

На правах рукописи



КАЖАЕВ АНДРЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

**СНИЖЕНИЕ КОНФЛИКТНЫХ СИТУАЦИЙ НА ОСТАНОВОЧНЫХ
ПУНКТАХ МАРШРУТНЫХ СЕТЕЙ ГОРОДСКОГО
ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА**

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

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2012

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» на кафедре «Эксплуатация автомобильного транспорта».

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент,
Ларин Олег Николаевич.

Официальные оппоненты: **Курганов Валерий Максимович,**
доктор технических наук, профессор, Тверской государственный университет, профессор кафедры математики, статистики и информатики в экономике;

Агасьянц Андроник Андроникович,
кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Московский государственный строительный университет, профессор кафедры городского строительства и экологической безопасности.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «**Волгоградский государственный технический университет**», г. Волгоград.

Защита состоится «___» _____ 2012 года, в 10 часов, на заседании диссертационного совета ДМ 212.126.06 ВАК РФ при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)» по адресу: 125319, г. Москва, Ленинградский пр., 64, аудитория 42.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)».

Автореферат разослан «___» _____ 2012 года.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах с подписью, заверенной печатью организации, просим направлять в адрес диссертационного совета.

Телефон для справок (499) 155-93-24

Ученый секретарь
диссертационного совета



Ефименко Д.Б.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Современное состояние и качество работы транспортных систем городов во многом зависит от эффективной и безопасной работы городского пассажирского транспорта, который является важнейшей системой, обеспечивающей экономическое развитие городов и социальное благополучие населения. В стратегической перспективе городской общественный транспорт рассматривается в качестве основного способа массовых городских передвижений граждан. От состояния и качества работы городского пассажирского транспорта в значительной степени зависит уровень комфортных условий проживания людей в населенных пунктах всей страны. Доступность и качество работы городского транспорта во многом определяют и реальный уровень жизни населения, социальный климат и мнение людей об эффективности органов власти.

Для эффективной и безопасной работы транспортных систем городов требуется обеспечить согласованное функционирование маршрутного транспорта с учетом ограничений транспортной инфраструктуры городов. В современных условиях свободной конкуренции в секторе городских пассажирских перевозок при создании новых маршрутов необходимо производить оценку параметров маршрутных сетей на предмет возникновения конфликтных ситуаций на остановочных пунктах при посадке-высадке пассажиров транспортными средствами различных маршрутов. Конфликты на остановочных пунктах негативно отражаются на безопасности транспортного процесса, приводят к существенным потерям времени перевозчиков и пассажиров, увеличивают расходы транспортных компаний на оказание транспортных услуг населению.

Вопросы совершенствования маршрутных сетей городского пассажирского транспорта рассматривались в работах многих отечественных и зарубежных ученых: Н.Б. Островского, В.А. Гудкова, Л.Б. Миротина, А.В. Вельможина, С.А. Ширяева, А.А. Агасьянца, А.Э. Горева, О.Н. Ларина, И.В. Спирина, Н.Н. Якунина, М.Г. Антошвили, С.Ю. Либермана, В.М. Курганова, Б.Л. Геронимуса, М.Д. Блатнова, Е.А. Кравченко, С.А. Ваксмана, В.Д. Герами, В.И. Рассохи, Д.С. Самойлова, М.Е. Корягина, О.А. Пыталевой, О.С. Семеновой, С.А. Коробова, И. С. Ефремова, А.С. Михайлова, В.В. Шестокоса, Y. Hollander, Herbert S. Levinson, Robert A. Weant, Sigurd Grava, Alan Black, George E. Gray, Lester A. Hoel, Vukan R. Vuchic, Schnabel Werner, Dieter Lohse, Rodrigo Fernandez и другие.

Выполненный анализ показывает, что вопросы снижения конфликтных ситуаций на маршрутных сетях городов исследованы недостаточно. Поэтому задача повышения эффективности и безопасности функционирования маршрутных сетей городского пассажирского транспорта с учетом конфликтных ситуаций на остановочных пунктах является актуальной как с научной, так и с практической точек зрения.

Цель работы состоит в повышении эффективности и безопасности функционирования маршрутных сетей городов за счет снижения конфликтных ситуаций на остановочных пунктах при движении пассажирского транспорта.

Объектом исследования являются маршрутные сети городского наземного пассажирского транспорта.

Предметом исследования являются конфликтные ситуации на остановочных пунктах при движении городского пассажирского транспорта по смежным маршрутам.

Основная гипотеза исследования состоит в предположении о том, что снижение конфликтных ситуаций на остановочных пунктах зависит от согласованности параметров маршрутных сетей городского пассажирского транспорта с учетом пропускной способности остановочных пунктов и обеспечивает повышение эффективности и безопасности функционирования городского пассажирского транспорта и качества обслуживания пассажиров.

