

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
НАБЕРЕЖНОЧЕЛНИНСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ) ФЕДЕРАЛЬНОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО  
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

ШУБЕНКОВА КСЕНИЯ АНДРЕЕВНА

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОБУСНЫХ ПЕРЕВОЗОК  
С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ**

Специальность 05.22.08 – Управление процессами перевозок

Диссертация на соискание ученой  
степени кандидата технических наук

Научный руководитель:  
д.т.н., профессор И.В. Макарова

Орел – 2017

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>5</b>
<b>1 АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ОРГАНИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ГОРОДСКИМИ АВТОБУСНЫМИ ПЕРЕВОЗКАМИ....</b>	<b>10</b>
1.1 Устойчивое развитие транспортных систем городов.....	10
1.2 Влияние особенностей планировки городов на развитие транспортных систем .....	15
1.3 Отечественный и зарубежный опыт управления городскими автобусными перевозками.....	16
1.3.1 Организация управления транспортными системами городов.....	16
1.3.2 Интеллектуальные транспортные системы.....	17
1.3.3 Анализ основных направлений организации и интеллектуализации управления в транспортных системах.....	18
1.4 Обзор работ в области маршрутизации городского автобусного транспорта .....	21
1.4.1 Применение эвристических и метаэвристических методов.....	21
1.4.2 Применение методов математического моделирования .....	23
1.4.3 Применение методов имитационного моделирования.....	24
1.5 Выводы, цель и задачи исследования .....	27
<b>2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ ГОРОДСКИМИ АВТОБУСНЫМИ ПЕРЕВОЗКАМИ.....</b>	<b>29</b>
2.1 Теоретические аспекты моделирования .....	29
2.2 Методы решения задач транспортной маршрутизации .....	33
2.2.1 Метод ветвей и границ («Поиск Branch & Bound»).....	34
2.2.2 Поиск кратчайшего пути.....	35
2.3 Методы определения пассажиропотоков и матриц корреспонденций ....	36
2.3.1 Стандартная четырехступенчатая модель спроса.....	38
2.4 Методы обследований и прогнозирования интенсивности движения на городских улицах.....	40
2.4.1 Оцениваемые параметры транспортного потока.....	40

2.4.2 Средства автоматической фиксации при обследовании транспортных потоков.....	41
2.4.3 Натурные обследования транспортных потоков .....	42
2.5 Выводы по главе .....	44
<b>3 РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГОРОДСКИМИ АВТОБУСНЫМИ ПЕРЕВОЗКАМИ.....</b>	<b>46</b>
3.1 Концептуальная модель и структура системы управления городскими автобусными перевозками.....	46
3.2 Программный модуль ввода и хранения информации.....	48
3.3 Интеллектуальное ядро системы управления городскими автобусными перевозками.....	49
3.3.1 Математическая модель для оптимизации управления автобусными перевозками .....	49
3.3.2 Транспортная модель .....	55
3.4 Алгоритм принятия решений по повышению эффективности организации городских автобусных перевозок.....	57
3.5 Выводы по главе .....	59
<b>4 АПРОБАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГОРОДСКИМИ АВТОБУСНЫМИ ПЕРЕВОЗКАМИ (НА ПРИМЕРЕ Г. НАБЕРЕЖНЫЕ ЧЕЛНЫ) .....</b>	<b>61</b>
4.1 Анализ транспортной системы г. Набережные Челны .....	61
4.1.1 Планировочная схема улично-дорожной сети.....	61
4.1.2 Особенности формирования пассажиропотоков .....	62
4.1.3 Анализ состояния системы городского пассажирского транспорта г. Набережные Челны.....	63
4.1.4 Ключевые проблемы городского пассажирского транспорта г. Набережные Челны.....	66
4.2 Реализация транспортной модели в пакете PTV VISUM.....	68
4.2.1 Построение модели дорожной сети г. Набережные Челны .....	68
4.2.2 Расчет матриц пассажирских корреспонденций.....	70

4.2.3	Расчет распределения транспортной нагрузки по участкам УДС .....	73
4.3	Валидация модели.....	76
4.3.1	Натурные исследования интенсивности транспортных потоков .....	76
4.3.2	Оценка соответствия модельных значений реальной ситуации .....	79
4.4	Организация автобусных перевозок с учетом «слабых мест» существующей системы .....	81
4.4.1	Разработка новой маршрутной сети .....	81
4.4.2	Перераспределение транспортных потоков и прогнозирование .....	84
4.4.3	Подбор оптимального парка ПС на маршруты.....	88
4.5	Выводы по главе .....	89
<b>5</b>	<b>ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ</b>	<b>91</b>
5.1	Оценка эффективности автобусных перевозок при предлагаемой схеме организации движения .....	91
5.1.1	Экономическая целесообразность предлагаемого решения .....	91
5.1.2	Оценка социального эффекта внедрения предлагаемого решения.....	92
5.1.3	Оценка экологической эффективности .....	94
5.1.4	Повышение устойчивости транспортной системы города.....	94
5.2	Анализ рисков при управлении городскими автобусными перевозками	98
5.2.1	Идентификация рисков при управлении городским транспортом .....	98
5.2.2	Оценка выявленных рисков .....	99
5.2.3	Выбор способов воздействия.....	101
5.2.4	Оценка риска инвестирования в автобусы большой вместимости.....	105
5.3	Выводы по главе .....	107
	<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>109</b>
	<b>ОСНОВНЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ.....</b>	<b>111</b>
	<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....</b>	<b>114</b>
	<b>ПРИЛОЖЕНИЯ.....</b>	<b>128</b>

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** Двадцатый век, ставший периодом беспрецедентного роста городов и систем расселения, выявил потребность человечества в разработке и внедрении принципов устойчивого развития в области градостроительства и территориального планирования. Социально-экономическое развитие региона, качество жизни населения и его мобильность зависят от устойчивости транспортной системы города, на формирование которой существенное влияние оказывают особенности его транспортно-планировочного каркаса и планировочной структуры, что должно учитываться при транспортном планировании и управлении.

В современных городах широко распространена прямоугольная схема улично-дорожной сети (УДС), одним из достоинств которой является отсутствие четко выраженного центра города, что способствует относительно равномерному распределению транспортных потоков (ТП). К недостаткам прямоугольно-линейной планировочной структуры можно отнести:

- множественное наложение маршрутов, что приводит к перегрузке УДС и повышению негативного воздействия автотранспорта на окружающую среду;
- большое количество перекрестков (как регулируемых, так и нерегулируемых), что ведет к росту числа конфликтных точек на УДС и вероятности ДТП.

В условиях роста автомобилизации задача повышения эффективности функционирования общественного транспорта приобретает комплексный характер, и помимо вопроса об удовлетворении транспортной потребности населения следует рассматривать ее с точки зрения минимизации нагрузки на окружающую среду и обеспечения безопасности дорожного движения. Одним из путей решения является переход от частных автомобилей к общественному транспорту без ущерба для мобильности населения. Это может быть обеспечено, в значительной мере, повышением качества управления общественным транспортом города.

Задача рационального управления транспортными потоками, в том числе потоками пассажирского транспорта в городах, не теряет своей актуальности на протяжении последних лет и имеет важное научно-практическое значение.

