

На правах рукописи

**ПЫТАЛЕВА ОЛЬГА АНАТОЛЬЕВНА**

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МАРШРУТНОЙ СЕТИ  
ГОРОДСКОГО НАЗЕМНОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА**

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

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук



**Екатеринбург – 2010**

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» (ГОУ ВПО «МГТУ»).

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент  
**Рахмангулов Александр Нельевич**

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
**Ларин Олег Николаевич**

кандидат технических наук, доцент  
**Пугачев Игорь Николаевич**

Ведущая организация – ГОУ ВПО «Оренбургский государственный университет»

Защита диссертации состоится «21» мая 2010 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 218.013.02 при Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Уральский государственный университет путей сообщения» по адресу: 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, д.66, ауд. 283.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уральского государственного университета путей сообщения и в сети Интернет на сайте [www.usurt.ru](http://www.usurt.ru).

Автореферат диссертации разослан «17» апреля 2010 г.

Отзывы на автореферат, в двух экземплярах, заверенные гербовой печатью, просим направлять в адрес диссертационного совета по почте и по факсу (343) 245-31-88.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Александров А.Э.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** За последние 10 лет в России наблюдается снижение качества транспортного обслуживания населения муниципальным городским пассажирским транспортом. Количество перевезенных пассажиров ежегодно сокращается (с 2000 по 2008 – в 2,6 раз). Вместе с тем интенсивно развивается городской коммерческий пассажирский транспорт, представленный автобусами малой вместимости, работающими в режиме маршрутных такси. Автобусы малой вместимости перевозят около 23% от общего пассажиропотока, а их доля в городском транспортном потоке составляет 35%. Растет уровень автомобилизации населения (рост автопарка составляет до 2 млн автомобилей в год). При этом протяженность улично-дорожной сети (УДС) увеличивается незначительно (до 0,5% в год) и сдерживается не только финансовыми возможностями, но и существующей планировкой и застройкой. Результатом рассогласованности развития городской транспортной инфраструктуры и потребностей в перевозках является снижение качества транспортного обслуживания населения и безопасности дорожного движения. Для большинства российских и зарубежных городов характерен высокий уровень загрузки УДС, который характеризуется значительной плотностью транспортных потоков и дорожными заторами.

Решению проблемы повышения качества и безопасности городских пассажирских перевозок посвящены труды многих российских и зарубежных ученых, в которых решаются задачи по организации городских транспортных потоков, повышению эффективности работы городского пассажирского транспорта, снижению негативного влияния коммерческого транспорта.

Компенсировать недостаточный уровень развития УДС возможно не только за счет технического и организационного регулирования транспортных потоков, но и путем разработки и реализации маршрутной сети городского наземного пассажирского транспорта, обеспечивающей разгрузку УДС и равномерное распределение транспортных потоков. Поэтому обоснование параметров маршрутной сети городского наземного пассажирского транспорта является актуальной научно-практической задачей, решение которой позволит значительно повысить уровень безопасности и качества городских пассажирских перевозок.

**Цель работы:** обоснование рациональных параметров маршрутной сети городского наземного пассажирского транспорта, обеспечивающих снижение уровня загрузки УДС и повышение качества городских пассажирских перевозок.

**Основные задачи исследования:**

- анализ тенденций развития городского пассажирского транспорта, уровня автомобилизации населения, объемов городских пассажирских перевозок, а также степени роста и развития УДС в городах;
- систематизация факторов, оказывающих существенное влияние на уровень загрузки УДС, и способов снижения данного уровня;
- разработка математической модели минимизации числа пассажирских транспортных средств на маршруте, алгоритма и методики определения рацио-

нальных параметров маршрутной сети городского пассажирского транспорта как способа снижения уровня загрузки УДС;

– апробация разработанной методики для условий города Магнитогорска и оценка эффективности ее применения для городов с различными схемами УДС.

**Объектом исследования** являются городские пассажирские перевозки.

**Предметом исследования** являются параметры маршрутной сети городских пассажирских перевозок.

**Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций** обеспечены репрезентативными выборками статистических данных, верификацией результатов экспериментов с использованием распространенных статистических критериев, новейших версий библиотек статистической обработки данных и оптимизации в программной среде MATLAB, согласованностью результатов моделирования и натурных наблюдений.

В качестве **методов исследования** в диссертационной работе используются: натурные наблюдения, статистический анализ, математическое моделирование, экспериментальные методы обследования пассажиропотока.

В своей работе автор опиралась на труды ученых в области организации пассажирских перевозок и оптимизации транспортного процесса: А.В. Вельможина, В.А. Гудкова, С.Н. Корнилова, Л.Б. Миротина, А.Н. Рахмангулова; организации систем городского транспорта: О.Н. Ларина, П.В. Рушевского, Д.С. Самойлова, Э.А. Сафронова, И.В. Спирина и других.

**Научную новизну работы составляют:**

– систематизация факторов, оказывающих влияние на уровень загрузки элементов УДС, а также способов снижения этого уровня;

– математическая модель минимизации числа пассажирских транспортных средств на маршруте, учитывающая ограничение на пропускную способность элементов УДС и полное удовлетворение потребности населения в перевозках;

– методика определения рациональных параметров маршрутной сети городского пассажирского транспорта, позволяющая снизить уровень загрузки УДС и обеспечить потребный уровень качества городских пассажирских перевозок.

**Практическую значимость исследования представляют:**

Разработанный алгоритм определения рациональных параметров маршрутной сети наземного пассажирского транспорта позволяет оптимизировать количество пассажирских транспортных средств, что приведет к снижению уровня загрузки УДС. Методика позволит разработать маршрутную сеть городского наземного пассажирского транспорта, снижающую уровень загрузки элементов УДС. Полученные выводы и рекомендации могут быть использованы в практической деятельности администрации городов по организации пассажирских перевозок, а также при разработке и корректировке маршрутных схем движения городского пассажирского транспорта, генеральных планов городов.