Теоретико-методологические основы исследования. Диссертационное исследование выполнено на основе трудов ведущих отечественных и зарубежных ученых в области проектирования и оптимизации маршрутных сетей городского пассажирского транспорта. Теоретико-методологической основой исследования явились системный подход, математическая статистика, теории вероятностей и массового обслуживания, методы математического моделирования и оптимизации, позволяющие достоверно обосновать выводы.

Информационная база исследования. Законодательные и нормативные правовые акты, целевые программы развития транспортных систем городов, статистические данные администраций городов Челябинской области, Управления государственного автодорожного надзора по Челябинской области, материалы научных отчетов и др.

Научная новизна диссертационной работы. В диссертации обосновано

1. Теоретически обосновано влияние конфигурационных особенностей маршрутных схем на образование конфликтных ситуаций и установлена зависимость уровня конфликтных ситуаций на остановочных пунктах от параметров маршрутных сетей.

2. Разработана новая типовая модель маршрутных схем, обоснованы критерии классификации смежных маршрутов на виды, подвиды и разновидности.

3. Разработаны методические положения по идентификации дублирующих маршрутов и оценки степени дублирования маршрутных сетей городов.

4. Разработана имитационная модель движения транспортных средств на смежных «сходящихся» и «расходящихся» маршрутах для количественной оценки конфликтных ситуаций на совмещенных остановочных пунктах маршрутных сетей городов.

5. Разработана модель оптимизации параметров маршрутной сети городов, обеспечивающая снижение уровня конфликтности маршрутной сети в целом.

Практическая значимость. Разработанные в диссертации модели и методы имеют прикладной характер и могут быть использованы транспортными компаниями и администрациями городов при разработке и совершенствовании маршрутных сетей городского пассажирского транспорта. Внедрение результатов исследования позволяет повысить эффективность и безопасность функционирования маршрутных сетей пассажирского транспорта за счет снижения конфликтных ситуаций на остановочных пунктах при движении пассажирского транспорта по маршрутам маршрутной сети городов.

Реализация результатов исследования. Результаты диссертационного исследования применяются на практике администрациями городов (Троицк, Миасс) Челябинской области при организации работы маршрутного пассажирского транспорта. Разработанные методики позволяют производить оценку эффективности функционирования маршрутных сетей городов и обосновывать проекты их рационального развития.

Результаты диссертационного исследования используются в учебном процессе в Южно-Уральском государственном университете, Оренбургском государственном университете.

Диссертационное исследование выполнено при поддержке Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы» (№ 16.740.11.0520).

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Зависимости конфликтных ситуаций на остановочных пунктах от конфигурационных особенностей маршрутных схем и параметров маршрутных сетей.
2. Типовая модель маршрутных схем, критерии классификации смежных маршрутов на виды, подвиды и разновидности.
3. Методические положения по идентификации дублирующих маршрутов и оценки степени дублирования маршрутных сетей городов.
4. Имитационная модель оценки конфликтных ситуаций на остановочных пунктах при движении транспортных средств по маршрутной сети городов.
5. Модель оптимизации параметров маршрутной сети городов, обеспечивающая снижение уровня ее конфликтности.

Апробация работы. Основные теоретико-концептуальные положения, рекомендации и результаты исследования доложены и одобрены на международных, региональных и отраслевых конференциях в Челябинске (ЮУрГУ, 2009–2012 гг.), Тюмени (ТГНГУ, 2010, 2011 гг.), Магнитогорске (МагГТУ, 2010–2012 гг.), Екатеринбурге (УрГУПС, 2011 г.), Пер-

ми (ПНИПУ, 2011 г.), Санкт–Петербурге (СПбГИЭУ, 2010 г.), Минске (БНТУ, 2010, 2011 гг.).

Публикации. Основные результаты диссертационного исследования опубликованы в 14 работах, в том числе – 1 монография, зарегистрированы 2 программы для ЭВМ. В рекомендованных ВАК РФ изданиях опубликовано 3 работы. В опубликованных работах автору принадлежат основные идеи, теоретический и экспериментальный материал, выводы.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Основной текст размещен на 198 страницах, включает 35 таблиц, 41 рисунок. Список литературы включает 133 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

В введении обосновывается актуальность темы, сформулирована цель исследования, а также приведены основные научные и практические результаты диссертационной работы.

В первой главе проводится анализ современного состояния вопроса исследования, выполнен обзор научных работ по проблеме оптимизации маршрутных сетей городов, уточняются основные понятия и определения предметной области исследования, разновидностей конфликтных ситуаций на маршрутных сетях городского пассажирского транспорта, произведена оценка социально-экономических потерь от задержек пассажирского транспорта на остановочных пунктах, проанализированы основные тенденции развития пассажирских перевозок и обоснована необходимость разработки методических рекомендаций по снижению конфликтных ситуаций на остановочных пунктах маршрутных сетей городского пассажирского транспорта.

Под конфликтными ситуациями на остановочных пунктах маршрутных сетей городов понимаются случаи столкновения интересов при движении транспортных средств конкурирующих перевозчиков, связанных с приоритетным использованием объектов транспортной инфраструктуры (остановочных пунктов), пропускная способность которых не позволяет их одновременное и беспрепятственное обслуживание.