**Степень разработанности темы исследования.** Решением задачи повышения эффективности городского пассажирского транспорта (ГПТ) занимались многие как отечественные, так и зарубежные ученые. Вопросам, связанным с интеллектуализацией управления транспортными потоками города, посвящены работы Врублевской С.С., Жанказиева С.В., Новикова А.Н., Макаровой И.В., Хабибуллина Р.Г. и др. Вопросы управления городским пассажирским транспортом отражены в работах Железова Р.В., Ефименко Д.Б., Huang Z.D., Liang Sun, Данга Х.Л., Чжо Мью Хана, Якунина Н.Н., Корчагина В.А., Бондаренко Е.В., Рассохи В.И. и др. Изучению вопросов транспортного моделирования посвящены труды Богомолова А.А., Семеновой О.С., Папаскуа А.А., Наумовой Н.А., Зварыча Е.Б., Пыталевой О.А. и др. В основу работ по транспортному моделированию легли труды в области теории транспортных потоков таких ведущих ученых, как Ваксман С.А., Вучик В.Р., Миротин Л.Б., Гудков В.А., Сильянов В.В., Зырянов Вл.Вас., Зырянов Вас.Вл., Власов В.М., Спирин И.В. и др.

Однако, существующие модели не учитывают зависимость времени доставки пассажиров от времени простоя транспортных средств (ТС) в заторах, отсутствия свободных мест в ТС и от времени простоя на остановочных пунктах (ОП) в ожидании очереди на подачу ТС к месту посадки-высадки. Липенковым А.В. была решена задача расчета задержек автобусов на ОП, но им не исследовалось влияние этих задержек на время доставки пассажира в целом.

**Цель работы** – повышение эффективности транспортного обслуживания населения города путем снижения времени доставки пассажиров, нагрузки на улично-дорожную сеть и негативного воздействия на окружающую среду.

**Задачи исследования:**

1. Выполнить теоретические исследования существующих направлений организации управления городскими автобусными перевозками.
2. Определить зависимость времени доставки пассажиров от времени простоя ТС в заторах и на ОП в ожидании очереди на подачу ТС к месту посадки-высадки, а также отсутствия свободных мест в ТС.

3. Разработать систему управления городскими автобусными перевозками, интеллектуальным ядром которой является имитационная модель, как метод принятия управленческих решений в области городского транспорта.

4. Разработать алгоритм принятия решений, основанный на минимизации времени доставки пассажиров и суммарного количества ТС, одновременно проходящих по одному участку УДС.

5. Выполнить анализ системы городского пассажирского транспорта г. Набережные Челны.

6. Апробировать предложенные методы для повышения эффективности автобусных перевозок в г. Набережные Челны.

7. Выполнить оценку эффективности реализации предлагаемой системы управления городскими автобусными перевозками.

**Объект исследования** – система автобусных перевозок городского пассажирского транспорта.

**Предмет исследования** – методы и модели повышения эффективности организации управления городскими автобусными перевозками.

**Научная новизна:**

1. Дополнен целевой функционал совершенствования городских автобусных перевозок, в основу которого заложен принцип минимизации как времени доставки пассажиров, так и суммарного количества ТС, одновременно проходящих по одному участку при сохранении мобильности населения.

2. Предложено при расчете среднего времени доставки пассажиров учитывать зависимость среднего времени ожидания пассажирами автобуса от коэффициента превышения числа свободных мест в ТС и зависимости времени ожидания ТС очереди на посадку-высадку от коэффициента задержки ТС на ОП.

3. Теоретически обоснованы значения коэффициента превышения числа свободных мест в ТС и коэффициента задержки ТС на ОП.

**Теоретическая и практическая значимость работы** заключается в разработке концептуальной модели системы управления городскими автобусными перевозками, позволяющей реализовывать как стратегическое, так и оперативное

управление за счет сформированной базы оптимальных решений и альтернативных маршрутов объезда при наступлении критической ситуации. Интеллектуальным ядром системы является имитационная модель транспортной системы города. Модульный принцип системы управления позволяет дополнять ее микромоделями проблемных участков, на которых могут быть отработаны различные варианты решения. Разработан научно-практический метод определения времени доставки пассажиров с учетом времени простоя в заторах (при прохождении маршрута по проблемным участкам УДС), увеличения времени ожидания ТС в случае отказа в посадке в связи с отсутствием свободных мест в ТС, а также времени посадки-высадки пассажиров с учетом простоя ТС на ОП в ожидании очереди на подачу ТС к месту посадки-высадки. Алгоритм повышения эффективности городского общественного транспорта вносит существенный вклад в теорию и практику организации городских пассажирских перевозок.

Предлагаемые в работе научно-методические подходы могут быть использованы работниками муниципалитета при формировании маршрутной сети и управлении типовой и количественной структурой подвижного состава (ПС) на маршрутах для снижения нагрузки на УДС и негативного воздействия на окружающую среду, повышая устойчивость транспортной системы города в целом.

**Методы исследования, достоверность и обоснованность результатов.** Методологической основой послужили положения теории пассажирских автомобильных перевозок, методы статистического анализа и прогнозирования, математического и имитационного моделирования, транспортной маршрутизации, определения пассажиропотоков и транспортных корреспонденций, обследований и прогнозирования интенсивности движения. Достоверность решений подтверждается сходимостью результатов моделирования с данными натурных исследований.

**На защиту выносятся:**

- целевой функционал совершенствования городских автобусных перевозок;
- концептуальная модель системы управления городскими автобусными перевозками;



– математическая модель времени доставки пассажиров, дополненная коэффициентом превышения свободных мест в ТС, коэффициентом задержки ТС на ОП и учитывающая время простоя в заторах.

**Апробация работы.** Результаты работы обсуждались и получили одобрение на Четвертой всероссийской МНПК по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «ИММОД-2009» (Санкт-Петербург, 2009 г.); Девятой и десятой МНПК «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах» (Санкт-Петербург, 2010 и 2012 гг.); МНПК, «Инновации в транспортном комплексе. Безопасность движения. Охрана окружающей среды» (Пермь, 2010 г.); XIX Международной студенческой школе-семинаре «Новые информационные технологии» (Судак, МИЭМ, 2011 г.); МНПК «Информационные технологии. Автоматизация. Актуализация и решение проблем подготовки высококвалифицированных кадров (ИТАП-2013)» (Казань, 2013 г.); МНПК «Информационные технологии и инновации на транспорте» (Орел, 2015 и 2016 гг.); Международной конференции «Устойчивое развитие городов» (International Conference on Sustainable Cities) (Екатеринбург, 2016 г.); V International Symposium of Young Researchers «Transport Problems» (Катовице, Польша, 2016 г.); 16th International Multidisciplinary Conference of Reliability and Statistics in Transportation and Communication (RelStat-16) (Рига, Латвия, 2016 г.).

**Публикации.** По теме диссертации опубликована 21 научная работа, в том числе 4 статьи в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ для кандидатских диссертаций, и 5 статей в изданиях, индексируемых Web of Science и/или Scopus.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы, включающего 128 наименований. Работа содержит 127 страниц машинописного текста, 13 таблиц, 35 иллюстраций и 8 приложений.

# 1 АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ОРГАНИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ГОРОДСКИМИ АВТОБУСНЫМИ ПЕРЕВОЗКАМИ

## 1.1 УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ГОРОДОВ

Урбанизация является одним из ключевых факторов, оказывающих влияние на развитие современного мира. Совершенно очевидно, что уже сегодня города являются безусловными центрами жизни для большей части населения земли, и в будущем эта тенденция сохранится [1]. Все это сопровождается ростом автомобилизации и, как следствие, ведет к таким проблемам, как пробки, загрязнение воздуха, увеличение потребления энергии. Высокий уровень транспортной нагрузки влечет за собой еще одну проблему, требующую комплексных решений, – рост числа ДТП. Международное внимание к обеспечению безопасности дорожного движения в последнее время возросло с принятием программы «2030 Agenda for Sustainable Development» [2], в которой поставлена цель снизить на 50% смертность и травматизм в дорожно-транспортных происшествиях к 2020 году.