**Научные положения, выносимые на защиту:**

– организация работы городского пассажирского транспорта в условиях интенсивного роста уровня автомобилизации населения должна предусматривать



компенсацию недостаточного уровня развития городской транспортной инфраструктуры путем корректировки параметров маршрутной сети городских пассажирских перевозок;

– снижение уровня загрузки элементов УДС, при одновременном повышении качества городских пассажирских перевозок, в условиях большой доли коммерческих пассажирских транспортных средств в общем транспортном потоке достигается в результате минимизации числа пассажирских транспортных средств малой вместимости и равномерного перераспределения маршрутов их движения по элементам УДС;

– разработка новой или корректировка существующей маршрутной сети должна основываться на учете меняющихся в течение суток потребностях различных категорий населения в пассажирских перевозках, а также ограничений на фактические резервы пропускной способности элементов УДС, используемых для освоения расчетных пассажиропотоков.

**Реализация результатов работы.** Основные результаты теоретических и экспериментальных исследований реализованы в процессе выполнения научно-исследовательской работы «Разработка оптимальной комплексной транспортной сети города Магнитогорска» в 2004 году, а также муниципального контракта № 1444 «Выполнение проектных работ по обновлению маршрутной сети городского пассажирского автотранспорта г. Магнитогорска» в 2009 году.

**Апробация работы.** Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на VI Международной научно-технической конференции (Пенза, 2007); на Всероссийской научно-практической конференции ученых транспортных вузов, инженерных работников и представителей академической науки (Хабаровск, 2006); 62-й, 64-й научно-технических конференциях по итогам научно-исследовательских работ ГОУ ВПО «МГТУ» (Магнитогорск, 2002, 2005); научно-практической конференции «Студенческая молодежь – науке будущего» ГОУ ВПО «МГТУ» (Магнитогорск, 2004); на заседаниях кафедры промышленного транспорта, на научно-технических семинарах факультета горных технологий и транспорта ГОУ ВПО «МГТУ»; на объединенных семинарах УрГУПС и УГЛТУ (г. Екатеринбург).

Диссертационное исследование соответствует приоритетному направлению Министерства образования и науки РФ и Правительства Челябинской области, что подтверждается финансовой поддержкой работы (грант № 9-05С).

**Публикации.** Основные положения диссертации опубликованы в 10 печатных работах, в том числе 2 статьи в изданиях, входящих в Перечень, рекомендованный ВАК для публикации научных результатов диссертаций.

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения, изложенных на 135 страницах машинописного текста, содержит 26 рисунков, 14 таблиц, список литературы из 115 наименований и 3 приложения.

Автор выражает признательность А.Н. Рахмангулову, С.Н. Корнилову, С.Е. Гавришеву, Н.А. Осинцеву, М.В. Грязнову, А.В. Цыганову за конструктивные замечания и ценные советы при выполнении работы.

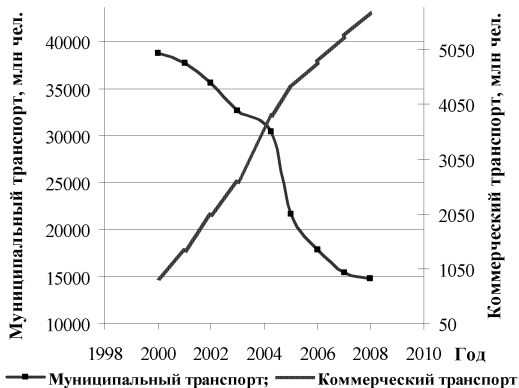
## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Введение** посвящено актуальности научной проблемы, постановке цели и задач исследования.

**В первой главе** произведен анализ городских пассажирских перевозок, уровня автомобилизации, развития УДС, работ в области организации транспортного обслуживания населения.

В 2008 году в России пассажирским муниципальным транспортом было перевезено 14 800 миллионов человек, из них автобусным – 40%, трамвайным – 17%, троллейбусным – 18 %, метрополитеном – 24%.

Количество перевезенных муниципальным транспортом общего пользования пассажиров сократилось (с

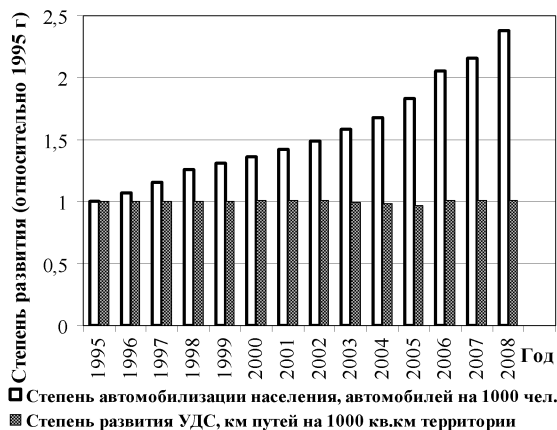


**Рисунок 1 – Изменение количества перевезенных пассажиров общественным муниципальным и коммерческим городским транспортом**

с 2000 по 2008 гг. в 2,6 раз). Автобусы малой вместимости, работающие в режиме маршрутного такси, перевозят более 23% пассажиров, а их доля в транспортном потоке достигла 35% (рисунок 1). Вместе с тем растет уровень автомобилизации населения. Количество автомобилей на 1000 жителей в 2008 году увеличилось почти в 2,5 раза по сравнению с 1995 годом. При этом структура УДС остается неизменной (увеличивается не более чем на 0,5% в год), темпы строительства новых городских дорог незначительны (рисунок 2) и сдерживаются, в основном, не только отсутствием финансовых средств, а существующей планировкой и застройкой.

Результатом рассогласованности уровня развития городской транспортной инфраструктуры и потребности в перевозках является высокий уровень загрузки УДС, который характеризуется высокой плотностью и низкими скоростями движения транспортных потоков. Практически для всех городов РФ характерен высокий уровень загрузки основных городских улиц. В результате снижается качество и безопасность пассажирских перевозок.

Вопросам оптимизации городских пассажирских перевозок посвящены многочисленные работы отечественных ученых. Существенный вклад в решение данных проблем внесли труды Э.А. Сафронова, И.В. Спирина, О.Н. Ларина, П.В. Рушевского, Д.С. Самойлова и других ученых. Вопросами моделирования в градостроительном и транспортном проектировании занимались Н.О. Брайловский, Г.В. Болоненков, В.А. Персианов, А.П. Лопатин, С.Ю. Ольховский, Ю.В. Завадский. Оптимизационные задачи решают и зарубежные специалисты – Р. Прюд, Ф. Гудвин, Г. Поттгофф, У. Смит.