Согласно выполненным оценкам общие потери времени в связи с конфликтами на остановочных пунктах городов Челябинской области в среднем за год составляют: потери транспортных средств на ожидания 575 (тыс. авт.-ч/год); потери пассажиров на увеличение длительности поездок 1,43 (млн. пасс.-ч/год).

В последние годы в крупных городах региона отмечается увеличение провозных возможностей маршрутных сетей как за счет количества маршрутов пассажирского транспорта, так и за счет количества пассажирских транспортных средств, обслуживающих данные маршруты. В табл. 1 приведены сведения о динамике количества пассажирского транспорта и маршрутов в некоторых городах Челябинской области.

Таблица 1

Данные о количестве маршрутов и пассажирского транспорта
в городах Челябинской области

Города	Количество пассажирского транспорта, ед.			Количество маршрутов, ед.		
	1995	2011	в % к 1995	1995	2011	в % к 1995
Троицк	60	102	170	20	28	140
Миасс	70	299	427,1	12	43	358,3
Челябинск	713	2929	410,8	76	186	244,7

Количественный рост пассажирского транспорта и маршрутов в городах Челябинской области привели к переизбытку провозных возможностей маршрутных сетей, как следствие, к снижению наполняемости подвижного состава и доходов перевозчиков, к заторам, снижению скорости движения маршрутного транспорта и всего транспортного потока по улицам городов, к возникновению конфликтных ситуаций на остановочных пунктах между пассажирскими транспортными средствами дублирующих маршрутов (образование очередей, остановки с нарушениями требований к безопасности движения, создание помех для посадки–высадки пассажиров и др.). Данные проблемы являются комплексными и взаимосвязанными, однако в настоящее время отсутствуют методы научно обоснованного их системного решения.

На рис. 1 приведены сведения об использовании провозных возможностей по объему перевозок и пассажирообороту, а также о доле автобусов малой вместимости в структуре парка подвижного состава в городах Челябинской области.



Рис. 1. Использование провозных возможностей и доля автобусов малой вместимости в городах Челябинской области, %

Сформулирована рабочая гипотеза исследования, которая состоит в том, что снижение конфликтных ситуаций на остановочных пунктах может быть обеспечено посредством согласования параметров маршрутных сетей городского пассажирского

транспорта с учетом пропускной способности остановочных пунктов. Снижение конфликтных ситуаций на остановочных пунктах обеспечит повышение качества транспортного обслуживания населения городов, своевременности, скорости, комфортности и безопасности их передвижений.

Для достижения поставленной цели исследования и реализации выдвинутой гипотезы сформулированы следующие задачи исследования:

1. Исследовать причины и механизмы образования конфликтных ситуаций на маршрутных сетях городского пассажирского транспорта.

2. Разработать типологию маршрутных схем и классификацию смежных маршрутов.

3. Разработать методические положения по идентификации дублирующих маршрутов и оценки степени дублирования маршрутных сетей городов.

4. Разработать имитационную модель выявления конфликтных ситуаций на остановочных пунктах при движении пассажирского транспорта по маршрутной сети городов.

5. Разработать модель оптимизации параметров маршрутных сетей, обеспечивающих снижение конфликтных ситуаций на остановочных пунктах маршрутных сетей.

Вторая глава посвящена исследованию причин и механизмов образования конфликтных ситуаций на маршрутных сетях городского пассажирского транспорта. Основной предпосылкой возникновения конфликтных ситуаций на остановочных пунктах маршрутных сетей городов является конкуренция между разными перевозчиками, работающими на дублирующих маршрутах, появление которых обусловлено недостатками в управлении городским пассажирским транспортом: при открытии новых маршрутов не проводится оценка их влияния на провозные возможности маршрутной сети, на конкуренцию и экономические результаты деятельности перевозчиков, на возникновение конфликтных ситуаций на остановочных пунктах и пр.

В диссертации исследованы основные конкурентные модели на рынке городских пассажирских перевозок (коммерческая монополия; свободная конкуренция; муниципальное регулирование), особенности и этапы их формирования, особенности работы перевозчиков: условия допуска на рынок, принципы формирования маршрутной сети, правила регулирования тарифов и др.

В секторе пассажирских перевозок на регулярных городских маршрутах используется две основные формы реализации конкуренции: конкуренция на одном маршруте; конкуренция на различных (альтернативных и дублирующих) маршрутах.

Появление значительного количества дублирующих маршрутов пассажирского транспорта в городах характерно для периода свободной, а по сути, практически нерегулируемой конкуренции, когда для насыщения суще-

ствующего спроса населения на передвижения в городах открывалось большое количество маршрутов самой разной конфигурации.

В период с 1999 г. до 2006 г. на территории Челябинской области количество лицензиатов увеличилось в 7,53 раза (рис. 2), а количество лицензированного транспорта увеличилось в 1,76 раза. Причем новые перевозчики начинали свою работу чаще всего на существующих «раскатанных», то есть дублирующих маршрутах, на которых уже был сформирован устойчивый мощный пассажиропоток. При этом льготы в оплате проезда для отдельных категорий граждан новыми перевозчиками, как правило, не предоставлялись.