Поскольку транспорт является той областью, в которой должны использоваться эффективные и экологически безопасные проекты и решения, способные обеспечить устойчивое развитие городских транспортных систем [3], ЮНЕП вместе с фондом «Международная автомобильная федерация» (ФИА) и Международным транспортным форумом в рамках Организация экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) инициировала кампанию «На 50 к 50-му», целью которой является повышение эффективности мирового автопарка по меньшей мере на 50 процентов к 2050 году. Одним из путей достижения поставленной цели стала концепция «Avoid – Shift – Improve» («Сокращение – Переход – Совершенствование»), которая направлена на снижение потребления энергии, выбросов, заторов и числа ДТП с конечной целью создания городов, более пригодных для жизни:

1. **Сокращение** числа поездок и расстояний между точками формирования и притяжения пассажиропотоков путем оптимизации землепользования, а также перераспределения транспортных потоков таким образом, чтобы снизить

нагрузку на проблемных участках в часы пик. Этот принцип основывается на изменении парадигмы в области городского планирования и стимулировании компактных городов как способа повышения доступности и снижения потребности в транспорте в целом.

2. **Переход** на более экологически эффективные виды транспорта, такие как общественный и немоторизованный транспорт для пассажиров и рельсовый и водный транспорт – для грузов. В Докладе о безопасности дорожного движения в мире 2015 [4] отмечается, что продвижение к более устойчивым видам транспорта, таким как общественный и велосипедный, оказывает положительное воздействие при условии регулирования связанных с безопасностью дорожного движения последствий. Такие последствия включают повышение уровней физической активности, снижение выбросов и уровней шума, уменьшение дорожных «пробок» и повышение комфортности городской среды. К тому же, меры по продвижению безопасного общественного транспорта и немоторизованных транспортных средств созвучны глобальным усилиям по борьбе с ожирением и уменьшению бремени неинфекционных заболеваний (таких, как болезни сердца и диабет).

3. **Совершенствование** используемых технологий для уменьшения негативного воздействия автотранспорта на окружающую среду. Этот принцип включает в себя снижение массы ТС; использование автотранспорта, работающего на альтернативных видах топлива; нормирование выбросов ТС на законодательном уровне; а также переход к Интеллектуальным Транспортным Системам (ИТС), которые используют преимущества информационных и коммуникационных технологий для улучшения управления транспортной системой.

Развитие транспортной системы города в соответствии с этими принципами будет способствовать снижению зависимости населения от личных транспортных средств и повышению использования систем общественного и немоторизованного видов транспорта как на короткие расстояния, так и для ежедневных поездок на работу.

В России на сегодняшний день темпы роста автомобилизации выше, чем в европейских странах, и решение проблем устойчивого развития транспорта явля-

ется приоритетным направлением при разработке транспортных стратегий городов. Существующие примеры успешных стратегий развития устойчивых транспортных систем городов основаны на применении комплексного пакета мер. Такие «пакеты» скорее могут получить общественное одобрение, поскольку они предлагают одновременно несколько решений, которые по отдельности могли бы выглядеть как невыгодные для отдельных лиц, но при одновременном внедрении они приносят ощутимую выгоду для общества в целом [5]. Основные направления перехода к устойчивому транспорту, которые реализуются в ряде городов России, практически те же, что и в европейских странах (рисунок 1.1).

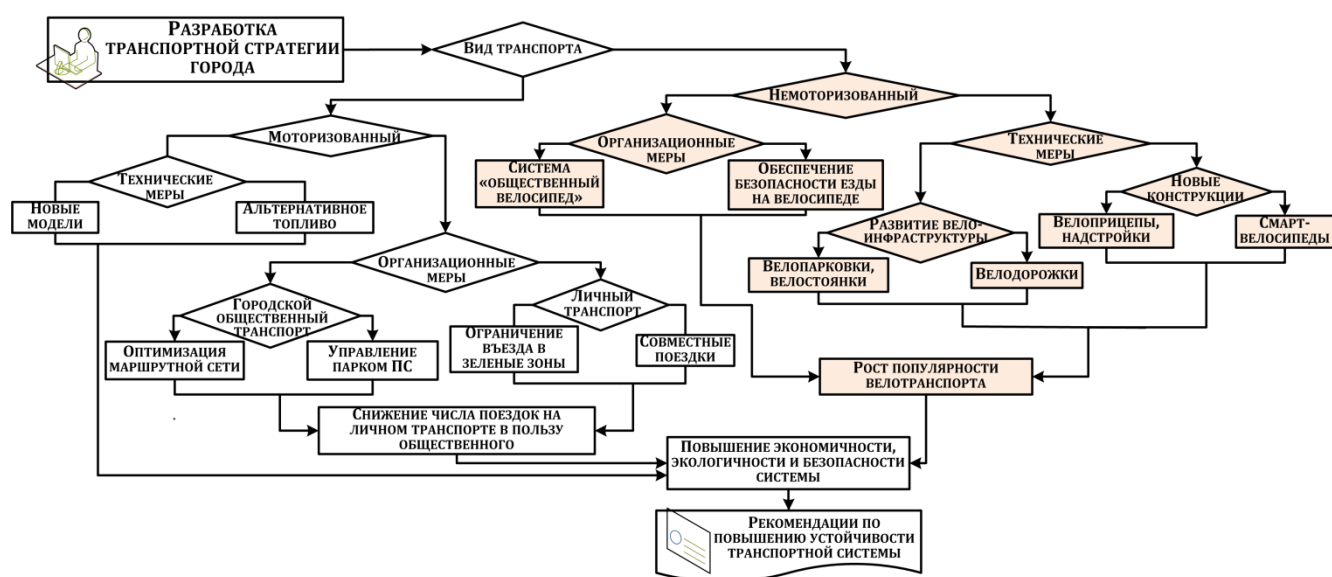


Рисунок 1.1 – Направления устойчивого развития транспортных систем городов

Однако, не все пути в России будут столь же эффективны, как в Европе – ввиду отличия природно-климатических условий, уровня экономического развития, плотности застройки, особенностей планировочных решений городов и т.д. Например, немоторизованный транспорт имеет в России пока ограниченное применение в связи с неблагоприятными природно-климатическими условиями. Поэтому одним из важных направлений при разработке транспортных стратегий российских городов становится повышение эффективности общественного транспорта для его популяризации среди населения. В целом, количество передвижений в городах на личных автомобилях может быть снижено при следующих условиях:

- транспортные связи между всеми частями города обеспечены общественным транспортом;

– транспортная доступность крупных точек притяжения пассажиропотоков города должна быть хорошо обеспечена как общественным транспортом, так и инфраструктурой для немоторизованного транспорта и пешеходных передвижений;

– наличие достаточных оснований для отказа от личного автомобиля (например, дефицит и дороговизна мест для парковки, инструменты финансовой политики: налоги, сборы и субсидии).

Система городского пассажирского транспорта должна, с одной стороны, создавать возможность комфортного и безопасного передвижения пассажиров при наименьших как временных, так и денежных затратах, а с другой – соответствовать пропускной способности улично-дорожной сети (УДС), минимизировать нагрузку на окружающую среду, а также обеспечивать безопасность дорожного движения. Это требует совершенствования существующих, а также разработки новых методов управления городскими транспортными системами, внедрение которых позволит общественному транспорту составить достойную конкуренцию поездкам на личных автомобилях.

Таким образом, на выбор способа передвижения влияют следующие показатели функционирования ГПТ:

1. *Возможность достичь любой точки города с минимальным количеством пересадок и за минимальный временной интервал.* Поскольку любой город развивается, что влечет за собой появление новых центров притяжения пассажиропотоков, то и маршрутная сеть ГПТ должна корректироваться в соответствии с изменениями транспортной потребности населения и структуры пассажиропотоков.