**Рисунок 2 – Изменение степени развития структуры УДС и автомобилизации населения РФ по отношению к 1995 г.**

прось комплексного рассмотрения влияния на уровень загрузки УДС как личного и служебного транспорта, так и пассажирских транспортных средств.

**Во второй главе** определены и систематизированы факторы, оказывающие влияние на уровень загрузки УДС; скорректирован расчетно-аналитический метод определения пассажиропотоков по маршрутной сети города.

Анализ интенсивности транспортных потоков, выполненный для городов Уральского региона, и факторов, влияющих на уровень загрузки элементов УДС, позволил систематизировать эти факторы по признаку регулярности их проявления, а также по степени влияния на уровень загрузки УДС (таблица 1).

**Таблица 1 – Систематизация факторов, оказывающих влияние на уровень загрузки УДС**

Степень влияния на загрузку УДС	Факторы						Нерегулярные (частично управляемые)			Интегральный показатель качества перевозок пассажиров, $K_{\Sigma}$
	Регулярные (управляемые)				Сужение проезжей части		ДТП	Погодные условия		
	Количество транспортных средств		Тип перекрестка	Количество надземных пешеходных переходов на 1 км	Конструктивная	Припаркованные а/м		Состояние дорожного покрытия (коэффициент сцепления колес с дорогой)	Условия видимости, м	
	автомобилей на 1000 жителей	автобусов малой вместимости								
очень высокая (аварийная)	более 400	более 1000	необорудованные и кольцевые пересечения	6	переход из 3-х полос и более в 1		занимает все полосы движения			0,1-0,05 (обледеленое покрытие)
высокая	300	700	пересечения со светофор. регулированием	4-5			имеется 1 свободная полоса	0,2-0,3 (покрыто укатанным снегом)	50-100	0,592-0,634
средняя	200	400	канализированные движения; киберсветофор	2-3	переход из 2-х полос в 1		имеется 2 и более свободных полос	0,2-0,4 (мокрое дорожное покрытие)	100-200	0,634-0,8
низкая	100	100	развязки в разных уровнях	0-1	переход из 3-х полос в 2		занимает 1 полосу движения	0,7-0,8 (сухое дорожное покрытие)	250-300	0,8-0,944

Количество транспортных средств является основным фактором, поскольку оказывает определяющее влияние на уровень загрузки УДС. Если одновременно с основным проявляется даже один из дополнительных регулярных или нерегулярных факторов, то наблюдается качественное повышение уровня загрузки УДС.

Существующие способы снижения уровня загрузки УДС предлагается систематизировать по степени снижения уровня загрузки и по объекту воздействия (таблица 2).

**Таблица 2 – Систематизация способов, оказывающих существенное влияние на увеличение фактической пропускной способности УДС**

Степень снижения загрузки УДС	Объекты воздействия:						
	количество транспортных средств		инфраструктура			организация	
	легковой и грузовой транспорт	пассажирский транспорт	дороги	светофоры	парковки	службы	человек
низкая	движение только с загруженным автомобилем	выделение специализированных полос движения	строительство пешеходных и велосипедных дорожек	реверсивное движение	разрешение стоянки или остановки с одной стороны улицы	оперативное реагирование ДПС на возникшее ДТП	пропаганда отказа от использования автомобиля
средняя	движение по четным и нечетным числам месяца	определение оптимального количества транспортных средств	строительство подземных (наземных пешеходных переходов)	правый поворот на запрещающий сигнал светофора	запрет автомобилям остановки и стоянки на остановочных пунктах	оперативная уборка улиц и дорог от осадков	повышение привлекательности пассажирского транспорта
высокая	платный въезд в центр	организация маршрутов по незагруженным улицам	строительство развязок в разных уровнях	отмена желтого сигнала светофора	строительство парковок	оперативное регулирование заторов службами	создание предприятий в спальных районах
очень высокая	ограничение на въезд в центр	рациональная маршрутная сеть	строительство кольцевых объездных дорог	светофорное регулирование с учетом потоков	запрет остановок и стоянок на участках с низкой пропускной способностью	строгий контроль ДПС за соблюдением правил и ограничений	изменение режимов работы крупных предприятий

Рассмотренные способы оказывают влияние на факторы, приведенные в таблице 1. Способы, регулирующие количество автомобилей на наиболее загруженных элементах УДС, относятся к ограничивающим движение и могут применяться при достижении уровня автомобилизации 400 автомобилей на 1000 жителей. Способы, оказывающие воздействие на инфраструктуру, являются дорогостоящими и позволяют лишь временно снизить уровень загрузки УДС в условиях высоких темпов роста количества транспортных средств в городах.

Анализ структуры транспортных потоков российских городов показал, что в городах с высоким уровнем автомобилизации, превышающим 350 автомобилей на 1 тыс. жителей, доля коммерческого пассажирского транспорта в общем потоке незначительна – не превышает 5%. К таким городам в Уральском регионе относятся Тюмень, Екатеринбург, Пермь. В городах с меньшим уровнем автомобилизации наблюдается интенсивное увеличение доли автобусов малой вместимости, работающих в режиме маршрутного такси (Челябинск, Оренбург, Магнитогорск). В таких городах целесообразно применять способы, регулирующие количество пассажирских автобусов малой вместимости, при условии обеспечения требуемого уровня качества городских пассажирских перевозок. Поэтому оптимизация численности пассажирских транспортных средств и разработка рациональной маршрутной схемы их движения являются основными способами

снижения уровня загрузки УДС в городах с большой долей коммерческого пассажирского транспорта в общем транспортном потоке.

Рациональная маршрутная сеть должна учитывать потребность населения в перевозках. Эта потребность в работе учитывается распределением пассажиропотоков по элементам УДС в соответствии с транспортными корреспонденциями населения. На практике определить пассажиропоток на конкретном участке улично-дорожной сети города затруднительно без проведения серий натурных наблюдений. При условии ограниченности временных и финансовых ресурсов предпочтительнее использовать расчетно-аналитический метод, основанный на использовании моделей пассажирообразования и пассажиропоглощения.