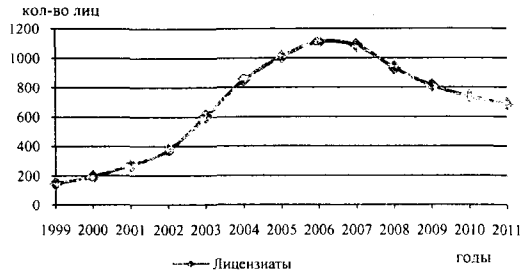


Рис. 2. Динамика количества лицензированных перевозчиков по Челябинской области

На основе результатов факторного анализа, проведенного с использованием положений теории массового обслуживания, установлено влияние совмещенной частоты движения и времени обслуживания пассажирского транспорта на остановочных пунктах, а также пропускной способности остановочных пунктов на вероятность возникновения конфликтных ситуаций на них. Обеспечить снижение конфликтных ситуаций на остановочных пунктах возможно путем изменения совмещенного интервала движения маршрутного транспорта при условии полного обслуживания пассажиропотоков.

На современном этапе развития рынка городских пассажирских перевозок в условиях наличия избыточных провозных возможностей маршрутных сетей наиболее целесообразным для создания эффективных и безопасных транспортных систем городов является использование модели «муниципального регулирования» рынка городских пассажирских перевозок. Для соответствующего регулирования необходимо при принятии решений по совершенствованию маршрутных сетей городов использовать научно обоснованные методы. Проведенный анализ научных работ выявил отсутствие эффективных методических разработок по оценке и идентификации дублирующих маршрутов, моделей и методов оптимизации параметров маршрутных сетей, учитывающих особенности образования конфликтных ситуаций на остановочных пунктах и обеспечивающих их снижение.

В третьей главе рассматриваются вопросы типологии маршрутных схем, разрабатываются критерии и способы идентификации дублирующих маршрутов. Для дублирующих маршрутов характерно преобладание совмещенных участков и остановочных пунктов. Для оценки степени такого преобла-

дания совмещенных элементов на смежных маршрутах предложены соответствующие коэффициенты.

Коэффициент совмещения участков ζ_{ij} для i -го маршрута ($i = 1, 2, \dots, n$) относительно совмещенной трассы j -го маршрута ($j = 1, 2, \dots, m$) рассчитывается через отношение протяженности l_{ij} совмещенного участка i -го маршрута относительно j -го маршрута к общей протяженности l_{mi} рассматриваемого i -го маршрута:

$$\zeta_{ij} = \frac{l_{ij}}{l_{mi}}. \quad (1)$$

Обобщенный коэффициент совмещения участков ζ_i для i -го маршрута относительно всех j -ых смежных маршрутов рассчитывается по формуле:

$$\zeta_i = \frac{\sum_{j=1}^m \zeta_{ij}}{m}, \quad (2)$$

где m – количество смежных маршрутов, с которыми имеются совмещенные участки и остановочные пункты, ед.

Коэффициент совмещения остановочных пунктов ξ_{ij} для i -го маршрута ($i = 1, 2, \dots, n$) относительно совмещенных остановочных пунктов j -го маршрута ($j = 1, 2, \dots, m$) рассчитывается через отношение количества остановочных пунктов s_{ij} совмещенного участка i -го маршрута относительно j -го маршрута к общему количеству s_{mi} остановочных пунктов i -го маршрута:

$$\xi_{ij} = \frac{s_{ij}}{s_{mi}}. \quad (3)$$

Обобщенный коэффициент совмещения остановочных пунктов ξ_i для i -го маршрута относительно всех j -ых смежных маршрутов рассчитывается по формуле:

$$\xi_i = \frac{\sum_{j=1}^m \xi_{ij}}{m}. \quad (4)$$

Для дублирующих маршрутов коэффициенты совмещения участков и остановочных пунктов ζ_{ij} и ξ_{ij} приближаются к единице. Коэффициент дублирования d_{ij} маршрутов в комплексе учитывает вклад данных коэффициентов и оценивает степень совмещения маршрутных элементов:

$$d_{mj} = \frac{\zeta_{ij}}{2} \left(\frac{\zeta_{ij} + \xi_{ij}}{2} \right) + \frac{\xi_{ij}}{2} \left(\frac{\zeta_{ij} + \xi_{ij}}{2} \right) = \left(\frac{\zeta_{ij} + \xi_{ij}}{2} \right)^2. \quad (5)$$

По величине d_{mij} можно оценить степень дублирования маршрутов, на которых работа дублируемых маршрутов будет затруднена, в том числе, из-за сложностей с посадкой–высадкой пассажиров на промежуточных совмещенных остановочных пунктах. В качестве критерия идентификации дублирую-

ших маршрутов принято значение коэффициента дублирования маршрутов d_{mij} свыше 0,64.