2. *Стоимость проезда.* На сегодняшний день снижение затрат на ежедневные поездки является для автовладельцев основным доводом в пользу общественного транспорта. Поэтому ситуация, когда эксплуатация личного автомобиля менее затратна, чем использование общественного транспорта, недопустима [6].

3. *Комфортабельность автобусов.* Значительный возраст ПС, несоответствие вместимости автобусов реальным потребностям в перемещениях, преждевременный износ транспортных средств (ТС) ввиду того, что обслуживание ТС осуществляется «по потребности», т.к. небольшие автопредприятия не имеют

своей ремонтной базы – это далеко не полный перечень существующих на сегодняшний день препятствий на пути к обеспечению комфорта пассажиров.

4. *Скорость движения.* Автобусы малой вместимости стали особенно популярны на маршрутах ГПТ в том числе и потому, что, по мнению пассажиров, они способны обеспечить более высокую скорость сообщения. Однако, как показывает опыт [7], чрезмерный рост численности парка микроавтобусов приводит к скоплению их на остановочных пунктах, к заторам вследствие перегрузки УДС и, в конечном счете, напротив, к увеличению временных затрат пассажиров.

5. *Время ожидания автобуса на остановке.* Эксперты в области транспортной политики отмечают, что четкое соблюдение расписания является ключевым параметром эффективности функционирования ГПТ, влияющим на время ожидания автобуса, и, соответственно, в целом на время доставки пассажира [8].

6. *Информированность пассажиров.* В условиях постоянного повышения потребности общества в передвижениях важным моментом является предсказуемость и регулярность появления подвижного состава на остановках. Стоит отметить, что здесь речь идет не об электронных табло, где просто отображается расписание движения. Смысл имеют лишь те информационные табло, которые отображают актуальные данные о движении автобуса с учетом всех задержек и несоответствий существующему расписанию, получаемые благодаря системе ГЛОНАСС.

7. *Безопасность.* В связи с нехваткой посадочных мест в часы пик пассажиры очень часто вынуждены ездить стоя в микроавтобусах, которые абсолютно к этому не приспособлены. Или же, наоборот, в периоды спада пассажиропотока водители коммерческих маршрутных автобусов нередко устраивают гонки между собой в борьбе за пассажира. Все это негативно сказывается как на безопасности потребителей транспортных услуг, так и безопасности движения в целом.

8. *Экологичность.* Данный фактор не оказывает прямого влияния на удовлетворенность населения качеством транспортного обслуживания. Однако, его значимость неоспорима: по предварительным подсчетам ЮНЕП ООН благодаря

переходу на более экологически чистое топливо удастся предотвратить несколько сотен тысяч преждевременных смертей в год [9].

Таким образом, задача повышения привлекательности общественного транспорта требует применения комплексных решений на основе анализа особенностей города, его транспортно-планировочного каркаса, плотности застройки, численности населения, зонирования территорий и т.п.

## **1.2 ВЛИЯНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПЛАНИРОВКИ ГОРОДОВ НА РАЗВИТИЕ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ**

К базовым планировочным решениям транспортных систем городов можно отнести: радиальную, радиально-кольцевую, прямоугольную и прямоугольно-диагональную схемы планировки. В процессе развития городов, их разрастания и усложнения структурной организации происходит изменение начальной структуры путем включения новых элементов других схем. Основной особенностью российских городов является наличие принципиально разных планировочных решений. Так, старые города, которые строились изначально как крепости с ярко выраженным центром (Москва, Нижний Новгород, Казань и т.д.), плохо приспособлены к освоению значительных объемов автомобильного трафика. В основном, это связано с их сравнительно малыми площадями и с наличием исторически сложившегося ярко выделенного центра города. В таких моноцентрических городах, где большинство рабочих мест и магазинов сосредоточены в центре города, несоответствие пропускной способности улично-дорожных сетей растущему трафику зачастую приводит к серьёзным дорожным заторам. Поэтому в таких городах актуальны стратегические решения, основанные на отказе от концепции «города для автомобилей».

В сравнительно молодых городах распространена прямоугольная схема. С одной стороны, это связано с географическими особенностями (такие города, как Муром, Волгоград, Набережные Челны и т.д., вытянуты вдоль рек или морского побережья). А с другой – с концепцией «идеальный город», которая была популярна в России в XVIII–XIX вв. при проектировании новых и реконструировании уже существовавших на тот момент российских городов. Концепция «идеальный

город» заключалась в упорядочении хаотичной застройки и приведении ее к четкой регулярной системе. Одним из распространенных типов регулярного города стал город с прямоугольной системой планировки, которая характеризуется отсутствием ярко выраженного центра города, большим числом пересечений продольных и поперечных улиц, а также сравнительно равномерной транспортной нагрузкой магистралей. Главным недостатком такой структуры является наличие дублирующих связей и отсутствие кратчайших связей в диагональных направлениях, что при проектировании системы общественного транспорта ведет к наложению маршрутов.

Таким образом, при выборе стратегии развития транспортной системы необходимо учитывать особенности каждой страны, региона, города: сложившийся транспортно-пространственный каркас города, уровень автомобилизации населения, перспективы социально-экономического развития, природно-климатические условия и другие. Следовательно, при управлении транспортными системами, необходимо не только опираться на существующие удачные примеры и решения, но и прогнозировать, насколько они применимы в конкретных условиях, каковы риски и к каким последствиям могут привести непродуманные меры в области транспортной политики.

Для того, чтобы при разработке стратегии развития транспортной системы и принятии управленческих решений учитывались возможные риски и последствия, а также для прогнозирования эффективности предлагаемых решений, необходимо создание системы управления городскими автобусными перевозками.

### **1.3 ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ И ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ УПРАВЛЕНИЯ ГОРОДСКИМИ АВТОБУСНЫМИ ПЕРЕВОЗКАМИ**

#### **1.3.1 Организация управления транспортными системами городов**

Как отмечает Рассоха В.И. [10], эффективность функционирования транспортных системам в первую очередь обеспечивается созданием эффективной системы управления.

Объектами управляющих воздействий в транспортных системах городов могут являться:



- маршруты как ГПТ, так и индивидуальных ТС;
- интервалы движения автобусов на маршрутах;
- структура парка маршрутных ТС и т.д.

Способами воздействия на данные объекты являются:

- варьирование типами ТС различной вместимости, вследствие чего изменяется количество ТС на маршруте, а также интервалы движения в разное время суток (при соблюдении условия удовлетворения транспортной потребности населения);
- открытие новых, а также изменение или закрытие существующих маршрутов; создание укороченных, резервных или маршрутов, действующих исключительно в часы «пик»;
- правовое регулирование (Гражданский Кодекс РФ, Федеральные Законы РФ, законодательные акты, СНиП и т.д.);
- согласование действий и координация между транспортными предприятиями города и взаимный учет их интересов;
- создание системы управления и перераспределения транспортных потоков (оперативное получение данных о местонахождении ТС и его состоянии, связь с водителями, формирование подходов к оптимизации процессов развития автоматизированных систем диспетчерского управления и т.д.).

### **1.3.2 Интеллектуальные транспортные системы**

Поскольку оптимизация функционирования городского пассажирского транспорта возможна лишь при комплексном подходе, использование информационных технологий для автоматизации управления дорожным движением и, как следствие, создание ИТС на сегодняшний день становится первоочередной задачей и даже системной стратегией.

Технология автоматизированного управления транспортом схематично представлена в работе Ожерельева М.Ю. [11] (рисунок 1.2). В этой же работе автор отмечает важность получения оперативной и достоверной информации от ПС для ее последующего анализа и принятия управленческих решений.