На величину суммарного пассажиропотока, приходящегося на каждый элемент УДС, оказывает влияние характер транспортной подвижности пассажиров различных категорий в разное время суток. Предлагается учесть эти особенности для повышения точности расчетно-аналитического метода определения пассажиропотоков.

Для определения транспортных корреспонденций населения город представляется в виде топологической схемы с вершинами пассажирообразования, расположенными в микрорайонах населенного пункта, и транспортными связями между микрорайонами, характеризующимися расстоянием и временем сообщения. Предлагается с использованием статистических данных о численности населения в микрорайонах города определять количество пассажиров для каждой вершины топологической схемы, исходя из пешеходной доступности вершины.

Для повышения точности расчетно-аналитического метода предлагается группировать пассажиропотоки по следующим признакам:

- признаки первого уровня – категория занятости пассажиров: работающие, учащиеся, пенсионеры и прочие (не вошедшие в перечисленные категории);
- признаки второго уровня – распределение пассажиропотоков по часам суток;
- признаки третьего уровня – движение пассажиров по определенному маршруту.

Весь пассажиропоток разделяется на поток, осваиваемый городским пассажирским транспортом и поток, использующий личные или служебные автомобили. Пассажиропоток, осваиваемый городским пассажирским транспортом, разделяется на четыре подпотока, в зависимости от выделенных категорий занятости пассажиров: работающие, учащиеся, пенсионеры, прочие. К категории «работающие» отнесено население, занятое в материальном производстве, в бюджетной сфере и в сфере малого предпринимательства. К категории «учащиеся» – студенты, школьники, дошкольники. К категории «пенсионеры» – пенсионеры. К категории «прочие» – безработные и неучтенная часть населения (разность между общей численностью населения и суммарной численностью учтенных категорий населения). В соответствии с признаками пассажиропотока второго уровня определяется количество пассажиров  $P_i$ ,  $r_i$  каждой категории населения по часам суток для каждой  $i$ -й вершины пассажирообразования. Такое разделение необходимо для определения процентного соотношения каждой ка-

тегории по каждому часу работы городского пассажирского транспорта, поскольку каждая категория населения обладает специфическими закономерностями движения с распределением по часам суток.

Вершины пассажиропоглощения наносятся, исходя из расположения крупных и средних предприятий города, числа рабочих мест на них, учебных заведений и дошкольных учреждений с количеством учащихся, а так же социальных, культурно-бытовых объектов и объектов торговли. Интенсивность пассажиропоглощения в этих вершинах определяется на основе данных о численности работающих (учащихся) или среднесуточном количестве обслуживаемого этими объектами населения.

Расчет мощности пассажиропотоков предлагается производить для рабочих и учащихся по формуле (1), для пенсионеров и прочих по формуле (2)

$$H_i = \sum_{i=1}^{i=N-1} \frac{P}{СП} \cdot P_i, \quad (1)$$

где  $H$  – количество работников (учащихся), перевозимых в заданную вершину, чел.;  $P$  – потребность в работниках (учащихся) в заданной вершине, чел.;  $СП$  – суммарная потребность в работниках (учащихся) во всех вершинах, чел.;  $P_i$  – количество работников (учащихся), отправляющихся из  $i$ -й вершины в заданную, чел.;  $N$  – количество вершин транспортной сети, ед.

В связи с тем, что для категорий пенсионеры и прочие невозможно с необходимой точностью определить вероятные маршруты следования, для них разрабатывается другая топологическая схема, которая разделяется на укрупненные зоны. Расчет пассажиропотоков между этими зонами, а также внутри зон производится по формуле

$$R_i = \sum_{i=1}^{i=N-1} \frac{r_i}{k_i n}, \quad (2)$$

где  $R_i$  – количество пенсионеров и прочих категорий населения, приходящееся на каждую вершину заданной зоны, чел./ч;  $r_i$  – количество пенсионеров и прочих категорий населения в  $i$ -й зоне, чел.;  $k_i$  – количество точек в  $i$ -й зоне, ед.;  $n$  – количество часов, за которые совершается поездка в течение суток, ч.

Определение маршрутов движения работающих и учащихся (признак группировки третьего уровня) от каждой вершины к заданной производится по известной методике построения таблиц оптимальных путей (ТОП). Такие таблицы содержат описание кратчайших маршрутов от одной или нескольких заданных начальных вершин топологической схемы до всех остальных вершин. ТОП строятся для каждой вершины топологической схемы, принятой в качестве начальной вершины. Общее количество ТОП будет соответствовать количеству вершин топологической схемы. С использованием полученных оптимальных маршрутов суммируется рассчитанный по формулам (1, 2) пассажиропоток для каждой дуги для всех ТОП.

После расчета отдельных струй пассажиропотока, мощности струй, проходящих по одним и тем же элементам УДС в течение одинакового периода времени, суммируются по формуле:

$$Q(i,j) = \sum_{i=1}^{i=N-1} H_{i,j} + \sum_{i=1}^{i=N-1} R_{i,j} \quad (3)$$

Предложенный метод позволяет определить потребности в перевозке пассажиров городским пассажирским транспортом по каждому участку улично-дорожной сети в течение определенных часов суток с учетом детализации по времени для разных категорий населения. Пассажиропотоки между вершинами УДС являются одним из параметров маршрутной сети городского пассажирского наземного транспорта и используются в качестве исходных данных при разработке маршрутной сети.

Поскольку все большее количество населения предпочитает общественному транспорту личный, определение интенсивности движения по участкам УДС является необходимой задачей для выявления загруженности УДС. Для определения интенсивности движения транспорта используется метод натурных наблюдений, позволяющий определить количество транспортных средств, проходящих в единицу времени по элементам УДС. Определение фактической пропускной способности элементов УДС, с учетом коэффициента приведения транспортного средства разного типа, к легковому автомобилю и интенсивности движения позволит рассчитать фактический резерв пропускной способности УДС:

$$D(i, j)_k = N_{i,j}'' - (N_{i,j}'' + N_{i,j}^{cp} \cdot k_{np}^{cp} + N_{i,j}^{a/b} \cdot k_{np}^{a/b}), \quad (4)$$

где  $D(i, j)_k$  – суммарный резерв пропускной способности дуг улично-дорожной сети  $(i, j)_k$ , авт./ч;  $N_{i,j}''$  – пропускная способность дуги УДС, авт./ч;  $N_{i,j}''$  – интенсивность движения легковых автомобилей, авт./ч;  $N_{i,j}^{cp}$  – интенсивность движения грузовых автомобилей, авт./ч;  $k_{np}^{cp}$  – коэффициент приведения интенсивности грузового транспортного средства к эквивалентному количеству легковых автомобилей;  $N_{i,j}^{a/b}$  – интенсивность движения автобусов, авт./ч;  $k_{np}^{a/b}$  – коэффициент приведения интенсивности движения автобусов к эквивалентному количеству легковых автомобилей.