Тогда под дублирующими маршрутами будем понимать смежные маршруты, трасса движения маршрутного транспорта по которым в целом или в части ($\zeta_{ij} \geq 0,8$) совмещена с трассами движения транспорта по другим (дублируемым) маршрутам, и которые на совмещенных участках трассы маршрутов совместно используют одни и те же остановочные пункты ($\xi_{ij} \geq 0,8$), и для которых коэффициент дублирования составляет $d_{mij} \geq 0,64$.

На основе теоретического анализа и обобщения фактических данных о конфигурациях маршрутных сетей, способах образования смежных маршрутов и совмещения элементов предложена новая типовая модель маршрутной схемы городов – «маршрутная схема с совмещением маршрутных элементов», которая включает три основных типа маршрутных схем:

1) маршрутные схемы без совмещенных элементов, состоят из обособленных маршрутов, которые не имеют совмещенных участков и остановочных пунктов;

2) маршрутные схемы с совмещенными элементами на всех маршрутах, состоят из смежных маршрутов;

3) маршрутные схемы с совмещенными элементами на отдельных маршрутах, включают смежные и обособленные маршруты.

На рис. 3 приведена разработанная классификация смежных маршрутов на основе критериев, учитывающих способы образования и степень преобладания совмещенных элементов и величину коэффициента дублирования.

В современных условиях маршрутные сети городов, как правило, включают не один, а несколько дублирующих маршрутов. Для комплексной оценки степени дублирования маршрутной сети города в целом предложен коэффициент дублирования маршрутной сети D_m :

$$D_m = \frac{M_d}{M_c}, \quad (6)$$

где M_d – количество дублирующих маршрутов на маршрутной сети, ед.; M_c – общее количество маршрутов, входящих в состав маршрутной сети города, ед.

Для маршрутных сетей городов, имеющих дублирующие маршруты, требуется проведение оценки величины потенциальных конфликтных ситуаций на остановочных пунктах.

Четвертая глава посвящена разработке имитационной модели, позволяющей на основе воспроизведения реальных условий работы маршрутного пассажирского транспорта в городах, с учетом скорости и интервалов их движения, а также пропускной способности остановочных пунктов, получать оценку количественных характеристик конфликтных ситуаций на остановочных пунктах (периодичность, количество и продолжительность конфликтов и др.).

За начало движения транспортных средств по маршрутам принимаются либо раздельные места на маршрутной сети l_{01} и l_{02} для «сходящихся» маршрутов (рис. 4, а), либо общий начальный пункт для обоих маршрутов $l_0 = l_{01} = l_{02}$,

для «расходящихся» маршрутов (рис. 4, б). В последнем случае транспортные средства через определенное расстояние после начала движения по маршруту переходят на различные не совмещенные участки маршрутной сети. Конфликтные ситуации возможны только на участке совмещенного движения.

Протяженность совмещенного участка $l_{св}$, который используется транспортными средствами A_{1i} и A_{2j} , определяется согласно схеме маршрутной сети и не может превышать протяженности любого маршрута ($l_{св} < l_{M1}$, $l_{св} < l_{M2}$).

На расстоянии l_k от начала совмещенного участка маршрута находится место вероятного конфликта, в которое одновременно прибывают транспортные средства A_{1i} и A_{2j} через время движения по маршрутам t_{k1} и t_{k2} соответственно: $l_k = v_1 \cdot t_{k1} = v_2 \cdot t_{k2}$.

Возможные варианты совмещенного движения транспортных средств на дублирующих маршрутах показаны на рис. 5–8.

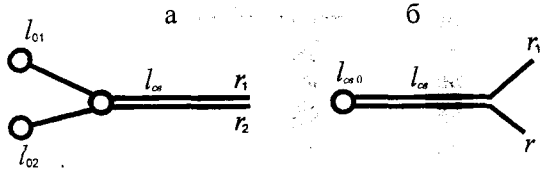


Рис. 4. Схемы совмещенных участков маршрутов

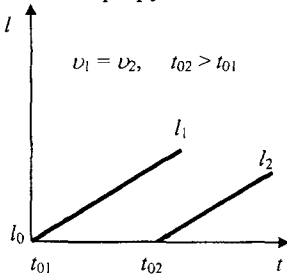


Рис. 5. Конфликтная ситуация не образуется

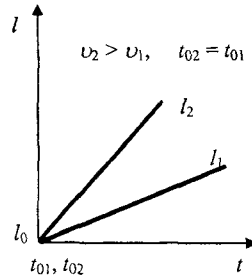


Рис. 6. Конфликтная ситуация не образуется

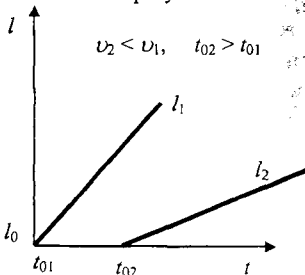


Рис. 7. Конфликтная ситуация не образуется

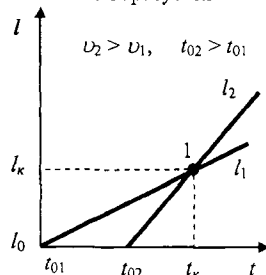


Рис. 8. В точке 1 образуется конфликтная ситуация

Вариант движения маршрутного транспорта по двум дублирующим маршрутам при $V_1 = V_2$, $t_{02} = t_{01}$ является частным случаем варианта, изображенно на рис. 6, поэтому отдельно не приводится. Количество конфликтов n_k определяется по выражению:

$$n_k = \begin{cases} (t_1 - t_{св}) / t_2, & \text{при } (t_k + n_i \cdot t_2) \leq t_{св1} \\ (t_{св1} - t_{к1}) / t_2, & \text{при } (t_k + n_i \cdot t_2) > t_{св1} \end{cases} \quad (7)$$

где t_1 , t_2 и $t_{св}$ – интервалы движения транспортных средств A_{1i} и A_{2j} по первому и второму маршрутам и совмещенный интервал движения соответственно; $t_{св1}$ – время движения A_{1i} по совмещенному участку; n_i – количество конфликтующих транспортных средств A_{2j} во время движения A_{1i} по совмещенному участку: $n_i = (t_1 - t_{св}) / t_2$.

Если конфликтная ситуация образуется на остановочном пункте, то имитируется его загрузка с учетом пропускной способности остановочного пункта и времени обслуживания пассажирского транспорта. Конфликтная ситуация фиксируется, если транспортное средство не может быть своевременно обслужено. Данные положения использованы при разработке компьютерной программы «Моделирование загрузки остановочных пунктов пассажирским транспортом общего пользования в муниципальных образованиях», при помощи которой производилась оценка количества конфликтных ситуаций на маршрутных сетях городов Челябинской области. Например, результаты имитационного моделирования показали, что количество конфликтных ситуаций на остановочных пунктах г. Троицка в течение дня превышает 10 тысяч. Отклонение между результатами расчетного эксперимента и натурных обследований в среднем не превышает 10%, что является приемлемым. Общие потери маршрутного транспорта от конфликтных ситуаций в г. Троицке достигают 4,1 млн. рублей в год.

В пятой главе разработана модель оптимизации маршрутной сети городов. Маршрутная сеть $R = \{r_i\}$ ($i = 1, 2, \dots, n$) является совокупностью i -го количества маршрутов $r_i \in R$. На маршрутной сети R имеется множество $S = \{s_j\}$ ($i = 1, 2, \dots, m$) остановочных пунктов, включенных в маршрутную сеть. При этом идентифицируется каждый остановочный пункт s_j в отдельности, даже одноименные остановочные пункты, но расположенные по разные стороны улиц, перекрестков, а также используемые различными маршрутами и видами транспорта и т.п. В общем виде закрепление j -х остановочных пунктов за i -ми маршрутами может быть представлено в виде матрицы B :

$$B = \|b_{ij}\| = \begin{vmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1m} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nm} \end{vmatrix}, \quad (8)$$

в которой элементы b_{ij} могут принимать значения 0 или 1:

$$b_j = \begin{cases} 1, & \text{если остановка } s_j \in r_i; \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (9)$$

Частота движения транспортных средств $v_i(s_j)$ по каждому i -му маршруту, проходящему через j -й остановочный пункт, которая обеспечит полную реализацию пассажиропотока, рассчитывается с учетом максимального значения часовой мощности пассажиропотока Q_{ci} на наиболее напряженном участке маршрута для характерного периода времени и величины расчетной q_p вместимости транспортного средства, назначаемого для работы на маршруте:

$$v_i = \frac{Q_{ci}}{q_p}. \quad (10)$$

Величина расчетной вместимости q_p определяется с учетом установленного уровня использования вместимости по местам для проезда пассажиров стоя и сидя и отражает требования к качеству поездки пассажиров.

Совмещенная частота v_{sj} движения транспортных средств через s_j остановочный пункт рассчитывается как сумма частоты движения $v_i(s_j)$ транспортных средств по каждому i -му маршруту, проходящему через j -й остановочный пункт:

$$v_{sj} = \sum_{i=1}^n v_i(s_j), \quad s_j \in S. \quad (11)$$

Показатель конфликтности ω_{sj} на j -м остановочном пункте характеризуется величиной дефицита (резерва) пропускной способности остановочных пунктов, которая рассчитывается как разность между величиной совмещенной частоты v_{sj} движения ТС через j -й остановочный пункт и величиной его пропускной способности w_{sj} :

$$\omega_{sj} = v_{sj} - w_{sj}. \quad (12)$$

Показатель конфликтности ω_s маршрутной сети в целом рассчитывается как сумма значений уровня конфликтных ситуаций на всех j -х остановочных пунктах:

$$\omega_s = \sum_{j=1}^m \omega_{sj}. \quad (13)$$

Показатель конфликтности ω_s маршрутной сети выбран в качестве критерия оптимальности параметров маршрутной сети, при котором обеспечивается минимальное количество конфликтных ситуаций на остановочных пунктах:

$$\omega_s = \sum_{j=1}^m \omega_{sj} \longrightarrow \min. \quad (14)$$

При этом могут быть установлены ограничения на:

– располагаемое количество транспортных средств A_m :

$$\sum_{i=1}^n A_{mi} \leq A_m; \quad (15)$$

– величину установленных интервалов движения t_{yi} по маршрутам:

$$t_{yi} \leq t_{oi}, \quad (16)$$

где t_{oi} – максимально допустимый интервал движения маршрутного транспорта на i -м маршруте.