Рисунок 1.2 – Укрупненная схема технологии автоматизированного управления транспортом

По мнению Кравченко П.А. [12] системы управления должны обеспечивать автоматическую идентификацию ДТП (их фиксацию), слежение за состоянием дорожного покрытия (образование снежных заносов, гололеда), контроль процесса перемещения (соблюдение водителями скоростных режимов, а также режима труда и отдыха водителей), а также предоставлять водителям оперативную информацию об условиях движения, о возможных заторах на запланированном маршруте и т.д.

Таким образом, задача ИТС – сбор информации (о загруженности дорог, параметрах транспортных потоков, авариях и условиях для осуществления движения ТС и т.д.), ее последующая обработка и формирование рекомендаций. Поэтому необходимым условием создания систем управления движением является формирование стратегических концепций, комплекса моделей управляемого объекта и основанных на них алгоритмов переработки информации и принятия управленческих решений [13].

### 1.3.3 Анализ основных направлений организации и интеллектуализации управления в транспортных системах

Основные аспекты организации и интеллектуализации управления транспортом изучались и нашли отражение в работах различных авторов. К основным направлениям научных исследований стоит отнести:

– системы управления транспортом: как частными транспортными средствами и грузовыми автомобилями, так и общественным транспортом (Врублевская С.С. [14], Жанказиев С.В. [15], Хабибуллин Р.Г. и Макарова И.В. [16, 17], Павленко А.А. [18], Баранов Ю.Н. и Чернышев В.И. [19] и др.);

– системы маршрутизации (Huey-Kuo Chen и др. [20], Железов Р.В. [21], Ефименко Д.Б. [22] и др.).

Врублевской С.С. [14] предложена модель системы управления транспортными потоками, которая с помощью имитационного моделирования позволяет прогнозировать интенсивность движения на перекрестках и улицах города и оптимизировать режимы работы светофорных объектов в соответствии с прогнозами. Система управления транспортными потоками, разработанная исследователями из Тихоокеанского государственного университета (ТОГУ) [18], позволяет фиксировать интенсивность транспортного потока на перекрестках и управлять длительностью цикла разрешающих сигналов светофоров. Система координирует работу светофорных объектов таким образом, чтобы зеленый сигнал включался с некоторым сдвигом во времени по отношению к предыдущему перекрестку, создавая так называемую «зеленую волну».

Группа ученых Huey-Kuo Chen, Der-Horng Lee и Chieh-Tang Fu [20] разработала систему маршрутизации транспортных средств (VRGS – Vehicle Route Guidance System), основанную на многоуровневом контроле дорожного движения и состоящую из трех модулей: модуль выбора движения в зависимости от класса водителя, модуль измерения интенсивности транспортного потока и модуль построения маршрута.

Железов Р.В. [21] разработал информационную систему поиска оптимальных маршрутов, минимизирующих денежные и временные затраты, с учетом всех возможных пересадок и использования различных видов транспорта.

Ефименко Д.Б. [22] предложил при организации перевозочного процесса применять принципы ситуационного управления. Это позволяет повысить скорость и качество принимаемых управленческих решений за счет автоматизации процесса распознавания критической ситуации, предложения нескольких альтернативных вариантов решения, а также оценки последствий каждого предлагаемого управляющего воздействия. Кроме того, разработанная динамическая модель маршрутов ГПТ в сочетании с оснащением автобусов бортовым оборудованием способствует соблюдению расписания движения маршрутных ТС и обеспечению

пассажирам актуальной информацией.

Однако, комплексный подход может быть реализован лишь при создании полноценной ИТС, состоящей из:

- датчиков и видеокамер, установленных на всех элементах транспортной системы (ПС ГПТ, индивидуальные ТС, остановочные пункты, въезды/съезды на участках УДС и т.д.) для сбора актуальной и полной информации;
- интеллектуального ядра для анализа и оценки данных с последующей выработкой рекомендаций;
- средств, оказывающих управляющие воздействия («умные светофоры», информационные табло, многопозиционные знаки, автоматизированное составление расписания ГПТ, перенаправление ПС ГПТ по альтернативным маршрутам и т.д.).

В настоящее время в городах и регионах России внедряются региональные навигационно-информационные системы (РНИС) для сбора оперативной информации о движении транспортных средств и эффективного управления пассажирским транспортом. Результатом масштабного внедрения этой системы в регионах стало оснащение более 24 тыс ТС бортовым оборудованием в 95 городах России [23]. Представители НП ГЛОНАСС и консалтинговой компании Strategy Partners говорят о таких показателях эффективности использования спутниковых навигационных технологий на транспорте, как повышение производительности труда (на 30%), сокращение расходов на ремонт ТС (до 10%) и сокращение расходов на топливо (от 15 до 30%) [24].

Кроме того, внедрение перспективных технологий, основанных на применении спутниковых навигационно-связных систем, повышает качество и эффективность перевозочного процесса, обеспечивая соблюдение графика доставки грузов и расписания движения общественного транспорта.

Однако, поскольку на сегодняшний день бортовым оборудованием в обязательном порядке оснащаются лишь ТС, перевозящие пассажиров, опасные и крупногабаритные грузы, а также подвижной состав жилищно-коммунальных хозяйств и скорой и неотложной медицинской помощи [25, 26], нельзя говорить о том, что существующие РНИС обеспечивают диспетчерские центры полной информацией об

интенсивности движения транспортных потоков. Кроме того, функционирование системы управления автобусным транспортом города невозможно без данных о потребностях населения в перемещении. Поэтому многие российские и зарубежные ученые в своих трудах рассматривают иные пути повышения эффективности и безопасности городских пассажирских перевозок: перераспределение транспортных потоков путем совершенствования маршрутной сети ГПТ и управления структурой парка ПС ГПТ.

## **1.4 ОБЗОР РАБОТ В ОБЛАСТИ МАРШРУТИЗАЦИИ ГОРОДСКОГО АВТОБУСНОГО ТРАНСПОРТА**

### **1.4.1 Применение эвристических и метаэвристических методов**

Поскольку главная функция общественного транспорта – обеспечение мобильности населения, маршрутная сеть ГПТ должна соответствовать потребностям пассажиров. Задача транспортной маршрутизации (Vehicle Routing Problem – VRP) может быть решена эвристическими методами, однако они не гарантируют нахождение оптимального решения. В связи с этим на протяжении последних лет различными авторами (Liang Sun [27], Huang Z.D. [28], Yavuz Y. и Ulusoy [29], Данг Х.Л. [30], Чжо Мьо Хан [31]) разрабатывались методы, которые бы позволили объединить гибкость эвристики и строгость моделей линейного программирования для решения задач транспортной маршрутизации.

Построение маршрутов городского автобусного транспорта может быть отнесено к стохастической задаче транспортной маршрутизации (Vehicle Routing Problem with Stochastic Demand – VRPSD), где спрос на перевозки варьируется случайным образом в зависимости от большого количества факторов. Данная задача может быть решена с использованием методологии робастной оптимизации. Так, Liang Sun в работе [27] предложил робастную модель условного математического ожидания комбинаторного полуотклонения (the conditional expectation-combinatorial semi-deviation robust model – CE-CSDRM), где целью оптимизации является минимизация условного математического ожидания от общих транспортных расходов, а ограничениями – максимальная провозная способность существующего транспорта. Такой подход снижает ошибку среднеквадратического

отклонения по сравнению с другой существующей робастной моделью математического ожидания полуотклонения (the expectation-value semi-deviation robust model – E-SDRM).

Группа ученых Huang Z.D., Liu X.J., Huang C.C. и Shen J.W. в своей работе [28] для оптимизации автобусной маршрутной сети предлагают использовать геоинформационные системы и генетический алгоритм. Предложенное решение состоит из набора эвристик, которые включают в себя подпрограмму для генерации маршрута и генетический алгоритм для поиска субоптимального набора маршрутов с соответствующей частотой движения. Одним из существенных факторов в данной процедуре является внедрение экологически чистых ТС («зеленого» транспорта) в уже существующий парк подвижного состава ГПТ.