На топологическую схему города наносятся картограммы пассажиропотоков, приходящихся на городские пассажирские наземные перевозки и резервы пропускной способности. Таким образом, каждая дуга схемы УДС характеризуется двумя параметрами – мощностью пассажиропотока и резервом пропускной способности УДС.

**В третьей главе** представлены: математическая модель определения оптимального количества транспортных средств; алгоритм разработки маршрутной сети городского наземного пассажирского транспорта.

Рассмотренные во второй главе способы снижения уровня загрузки УДС выявили, что в городах со значительным количеством автобусов малой вместимости целесообразно использовать методы, регулирующие их количество при условии обеспечения потребного уровня качества городских пассажирских перевозок. Поэтому компенсировать недостаточный уровень развития УДС предла-

гается путем разработки и реализации маршрутной сети городского наземного пассажирского транспорта, обеспечивающей разгрузку УДС и равномерное распределение транспортных потоков.

Качество функционирования маршрутной сети оценивается степенью удовлетворения потребностей населения в пассажирских перевозках по объему (отношение числа фактически перевезенных пассажиров к расчетной потребности в перевозках), времени (среднее время ожидания пассажиром транспортного средства) и скорости (продолжительность поездки). Данные показатели зависят от уровня загрузки УДС. Снизить уровень загрузки возможно путем оптимизации числа пассажирских транспортных средств и корректировки схемы маршрутов их движения. Одновременно необходимо обеспечить перевозку расчетного пассажиропотока и не превысить ограничения по пропускной способности участков УДС.

Для решения данной задачи была разработана математическая модель оптимизации числа пассажирских транспортных средств, которая позволяет определить их минимальное количество с учетом существующего уровня загрузки УДС и потребностях в пассажирских перевозках. Целевая функция (3) минимизирует суммарное количество транспортных средств, используемых на пассажирских перевозках по всем или по отдельному маршруту

$$F = \sum_{k=1}^{k=K} (x_k^B + x_k^C + x_k^M) \rightarrow \min, \quad (5)$$

где  $x_k^B$ ,  $x_k^C$ ,  $x_k^M$  – количество транспортных средств соответственно большой, средней и малой вместимости, обслуживающих каждый  $k$ -й маршрут варианта схемы, ед.

Основными исходными данными для математического моделирования являются: часовой пассажиропоток, осваиваемый пассажирским транспортом; резервы пропускной способности всех дуг улично-дорожной сети. Поскольку целью функционирования городского пассажирского транспорта является полное удовлетворение потребности населения в перевозках, рациональное количество пассажирских транспортных средств должно соответствовать существующим пассажиропотокам.

Условие обеспечения перевозки существующего пассажиропотока имеет вид

$$Q_k^B x_k^B + Q_k^C x_k^C + Q_k^M x_k^M \geq Q(i, j)_k, \quad k = 1, 2, \dots, K, \quad (6)$$

где  $Q_k^{B,C,M}$  – количество пассажиров, перевозимых транспортными средствами соответственно большой, средней и малой вместимости, при движении по  $k$ -му маршруту, чел., определяемое по формуле

$$Q_k^{B,C,M} = \frac{q^{B,C,M}}{N_k^{B,C,M}}, \quad (7)$$

где  $q^{B,C,M}$  – вместимость транспортного средства соответственно большой, средней или малой вместимости, обеспечивающая перевозку пассажиров для дуг, входящих в состав расчетных маршрутов, чел.;  $N_k^{B,C,M}$  – количество оборотов одного автотранспортного средства на маршруте, об./авт., то есть



$$N_k^{B,C,M} = \frac{t_k^{B,C,M}}{24} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \sum_{j=1}^{j=n} [i,j]}{24V^{B,C,M}}, \quad (8)$$

где  $V^{B,C,M}$  – нормативная (эксплуатационная) скорость движения транспортных средств различной вместимости, км/ч;  $t_k^{B,C,M}$  – время оборота транспортного средства соответственно большой, средней и малой вместимости на  $k$ -м маршруте, ч;  $\sum_{i=1}^{i=n} \sum_{j=1}^{j=n} [i,j]$  – длина маршрута, км.

В условиях интенсивного роста уровня автомобилизации и транспортной подвижности населения необходимо дополнительно учитывать уровень загрузки УДС, который определяется как отношение интенсивности движения к пропускной способности УДС. В таком случае оставшийся после пропуска транспортных средств резерв пропускной способности УДС будет являться ограничивающим фактором, препятствующим росту пассажирских транспортных средств. Ограничение на пропускную способность имеет вид

$$D_k^B x_k^B + D_k^C x_k^C + D_k^M x_k^M \leq D(i,j)_k, \quad k = 1, 2, \dots, K, \quad (9)$$

где  $D_k^{B,C,M}$  – коэффициент использования пропускной способности транспортного средства большой, средней и малой вместимости;  $D(i,j)_k$  – суммарный резерв пропускной способности дуг улично-дорожной сети  $(i,j)_k$ , входящий в маршрут  $k$  движения транспортного средства, авт./ч.

Величина  $D_k^{B,C,M}$  определяется по формуле

$$D_k^{B,C,M} = N_k^{B,C,M} \cdot K_k^{B,C,M}, \quad (10)$$

где  $K_k^{B,C,M}$  – коэффициент приведения пропускной способности, используемой при движении транспортного средства разной вместимости, к величине пропускной способности, используемой при движении одного легкового автомобиля.