Предложена следующая математическая модель оптимизации параметров маршрутной сети:

$$F(\omega_s) = F(q_p, t_{yi}, A_{mi}) \longrightarrow \min, \quad (17)$$

$$\text{при } q_p \in G, \quad q_p \geq 0,$$

$$t_{vi} \leq t_{oi}, \quad t_{vi} \geq 0,$$

$$\sum_{i=1}^n A_{mi} \leq A_m, \quad A_{mi} \geq 0.$$

С учетом требований к величине вместимости транспортных средств, которая не может быть дробной величиной, оптимизационная модель является задачей целочисленного программирования. Для решения данной задачи разработана компьютерная программа «Оптимизация параметров маршрутной сети пассажирского транспорта общего пользования муниципальных образований». С использованием разработанных положений произведена оптимизация маршрутной сети г. Троицка, в процессе которой общее количество маршрутов сокращено с 28 до 13, количество подвижного состава сокращено со 102 до 58 единиц, изменена структура подвижного состава, работающего на маршрутах в сторону увеличения количества подвижного состав большой вместимости, количество конфликтных ситуаций снизилось со 313 единиц, экономический эффект составил 3985,8 тыс. рублей. Оптимизированные параметры маршрутной сети обеспечивают полную реализацию пассажиропотока с соблюдением требований к качеству транспортного обслуживания населения по использованию вместимости подвижного состава и интервалов его движения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты диссертационной работы, основанные на проведенных теоретических и экспериментальных исследованиях, содержат новые научные данные о механизмах образования конфликтных ситуаций на остановочных пунктах маршрутных сетей городов и способах снижения конфликтных ситуаций, на основе которых сформулированы следующие выводы и рекомендации:

1. Установлена зависимость конфликтных ситуаций на остановочных пунктах от конфигурации маршрутных схем и параметров маршрутных сетей. Конфликтные ситуации на остановочных пунктах маршрутных сетей городов образуются при работе дублирующих маршрутов, наличие которых обусловлено неэффективной организацией, регулированием и контролем деятельности перевозчиков. Величина конфликтных ситуаций имеет обратную зависимость от величины совмещенных интервалов движения маршрутного транспорта через остановочные пункты и от пропускной способности остановочных пунктов.

2. Исследованы способы образования и конфигурации смежных маршрутов; произведена оценка степени совмещения маршрутных элементов и дублирования смежных маршрутов; предложены новая типовая модель маршрутной схемы городов, критерии и способы классификации смежных маршрутов на виды, подвиды и разновидности.

3. Разработаны методические положения по оценке степени дублирования маршрутов: исследовано влияние взаимного использования маршрутами совмещенных участков и остановочных пунктов на образование конфликтных ситуаций, предложена характеристика «дублирующего маршрута» как научной категории и разработаны критерии идентификации дублирующих маршрутов; разработан показатель комплексной оценки степени дублирования городской маршрутной сети.

4. Разработанная имитационная модель движения транспортных средств на смежных «сходящихся» и «расходящихся» маршрутах, учитывающая динамические характеристики транспортных средств различных типов, параметры маршрутов и остановочных пунктов, реализована в компьютерной программе, которая позволяет оценивать возможные конфликтные ситуации на совмещенных остановочных пунктах маршрутных сетей, выявлять потенциально конфликтные остановочные пункты и маршруты и принимать обоснованные решения о реконструкции инфраструктурных объектов и оптимизации параметров маршрутной сети. Сравнение расчетных результатов с экспериментальными данными показало высокий уровень достоверности результатов имитационного моделирования.

5. Разработана модель оптимизации параметров маршрутной сети городов, обеспечивающая снижение уровня ее конфликтности за счет перераспределения количества подвижного состава различных типов по маршрутам при безусловном полном удовлетворении запросов населения на транспортные передвижения городским общественным транспортом.

6. Разработанные модели и методы использованы при совершенствовании маршрутных сетей городов Троицка и Миасса Челябинской области, результаты характеризуются положительным социально-экономическим эффектом. Оптимизированная маршрутная сеть г. Троицка обеспечивает снижение потерь времени общественного транспорта, обусловленных задержками перед перегруженными остановочными пунктами.