Применение генетического алгоритма также позволило решить задачу минимизации транспортных затрат при разработке системы городского автобусного транспорта, сочетающей в себе различные виды маршрутов (основные, экспрессные, укороченные), как это представлено в работе Ulusoya Y.Y. and Chien S. I-Jy [29]. Целевой функцией разработанной математической модели является объективная общая стоимость усредненного автобусного маршрута, который оптимизируется с учетом целого набора ограничений, таких как качественные и количественные характеристики действующего парка подвижного состава, существующая потребность в перевозках, интервалы движения ТС и др.

В работе Данга Х.Л. [30] применение энтропийных методов моделирования и метода графов позволило исследовать и сформировать систему маршрутной сети городского пассажирского транспорта. При разработке возможных вариантов маршрутов учитываются такие ограничения, как длина пути и необходимость связать между собой все зоны города. При этом выбор оптимального варианта автобусной сети осуществляется с целью минимизации времени передвижения пассажиров и количества их пересадок.

Для решения задачи многомерной маршрутизации Чжо Мью Хан, проанализировав в своей работе [31] существующие методы маршрутизации, предложил модифицировать алгоритм Дейкстры путем предварительного ранжирования

маршрутов для определения последовательности выбора одного из них в процессе планирования.

#### 1.4.2 Применение методов математического моделирования

При разработке и корректировке маршрутной схемы города необходимо учитывать множество параметров, оказывающих влияние на транспортную систему, а также определять возможные позитивные и негативные последствия тех или иных предложений. Поскольку это сопряжено с трудоемкими исследованиями и практическими экспериментами, научно обоснованные решения традиционно принимаются с помощью аналитического моделирования процессов. В работах Богомолова А.А. [32], Семеновской О.С. [33, 34], Кулева А.В. [35, 36], Александрова А.Э. [37], Папаскуа А.А. [38], Наумовой Н.А. [39], Зварыча Е.Б. [40], Нургалиева Е.Р. [41], Пыталевой О.А. [42] и др. целевой функцией, положенной в основу оптимизации маршрутных схем движения, является один из следующих параметров:

- минимальное суммарное время доставки пассажиров;
- минимальное время ожидания на остановочном пункте;
- минимальные удельные затраты на передвижение ТС по маршрутам;
- максимальная прибыль транспортной компании;
- минимальное количество пассажирских ТС на маршруте и т.д.

Однако формирование маршрутной сети невозможно без учета таких параметров дорожного движения, как пропускная способность участков УДС и интенсивность движения ТС. В основе моделирования дорожного движения лежат зависимости между основными характеристиками транспортного потока. Ваксман С.А. в своей работе [43] определяет плотность ТП как функцию от пространственных координат и времени. С помощью разработанной им недетерминированной дискретной модели можно определить количество ТС в потоке на любом участке УДС в любой момент времени.

Хамидулин М.Н. [44] предложил многофакторную модель влияния характеристик маршрутов ГПТ на коэффициент аварийности. В качестве основных характеристик маршрута рассматривались протяженность маршрута,

средняя эксплуатационная скорость на маршруте, удельное количество остановочных пунктов, светофоров и подземных пешеходных переходов.

Бережным А.В. [45] были построены математические модели для определения характеристики плотности транспортного потока. Определение плотности транспортного потока позволяет прогнозировать дальнейшее состояние загрузки улично-дорожной сети, в значительной степени способствуя решению проблемы образования дорожных заторов.

Корчагин В.А. и Гринченко А.В. [46] для обобщенной целевой функции выбраны два параметра эффективности: время ожидания ТС на ОП и приведенная масса выбросов вредных веществ. Однако, авторы для упрощения модели не учитывают отказы в посадке пассажиров в случае переполненности ТС.

В то же время следует учитывать, что описание многопараметрических процессов в многофункциональных системах аналитическими методами может потребовать значительных ресурсов. В связи с этим имитационное моделирование транспортных потоков становится основным методом определения оптимального состояния исследуемых систем при разных значениях параметров [3].

### **1.4.3 Применение методов имитационного моделирования**

Моделированию городских ТП посвящены исследования таких ученых, как Anand N., Duin R. и Tavasszy L. [47], Малыханов А.А. [48], Абрамова Л.С. и Чернобаев Н.С. [49], Кузин М.В. [50], Воронин В.Е. и Куранцева В.С. [51], Власов С.А. и Девятков В.В. [52], Черненко В.Е. [53], Сергеева К.Ф. [54], Могорас А.А. [55], Липенков А.В. [56, 57], Левчук В.Д. и Чечет П.Л. [58] и др.

Группа ученых в работе [47] предлагают применять агентное моделирование для решения задач городской транспортной логистики, поскольку данный подход позволяет принимать решения, оптимальные для всех заинтересованных сторон, путем моделирования каждой стороны в качестве автономного агента. Малыханов А.А. [48] использовал агентное моделирование для выявления закономерностей выбора маршрута движения, а также траектории движения при маневрировании. Полученные закономерности могут стать основой



для управления движением транспортных потоков, например, путем оптимизации светофорного регулирования.

Имитационная модель, предложенная Абрамовой Л.С. и Чернобаевым Н.С. [49], предназначена для определения рациональных параметров координированного управления движением транспортных средств в городах с прямоугольной планировкой УДС. Метод координированного управления дорожным движением применяется также в работе Кузина М.В. [50] при имитационном моделировании нерегулируемого пересечения с приоритетом движения одного направления. Исследователем предложены формулы преобразования функции интенсивности транспортного потока, а также формулы для расчета транспортной задержки в так называемых «узких» местах УДС. Кроме того, программное обеспечение, реализованное на базе разработанной модели, может быть использовано для расчета параметров управления дорожным движением.

Воронин В.Е. и Куранцева В.С. [51] предлагают для анализа транспортных потоков использовать имитационную модель системы городского общественного транспорта, реализованную средствами имитационного моделирования GPSS. Разработанная модель позволяет прогнозировать поведение системы общественного транспорта при изменении таких параметров ее функционирования, как число ТС на маршрутах (по видам) и графики их движения. Целевой функцией выбрана средняя загрузка транспортных средств.

Черненко В.Е. [53] разработал язык описания транспортных систем на платформе AnyLogic, ориентированный на специалистов предметной области для того, чтобы упростить процесс моделирования и повысить адекватность моделей. Библиотека элементов транспортной сети, разработанная Сергеевой К.Ф. [54] на базе среды имитационного моделирования AnyLogic, содержит следующие элементы: генератор/приемник ТС, участок дороги, регулируемый и нерегулируемый перекрестки. Этих элементов вполне достаточно для построения большинства элементов и участков УДС. Построенная модель позволяет исследовать поведение транспортной системы при изменении таких параметров, как топология транспортной сети, структура и объем транспортных потоков на тех или иных участках

УДС. Могорас А.А. в своей работе [55] объединил возможности среды имитационного моделирования AnyLogic, пакета Matlab и языка Java для реализации возможности оперативного управления дорожным движением. Разработанный программный комплекс позволяет учитывать особенности поведения участников дорожного движения различных типов, а также нештатные ситуации на дорогах.

Группа авторов из Нижнего Новгорода [56] предлагает имитационную модель работы ГПТ, разработанную в AnyLogic с целью анализа изменения потребности населения в автобусных маршрутах в связи с введением новой линии метрополитена. Представлена структура модели в среде AnyLogic, рассмотрен вопрос о распределении пассажиропотоков по маршрутам, а также проблема моделирования времени простоя автобуса на остановочном пункте. В продолжение этого исследования Липенковым А.В. [57] была решена задача расчета задержек автобусов на ОП в зависимости от числа ТС, одновременно подъезжающих на ОП, и их наполняемости.