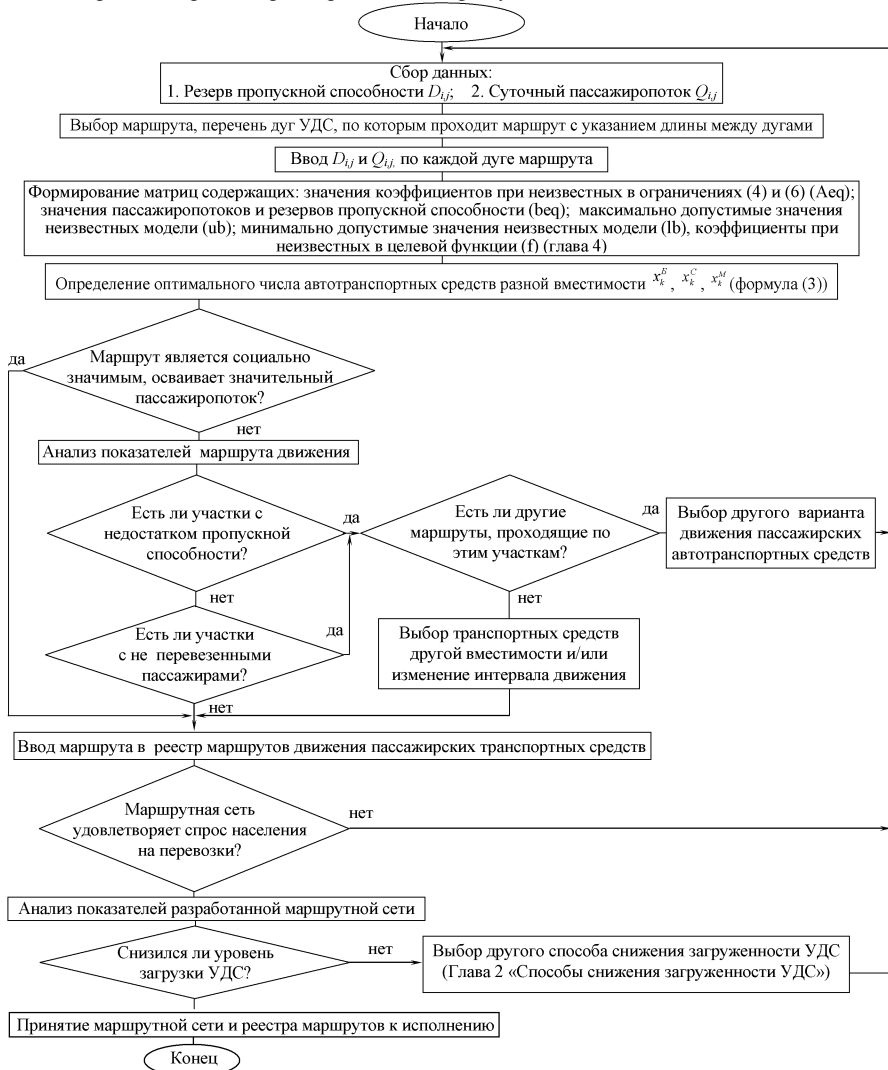
После нахождения значений  $x_k^B$ ,  $x_k^C$  и  $x_k^M$  для каждого маршрута  $k$  и для каждого периода суток рассчитываются показатели маршрута.

Выбор рационального варианта маршрутов движения осуществляется на основе анализа показателей маршрутной сети. Если на маршруте движения существуют участки с превышением допустимого резерва пропускной способности, то необходимо рассмотреть возможность корректировки схемы маршрутов, проложив маршрут менее загруженным элементам УДС. Аналогичные корректировки осуществляются в случае недостаточного удовлетворения потребности в пассажирских перевозках по элементам УДС.

Показатели, характеризующие освоение пассажиропотока, позволяют выявить участки с неудовлетворенными потребностями в перевозках, а также участки, где потребность полностью удовлетворена и существует необходимость увеличения интервалов движения транспортных средств. Маршрут движения, показатели которого соответствуют предъявляемым требованиям, вносится в

реестр маршрутов с указанием необходимого количества транспортных средств соответствующей вместимости, интервалом движения для каждого часа суток.

Выбор вариантов маршрутов и внесение их в реестр осуществляется до тех пор, пока маршрутная сеть не будет обеспечивать перевозку расчетного пассажиропотока. Алгоритм разработки маршрутной схемы городского наземного пассажирского транспорта приведен на рисунке 3.

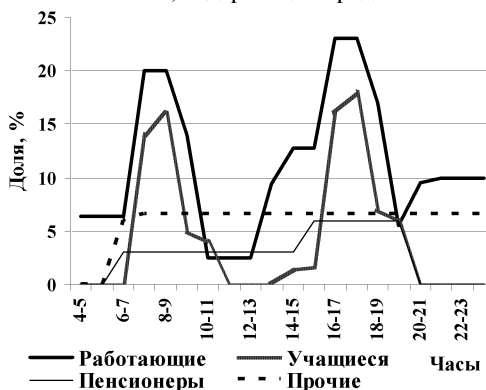


**Рисунок 3 – Алгоритм разработки маршрутной сети городского наземного пассажирского транспорта**

Реализация разработанного алгоритма позволяет снизить уровень загрузки элементов УДС и освоить расчетный пассажиропоток. В случае, если снижение уровня загрузки УДС путем изменения маршрутной сети оказывается незначительным, то необходимо рассматривать другие способы, представленные в таблице 2.

В четвертой главе представлены основные положения методики обоснования параметров маршрутной сети городского пассажирского транспорта на примере города Магнитогорска; проведены эксперименты на математической модели и установлены зависимости показателей маршрутной сети городских пассажирских перевозок от инфраструктурных факторов.

Методика определения оптимальных параметров маршрутной сети начинается с расчета пассажиропотоков и резервов пропускной способности для всех участков УДС. На рисунке 4 представлено процентное соотношение числа пассажиров каждой категории населения по часам суток работы городского пассажирского транспорта города Магнитогорска. Расчетный пассажиропоток и резервы пропускной способности и являются исходными данными для расчета оптимального количества транспортных средств разной вместимости для каждого маршрута движения. Для моделирования используется математическая система MATLAB 7.0. Данная система имеет в своем составе пакет оптимизации "Optimization Toolbox", содержащий средства поиска экстремума линейных функций.

