. Совершенствование организации дорожного движения г. Красноярска с использованием компьютерного моделирования транспортных потоков / А.И. Фадеев, М.Ю. Черников // Вестник сибирского юридического института МВД России №1. – 2008. – с. 104 – 109

45. Фадеев А.И. Результаты имитационного моделирования транспортных потоков для повышения эффективности схем организации дорожного движения в городе Красноярске / А.И. Фадеев, Н.В. Шадрин, В.В. Борисов // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах: Сборник докладов восьмой международной конференции «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах»/СПб гос. архит. – строит. ун-т. СПб, 2008 - 4 с.

46. Фадеев А.И. Перспективные направления развития пассажирского транспорта общего пользования города Красноярска / А.И. Фадеев // Политранспортные системы: материалы Всероссийской научно-технической конференции, Красноярск, 25—27 ноября 2010 г. — Новосибирск: Изд-во СГУПС – 2010 – 8 с.

47. Фадеев А.И. К расчету параметров качества транспортного обслуживания на городских маршрутах// Политранспортные системы: материалы Всероссийской научно-технической конференции, Красноярск, 25—27 ноября 2010 г. — Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2010. - 5 с.

48. Фадеев А.И. Определение минимального интервала движения подвижного состава ГПТ /Е.В. Фомин, А.И. Фадеев// Перспективы развития и безопасность авто-транспортного комплекса: Материалы I Международной научно-практической конференции - Новокузнецк: филиал КузГТУ в г. Новокузнецке, 25-26 ноября 2011г. – с. 206 - 211

49. Фадеев А.И. К задаче определения пропускной способности остановочных пунктов ГПТ /Е.В. Фомин, А.И. Фадеев// Ориентированные фундаментальные и прикладные исследования – основа модернизации и инновационного развития архитектурно-строительного и дорожно-транспортного комплексов России: Материалы Всероссийской научно-технической конференции (с международным участием) – издательство Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ), Омск, 28-30 ноября 2011г. – с. 211 - 214

50. Фадеев А.И. Качество транспортного обслуживания /А.И. Фадеев, Е.В. Фомин// Актуальные вопросы инновационного развития транспортного комплекса: Материалы 2-ой Международной научно-практической конференции – Федеральное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», Орел, 02 апреля – 25 июня 2012г. – с. 72 - 77

51. Фадеев А.И. Нормирование параметров качества функционирования городского пассажирского транспорта общего пользования в зависимости от условий движения на транспортной сети / А.И. Фадеев // Транспортные системы Сибири. Проблемы безопасности: сб. научн. тр. Всеросс. науч.-практ. конф. с международным участием, Красноярск, 17-19 окт. 2013 г., Красноярск: Сиб. Федер. ун-т - 2013 – с. 82 - 88

52. Фадеев А.И. Региональная распределенная информационная система пассажирского транспорта общего пользования / А.И. Фадеев, М.Т. Ильянков // Транспортные системы Сибири. Развитие транспортной системы как катализатор роста экономики государства: Международная научно-практическая конференция, Красноярск – 2016 – с. 504 - 510

53. Фадеев А.И. Мониторинг транспортной подвижности населения посредством использования данных автоматизированной системы оплаты проезда / А.И. Фадеев, Е.В. Белокурова //Вестник транспорта, №7, М. – 2017 – с. 25 - 32

54. Фадеев А.И. Использование данных системы автоматизированной системы оплаты проезда для обследования пассажирских потоков / А.И. Фадеев, С. Алхуссейни // Авиамашиностроение и транспорт Сибири: сборник статей X международной научно-технической конференции, Иркутск – 2018 – с. 329 - 334

55. Фадеев А.И. Интегрированная информационная система организации и управления перевозками пассажиров по регулярным автобусным маршрутам/ А.И. Фадеев, М.Т. Ильянков // Безопасность колёсных транспортных средств в условиях эксплуатации: материалы 106-й Международной научно-технической конференции. 2019. – с. 654-661

56. Фадеев А.И. Интегрированная информационная система бронирования билетов, контроля и управления перевозками пассажиров на автомобильном транспорте / А.И. Фадеев, М.Т. Ильянков // Борисовские чтения: материалы II научно-технической конференции, посвященной памяти профессора Борисова Василия Николаевича – организатора и первого ректора Красноярского политехнического института, 25 – 27 сентября 2019 г. Красноярск, 2019. с. 215 -219

57. Фадеев А. Цифровизация автомобильных пассажирских перевозок / Михаил Ильянков, Александр Фадеев // БЕЗОПАСНОСТЬ: наука и технологии – Международный информационно-аналитический и научно-технический журнал. № 1 (40) 2021 – с. 28 – 32.