Многие ученые в своих работах для построения транспортных моделей используют программные продукты фирмы PTV Vision®: VISSIM и VISUM, которые, являясь узкоспециализированными пакетами для транспортного моделирования, обладают определенными преимуществами. Работы по оптимизации маршрутов городского пассажирского транспорта с помощью пакета транспортного моделирования на макроуровне PTV VISUM опубликованы такими учеными, как Новиков А.Н., Севостьянов А.Л., Катунин А.А. и Кулев А.В. [59], Мехоношин В.В. и Енин Д.В. [60], Постнов С.Н., Кузнецов С.Н., Логинов П.В., Широбакин С.Е., Успенский И.А. с соавторами [61] и др.

Для решения задач совершенствования функционирования сложных систем, таких как транспортные, необходим комплексный подход. Например, Левчук В.Д. и Чечет П.Л. [58] при разработке методики планирования расписания маршрута учитывали интересы как руководства транспортного предприятия, так и пассажиров. Однако, и в этом исследовании, и в работе Липенкова А.В., и в других, при моделировании движения общественного пассажирского транспорта не учитыва-

ется влияние загруженности УДС на время ожидания ТС, и, соответственно, на время доставки пассажиров в целом.

### 1.5 Выводы, цель и задачи исследования

Исследование основных направлений организации управления городскими автобусными перевозками позволяет сделать следующие выводы:

1. Формирование городской инфраструктуры должно происходить в соответствии с базовыми принципами парадигмы устойчивого развития, один из которых подразумевает повышение доли общественного транспорта в структуре пассажирских перевозок. Это возможно в случае, если будут обеспечены однозначные преимущества городского пассажирского транспорта перед индивидуальным.

2. При совершенствовании маршрутной сети городского пассажирского транспорта необходимо учитывать влияние особенностей планировки города на развитие транспортных систем, а также прогнозировать возможные последствия управленческих решений, что может быть обеспечено внедрением автоматизированной системы управления. Однако, поскольку существующие на сегодняшний день системы управления транспортными потоками оперируют неполными данными о дорожном движении в связи с недостаточной оснащенностью транспортных средств навигационно-связным оборудованием, необходимо искать другие методы принятия научно обоснованных управленческих решений.

3. Совершенствованию управления городским общественным транспортом посвящены многочисленные исследования как зарубежных, так и российских авторов. Однако, существующие модели не учитывают зависимость времени доставки пассажиров от времени простоя ТС в заторах, отсутствия свободных мест в ТС и от времени простоя на ОП в ожидания очереди на подачу ТС к месту посадки-высадки.

Исходя из вышеизложенного, **целью** диссертации является повышение эффективности транспортного обслуживания населения города путем снижения времени доставки пассажиров, нагрузки на улично-дорожную сеть и негативного воздействия на окружающую среду.

Учитывая поставленную цель и проведенный анализ состояния вопроса, сформулированы следующие основные **задачи исследования**:

1. Выполнить теоретические исследования существующих направлений организации управления городскими автобусными перевозками.
2. Определить зависимость времени доставки пассажиров от времени простоя ТС в заторах и на ОП в ожидания очереди на подачу ТС к месту посадки-высадки, а также отсутствия свободных мест в ТС.
3. Разработать систему управления городскими автобусными перевозками, интеллектуальным ядром которой является имитационная модель, как метод принятия управленческих решений в области городского транспорта.
4. Разработать алгоритм принятия решений, основанный на минимизации времени доставки пассажиров и суммарного количества ТС, одновременно проходящих по одному участку УДС.
5. Выполнить анализ системы городского пассажирского транспорта г. Набережные Челны.
6. Апробировать предложенные методы для повышения эффективности автобусных перевозок в г. Набережные Челны.
7. Выполнить оценку эффективности реализации предлагаемой системы управления городскими автобусными перевозками.

## **2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ ГОРОДСКИМИ АВТОБУСНЫМИ ПЕРЕВОЗКАМИ**

### **2.1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ**

При разработке эффективных стратегий управления транспортными системами необходимо учитывать большое количество факторов, как внутренних, так и внешних, особенности взаимодействия подсистем, а также прогнозировать возможные риски и последствия предлагаемых решений. Совершенствование управления в больших организационно-технических системах, таких как транспортные системы городов, обусловленных их развитием (изменение конфигурации УДС и маршрутной сети ГПТ, оптимизация управления дорожным движением: установка или снятие дорожных знаков, изменение схем светофорного регулирования и т.д.) связано с потребностью в проведении полнатурных экспериментов. Это вызывает сложности, поскольку не только требует больших финансовых, временных и человеческих ресурсов, но и сопряжено с высоким уровнем риска.

Поэтому научные исследования заключаются в проведении экспериментов с использованием модельных систем. Так, для прогнозирования последствий внедрения управленческих решений и анализа проектных вариантов, используются методы моделирования процессов дорожного движения, основанные на математической теории транспортных потоков.

Многие ученые оказываются перед выбором, какие модели использовать при решении актуальных задач: математические или имитационные. Применение математических моделей для исследования и управления многопараметрическими системами, к которым относятся и транспортные системы городов, может потребовать значительных ресурсов. Поэтому для решения задачи совершенствования функционирования городской транспортной системы рационально применение имитационных моделей, что позволяет многократно проводить эксперименты с их использованием и определять оптимальное состояние исследуемой системы при разных значениях параметров.

В зависимости от того, как в моделях рассматривается транспортный поток, их можно разделить на:

- микроскопические, в которых моделируется движение каждого автомобиля в потоке;
- макроскопические, в которых автомобильный поток рассматривается как единая среда
- мезоскопические, в которых автомобили описываются на высоком уровне детализации (как в микромоделировании), а их поведение и взаимодействие – на низком уровне (как в макромоделировании) [62].

Микроскопические модели могут использоваться для оптимизации параметров движения на отдельном участке дорожной сети, перекрестке или группе перекрестков. Для этого строятся имитационные модели, в которых учитываются: геометрия участка; плотность транспортного потока; режимы работы светофоров на предыдущих и последующих участках; число фаз светофорного регулирования. В случае, когда необходимо проанализировать и рационализировать функционирование транспортной системы в целом, необходимо использовать макроскопические модели.

В зависимости от функциональных задач выделяют симуляционные, оптимизационные и прогнозные модели. Симуляционные модели позволяют воспроизвести текущее состояние транспортной системы и оценить скорость и интенсивность движения, уровень транспортной нагрузки на УДС, длину и динамику образования заторов и другие параметры. Оптимизационные модели последовательно воспроизводят реальный процесс и, в результате обработки всех возможных вариантов, позволяют определять оптимальные значения управляемых факторов и сочетание параметров системы. Прогнозные модели позволяют определить возможное состояние исследуемой системы в случае внедрения тех или иных управленческих решений, а также при изменении структуры транспортных и пассажиропотоков.

В имитационном моделировании существует три основных подхода к описанию системы: агентное моделирование, дискретно-событийное моделирование

и системная динамика. При агентном моделировании система описывается как совокупность независимых объектов, взаимодействующих друг с другом и с внешней средой. Каждый из этих объектов имеет свой собственный набор характеристик и моделей поведения [63]. Для изучения динамики процессов в сложных системах используется метод «системная динамика». В основе этого метода лежит графическое представление причинно-следственных связей и моделирование многочисленных обратных связей в системе. Системно-динамические модели обычно задаются в виде потоковых диаграмм «stock and flow diagrams» [64].