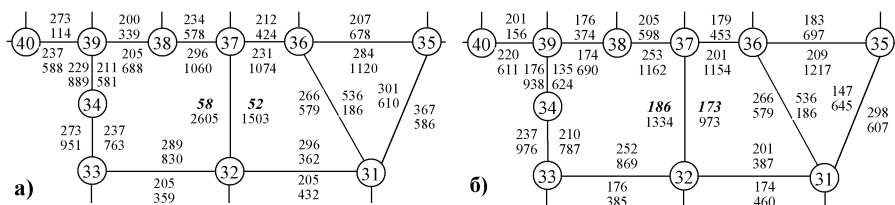


**Рисунок 4 – Соотношение распределения категорий населения по маршрутной сети в течение периода работы транспорта**

во транспортных средств большой, средней и малой вместимости, формируется перечень перегруженных элементов УДС, а также элементов с неудовлетворенной потребностью в пассажирских перевозках. На рисунке 5,а приведен фрагмент исходной топологической схемы, и схемы, полученной в результате моделирования - рисунок 5,б (значение сверху – резерв пропускной способности, снизу – количество перевезенных пассажиров).

Следующие исходные данные задаются в форме отдельных массивов: значения коэффициентов при неизвестных в ограничениях (6) и (9); значения пассажиропотоков и резервов пропускной способности для каждого элемента УДС; максимально и минимально допустимые значения неизвестных модели (ограничения); значения коэффициентов при неизвестных в целевой функции.

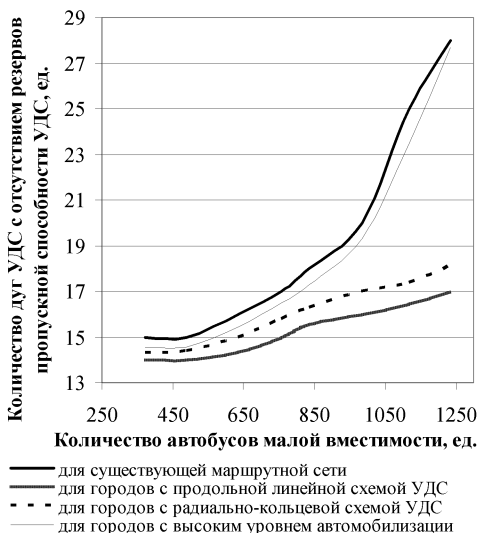
В результате проведения экспериментов с моделью определяется оптимальное количество



**Рисунок 5 - Показатели существующей (а) и предлагаемой (б) маршрутной схемы по результатам моделирования**

По результатам моделирования выявлено, что с увеличением числа автобусов малой вместимости увеличивается и число участков УДС с низкой пропускной способностью, а при достижении суммарного числа пассажирских транспортных средств на всех маршрутах определенного значения (1000 автомобилей для условий г. Магнитогорска) уровень загрузки резко возрастает (рисунок 6). Однако, данная зависимость характерна для крупных городов с населением не более 700 тыс. человек.

Разработанная методика была апробирована и внедрена в городе Магнитогорске в 2004 году. По результатам моделирования была разработана схема движения городского наземного пассажирского транспорта, определено оптимальное количество пассажирских транспортных средств различной вместимости. В 2009 году, в связи с изменившимися параметрами движения, маршрутная сеть была актуализирована по разработанной методике. Для условий города Магнитогорска были выработаны следующие рекомендации:



**Рисунок 6 – Зависимость уровня загрузки УДС от количества автобусов малой вместимости**

- долю перевозок автобусами большой и средней вместимости увеличить с 5% до 23%;
- долю перевозок автобусами малой вместимости сократить с 22% до 4% (таблица 3);
- маршруты движения автобусов малой вместимости проложить по поперечным и периферийным улицам города;
- по центральным улицам города направить маршруты с автобусами большой вместимости с интервалом не более 5 минут в часы пик;
- перевозки рельсовым транспортом оставить неизменными.

Методика определения оптимальных параметров маршрутной сети может быть ис-

пользована для городов с различной схемой расположения УДС. Для городов с радиально-кольцевой схемой УДС предлагается организовать маршруты движения автобусов большой и средней вместимости по радиальным улицам, маршруты движения автобусов малой вместимости - по кольцевым улицам.

**Таблица 3 - Сравнение показателей существующей и предлагаемой маршрутной сети для условий г. Магнитогорска**

Показатели	Существующая схема	Предлагаемая схема
Общее число маршрутов	102	77
Количество автобусов средней и большой вместимости, ед.	97	144
Количество автобусов малой вместимости, ед.	995	100
<b>Осваиваемый пассажиропоток, чел./сут</b>	<b>267456</b>	<b>267456</b>
<b>Суммарный резерв пропускной способности всей УДС, авт./ч</b>	<b>210137</b>	<b>226797</b>
Число элементов УДС с превышением резерва пропускной способности	94	12
<b>Коэффициент загрузки основных дорог движением в часы пик</b>	<b>0,9</b>	<b>0,7</b>
<b>Средняя скорость движения на маршруте, км/ч</b>	<b>16</b>	<b>24</b>
<b>Интервал движения на маршруте в часы пик, ч</b>	<b>-</b>	<b>0,07</b>

Таким образом, реализация методики для городов с высоким уровнем развития коммерческого городского транспорта позволит снизить суммарную загрузку всей УДС более чем на 8%, увеличить пропускную способность основных перекрестков на 23%, что, при прочих равных условиях, приведет к снижению уровня аварийности на 6%, повысить качество городских пассажирских перевозок за счет снижения уровня загрузки магистральных улиц города и освоения пассажиропотока в полном объеме.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В диссертационной работе на основании выполненных автором исследований получены результаты, представляющие собой совокупность актуальных научно-технических решений по снижению уровня загрузки основных улиц городов. Изложены научно обоснованные разработки по определению оптимальных параметров УДС, имеющих важное значение для обеспечения безопасности дорожного движения и качества пассажирских перевозок в стране.

В диссертационном исследовании получены следующие основные результаты, совокупность которых свидетельствует о достижении поставленных целей и решении сформулированных задач исследования:

1. Проанализировано современное состояние городских пассажирских перевозок и уровень развития улично-дорожной сети. Наблюдается существенное «отставание» развития структуры улично-дорожной сети крупных и средних городов России от потребностей в перевозках. В течение 1995—2008 гг. уровень автомобилизации в России вырос почти в 2,5 раза. При этом протяженность УДС увеличивается ежегодно не более чем на 0,5%. В результате, в часы пик плотность транспортного потока достигает предельного значения, что приводит к полному исчерпанию резервов пропускной способности отдельных элементов УДС.