7. Разработанные в диссертационном исследовании теоретические и методические положения являются универсальными и рекомендуются к использованию в различных муниципальных образованиях для совершенствования маршрутных сетей городского наземного пассажирского транспорта, что в комплексе обеспечит высокую эффективность работы пассажирского транспорта, повысит качество транспортного обслуживания населения и безопасность транспортных процессов.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

I. Научные статьи, опубликованные в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ:

1. Кажаяев, А.А. Вопросы моделирования движения общественного транспорта в муниципальных образованиях / А.А. Кажаяев, О.Н. Ларин, С.В. Томилов // Транспорт Урала. – 2011. – №3(30). – С. 24–27.

2. Ларин, О.Н. Оптимизация маршрутных сетей городов с учетом ограниченной пропускной способности остановочных пунктов / А.А. Кажаяев, О.Н. Ларин // Вестник ОГУ. – № 10 (129). – 2011. – С. 26–32.

3. Кажаяев, А.А. Снижение конфликтных ситуаций на остановочных пунктах маршрутных сетей городов / А.А. Кажаяев, О.Н. Ларин // Транспорт: наука, техника, управление. – 2012. – № 1. – С. 48–49.

II. Научные публикации в прочих изданиях:

4. Ларин, О.Н. Развитие транзитного потенциала автотранспортных систем регионов: научная монография / О.Н. Ларин, А.П. Приходько, В.Д. Шепелёв, А.А. Кажаяев. – М.: ВИНТИ РАН, 2010. – 344 с.

5. Ларин, О.Н. Вопросы интеграции в транспортных системах: материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. «Логистика: современные тенденции развития», 15, 16 апреля 2010 года / О.Н. Ларин, А.А. Кажаяев. – СПб.: СПбГИЭУ, 2010. – С. – 232–234.

6. Ларин, О.Н. Типология транспортных систем: материалы второй Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития Евроазиатских транспортных систем: материалы международной научно-практической конференции», 11 мая 2010 г. / О.Н. Ларин, А.А. Кажаяев. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – С. 153–162.

7. Ларин, О.Н. Методы размещения сетевых узлов в автотранспортных системах / О.Н. Ларин, А.А. Кажаяев // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения – №1(5). – 2010. – С. 26–32.

8. Кажаяев, А.А. Вопросы формирования маршрутных сетей муниципальных образований: материалы Международной научно-практической конференции; под ред. И.А. Анисимова / А.А. Кажаяев, О.Н. Ларин. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2010. – С. 200–202.

9. Ларин, О.Н. Вопросы образования конфликтных ситуаций на маршрутных сетях муниципальных образований / О.Н. Ларин, А.А. Кажаяев // Вестник БрГТУ. – 2010. – №5 (65): Физика, математика, информатика. – С. 60–63.

10. Кажаяев, А.А. Имитационная модель загрузки остановочных пунктов городского маршрутного транспорта // «Современные проблемы транспортного комплекса России»: межвуз. сб. науч. тр.; под ред. А.Н. Рахмангулова / А.А. Кажаяев. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. – С. 86–95.

11. Кажаяев, А.А. Модели и алгоритмы движения пассажирского транспорта и оценки загрузки остановочных пунктов на городских маршрутах // «Пробле-

14-14
Вне

мы и перспективы развития Евроазиатских транспортных систем»: материалы третьей Международной научно-практической конференции, 12 мая 2011 г. / А.А. Кажаяев. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. – С. 123–135.

12. Ларин, О.Н. Моделирование движения ГОТ с учетом загрузки остановочных пунктов // «Социально-экономические проблемы развития и функционирования транспортных систем городов и зон их влияния»: материалы XVII Междунар. (двадцатой Екатеринбургской) науч.-практ. конф. (16–17 июня 2011 г.) / О.Н. Ларин, А.А. Кажаяев. – Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. экон. ун-та, 2011. – С. 259–267.

13. Кажаяев, А.А. Оценка загрузки остановочных пунктов при движении маршрутного транспорта // «Нефть и газ Западной Сибири»: материалы Международной научно-технической конференции, посвященной 55-летию Тюменского государственного нефтегазового университета. Т. 2; отв. ред. О. Ф. Данилов. / А.А. Кажаяев, О.Н. Ларин. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2011. – С. 180–181.

14. Ларин, О.Н. Вопросы конкуренции на маршрутных сетях городов / О.Н. Ларин, А.А. Кажаяев // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. – 2011. – № 2 (22). – С. 72–74.

III. Зарегистрированные программы для ЭВМ:

15. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2011610982 «Оптимизация параметров маршрутной сети пассажирского транспорта общего пользования муниципальных образований», 26.01.2011 / О.Н. Ларин, А.А. Кажаяев, С.В. Томилов // Заявка № 2010617546, 29.11.2010.

16. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2011617184 «Моделирование загрузки остановочных пунктов пассажирским транспортом общего пользования в муниципальных образованиях», 15.09.2011 / О.Н. Ларин, А.А. Кажаяев, С.В. Томилов // Заявка № 2011615633, 26.07.2011.

1019996

Издательский центр Южно-Уральского государственного университета

Подписано в печать 15.03.2012. Формат 60×84 1/16. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ 55/152.

Отпечатано в типографии Издательского центра ЮУрГУ.

454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.