2. По результатам исследования выявлены и систематизированы факторы, оказывающие влияние на уровень загрузки УДС. Количество транспортных средств является основным фактором, оказывающим определяющее влияние на уровень загрузки УДС. Если одновременно с основным проявляется даже один из выявленных дополнительных регулярных или нерегулярных факторов, то наблюдается качественное повышение уровня загрузки УДС. В городах со значительным количеством автобусов малой вместимости целесообразно использовать методы, регулирующие их количество, а также маршруты их движения, при условии обеспечения необходимого уровня качества городских пассажирских перевозок.

3. Произведена корректировка расчетно-аналитического метода определения пассажиропотоков по всей маршрутной сети города с учетом детализации по времени использования пассажирского транспорта, а также предпочтений выбора транспортных средств разными категориями населения, которая позволяет определять мощности пассажиропотоков по каждому элементу УДС в течение каждого часа суток.

4. Разработана методика определения рациональных параметров маршрутной сети городского пассажирского транспорта, которая позволяет снизить уровень загрузки УДС и повысить качество пассажирских перевозок. Методика включает в себя определение оптимального количества транспортных средств на каждом маршруте движения, которое осуществляется при помощи разработанной математической модели, учитывающей ограничения на пропускную способность УДС и полное удовлетворение потребности населения в перевозках. Разработанная методика формализована в виде алгоритма определения рациональных параметров маршрутной сети городских пассажирских перевозок.

5. В результате проведения экспериментов на разработанной математической модели была выявлена зависимость уровня загрузки УДС от количества автобусов малой вместимости, а также от прохождения маршрутов движения пассажирских транспортных средств по определенным элементам УДС. Установлено, что при суммарной численности пассажирских транспортных средств более 1000 автомобилей (в крупных городах с прямоугольной схемой УДС) уровень загрузки УДС резко возрастает. При изменении маршрутной схемы в результате равномерного распределения маршрутов по элементам УДС количество элементов с высоким уровнем загрузки сократится на 60%.

6. Методика определения оптимальных параметров маршрутной сети городского пассажирского транспорта была апробирована и внедрена в городе Магнитогорске. По результатам моделирования была разработана схема движения городского наземного пассажирского транспорта, определено оптимальное количество пассажирских транспортных средств различной вместимости. В результате снизилась суммарная загрузка всей УДС более чем на 8%, увеличилась пропускная способность основных перекрестков на 23%. Методика определения оптимальных параметров маршрутной сети может быть использована для городов с различной схемой расположения УДС и любой численностью населения.

**Основное содержание диссертационного исследования опубликовано в следующих научных работах:**

**в изданиях, рекомендованных ВАК:**

1. Пыталева О.А. Повышение безопасности и качества пассажирских перевозок в г. Магнитогорске / Корнилов С.Н., Рахмангулов А.Н., Пыталева О.А. // Автотранспортное предприятие. – 2009. – Вып. 7. – С. 41–44.

2. Пыталева О.А. Анализ и систематизация факторов, влияющих на параметры городских транспортных потоков // Транспорт Урала. – 2009. – Вып. 4(23). – С. 19–21;

**в других изданиях:**

3. Пыталева О.А. Определение оптимального числа транспортных средств городского пассажирского транспорта // Вестник УрГУПС. – 2009. – Вып. 4. – С. 120-123.

4. Гридина О.А.<sup>1</sup>. Повышение безопасности городского дорожного движения на основе оптимизации пассажирских перевозок / Рахмангулов А. Н., Корнилов С. Н., Пыталев И.А., Гридина О.А. / Вестник КГТУ. Сер. Транспорт. Красноярск: КГТУ, 2005. – Вып. 39. – С.475-481.

5. Гридина О.А. Математическое моделирование схемы маршрутов движения городского пассажирского автотранспорта / Рахмангулов А. Н., Корнилов С. Н., Пыталев И.А., Гридина О.А. // Математика. Приложение математики в экономических, технических и педагогических исследованиях: сб. науч. тр. / под ред. М.В. Бушмановой. – Магнитогорск: МГТУ, 2005. – С. 200-206.

6. Гридина О.А. Методика совершенствования организации городских пассажирских перевозок как инструмент компенсации недостаточного уровня развития городской транспортной инфраструктуры / Рахмангулов А. Н., Корнилов С. Н., Гридина О.А. // Коммунальное хозяйство городов: Сб. науч. тр. Вып. 69. Сер. Технические науки и архитектура / под ред. В.О. Мельмана. – Киев: Техника, 2006. – С. 191–196.

7. Гридина О.А. Использование информационных технологий при организации городских пассажирских перевозок / Рахмангулов А.Н., Осинцев Н.А., Цыганов А.В., Гридина О.А. // Информационные технологии в науке, промышленности и образовании: сб. науч. тр. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. – С. 76-80.

8. Гридина О.А. Методика определения расчетных пассажиропотоков по элементам улично-дорожной сети города / Рахмангулов А. Н., Корнилов С.Н., Гридина О.А. // Материалы 64-й научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ за 2004-2005 гг.: сб. докл. /под ред. Г.С. Гуна. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. – С. 195-199.

9. Гридина О.А. Оперативное управление безопасностью дорожного движения на основе мониторинга пассажирских перевозок / Рахмангулов А.Н., Гридина О.А., Цыганов А.В., Осинцев Н.А. // Развитие инфраструктуры транспорта и технологий перевозочного процесса в современных условиях: тр. междунар. науч.-практ. конференции (Хабаровск, 17-19 января 2007 г.) / под ред. Телегиной В.А. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2007. – С. 101-106.

10. Гридина О.А. Аппаратно-программный комплекс мониторинга безопасности дорожного движения / Рахмангулов А.Н., Корнилов С.Н., Гридина О.А., Пыталев И.А. // Вестник КГТУ. Сер. Транспорт. Вып. 43. – Красноярск: КГТУ, 2006. – С.181-184.

---

<sup>1</sup> Гридина О.А. – фамилия соискателя до замужества