Поскольку в некоторых случаях анализ непрерывных процессов (например, таких как движение ТП) будет более эффективен в случае рассмотрения не процесса в целом, а лишь определенных моментов («событий») в жизни моделируемой системы, целесообразно применять дискретно-событийное моделирование. Этот вид моделирования позволяет описывать процессы в системе в виде последовательности операций над заявками. При моделировании транспортной системы в качестве заявок чаще всего выступают транспортные средства, пассажиры или пешеходы. Активные объекты дискретно-событийных моделей обрабатывают заявки в соответствии с установленными параметрами (тип транспортного средства, его технические характеристики и т.д.) и в заданной последовательности действий.

Различных программных продуктов для моделирования городских транспортных систем в масштабах мегаполиса и выше не так много. Это такие разработки, как VISSIM и VISUM, фирмы PTV Vision®, которая находит применение как за рубежом, так и в России, хотя была создана уже около 30 лет назад в Германии; AnyLogic, отечественная разработка, позволяющая создавать модели, применяемые в различных областях исследований; среда имитационного моделирования GPSS World, MatLab и Simulink а также некоторые другие, отличающиеся областью моделирования и специфическим набором функций.

Программный продукт GPSS World до недавнего времени был одним из наиболее популярных и используемых средств имитационного моделирования в России и во всем мире. Однако, как отмечают Власов С.А. и Девятков В.В. [52],

«GPSS World имеет и целый ряд недостатков – простейший интерфейс пользователя, недостаточно функциональный редактор моделей, слабо автоматизированная технология проведения исследований, устаревший способ представления и анализа результатов и т.д. Сейчас созданы гораздо более современные, с точки зрения информационных технологий и пользовательского интерфейса, программные продукты имитационного моделирования».

В последнее время для разработки имитационных моделей дорожно-транспортной сети исследователи все чаще выбирают среду имитационного моделирования AnyLogic [64], поскольку в ней есть встроенный оптимизатор для проведения оптимизационного эксперимента на модели, реализованы средства визуализации модели, существует возможность создания библиотеки объектов, а главное – это единственный инструмент имитационного моделирования на сегодняшний день, который позволяет объединить три вида моделирования (дискретно-событийное, агентное и системную динамику) в одной модели.

Однако, главным недостатком среды имитационного моделирования AnyLogic при транспортном моделировании является то, что этот инструмент больше подходит для микро- и мезомоделирования (например, для построения моделей отдельных участков транспортной системы), а при макромоделировании с учетом взаимодействия всех элементов сложной транспортной системы требуются большие временные и технические ресурсы.

В Германии для долгосрочного планирования дорожной сети и для обоснования строительства участка дороги используют статистическую модель существующей сети дорог, в которой учитывается взаимодействие индивидуального и общественного транспорта. Такая модель создается на основе специального инструмента, например, семейства программ PTV Vision [65]. Основными компонентами этой системы являются два программных продукта VISUM и VISSIM. VISUM – это макромоделирование существующих и прогнозируемых транспортных потоков с анализом интенсивности движения, времени поездки, затрат и отработкой сценариев «что будет, если...». На этапе VISUM-моделирования производится анализ «узких» мест. При необходимости перехода на микроуровень и



наглядной демонстрации полученных изменений может быть построена и применена модель VISSIM. Поскольку эти два пакета имеют одного разработчика, то они легко интегрируются друг с другом [66].

Важным фактором, повлиявшим на выбор PTV Vision® VISUM в качестве среды моделирования, является то, что развитие данного программного продукта осуществляется на основании фундаментальных научных исследований в области транспортного моделирования (три центра разработки продукта – США, Германия и Япония), что позволяет постоянно повышать качество алгоритмов и возможностей системы [67].

## **2.2 МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТНОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ**

При проектировании (совершенствовании) автобусной маршрутной сети необходимо учитывать, что она должна [68]:

- соответствовать структуре пассажиропотоков;
- по возможности, соединять центры формирования пассажиропотоков с точками их притяжения по кратчайшим направлениям;
- обеспечивать наименьшую пересадочность сообщений: основные точки тяготения должны иметь беспересадочную связь с центром города, объектами внешнего транспортного узла и, по возможности, между собой;
- конечные остановочные пункты общественного транспорта должны размещаться в тех районах города, где есть возможности для разворота и отстоя ТС.

Соблюдение данных условий в теории пассажирских перевозок [69] осуществляется путем поэтапной реализации следующих действий:

1. Разделение города на расчетно-транспортные районы с указанием центра тяжести притяжения пассажиропотоков. Размеры транспортных районов должны быть такими, чтобы их жители при передвижении внутри районов не пользовались транспортом, а зона пешего подхода от наиболее удаленной точки до транспортной линии, проходящей в районе, не превышала 500 – 700 м.

2. Определение численности населения в каждом расчетно-транспортном районе.

3. Разделение населения на группы, а их передвижений – на категории и последующее определение общего числа передвижений между районами.

4. Построение картограммы пассажиропотоков.

5. Определение оптимальных путей передвижения по принципу минимальных временных затрат.

Нахождение оптимального пути следования относится к категории комбинаторных задач [70, 71], и для проектирования (совершенствования) автобусной маршрутной сети необходимо учесть и сравнить между собой все возможные варианты. В связи с тем, что полный перебор вариантов маршрутов не представляется возможным, для решения задачи разработаны эвристические и метаэвристические методы. Кроме того, развитие получили и точные методы, предназначенные для решения задач небольших размерностей за разумное время [72].

К точным методам решения задач маршрутизации чаще всего относят:

- динамическое программирование;
- стохастическое программирование;
- метод ветвей и границ;
- метод ветвей и отсечений.

Следующие алгоритмы относят к разряду метаэвристик [73]:

- поиск с исключениями;
- моделируемый отжиг;
- детерминированный отжиг;
- генетический алгоритм;
- алгоритм муравьиной колонии и т.д.

В специализированном программном комплексе PTV VISUM решение задачи маршрутизации может быть осуществлено либо методом ветвей и границ («Поиск Branch & Bound» [74]), либо сведено к задаче поиска кратчайших путей.

### **2.2.1 Метод ветвей и границ («Поиск Branch & Bound»)**

При применении этого метода в транспортной модели PTV VISUM для каждого района формирования пассажиропотоков генерируется дерево поиска под-

ходящих частичных путей следования, в котором сохраняются все достаточно хорошие варианты маршрутов. В результате получается не просто один лучший путь следования, а множество хороших вариантов, благодаря чему в дальнейшем обеспечивается дифференцированное распределение транспортного спроса между маршрутами. Для оценки качества рассматриваемых вариантов маршрута в PTV VISUM используется так называемое «сопротивление поиска», представляющее собой сумму таких функций, как время поездки и частота пересадок. Особенностью метода ветвей и границ, адаптированного для PTV VISUM, является то, что принципиально не удаляется ни один вариант маршрута, который на каком-то уровне исследований являлся оптимальным.

### 2.2.2 Поиск кратчайшего пути

При маршрутизации оптимальный путь следования может быть также определен путем решения «задачи о кратчайшем пути». При этом сеть дорог представляется в виде графа, где дорожные развязки – это вершины, а дороги – соединяющие их ребра. Односторонние улицы могут быть представлены ориентированными ребрами. Этот метод позволяет также вводить характеристики ребер для указания приоритетных направлений движения. Веса ребер могут рассчитываться исходя из длины участка УДС или временных и денежных затрат на движение по этому участку [75].

Существует множество алгоритмов решения задачи поиска кратчайшего пути в зависимости от постановки задачи. Наиболее используемыми являются:

- алгоритм Дейкстры – находит кратчайший путь от одной из вершин графа до всех остальных. Алгоритм работает только для графов без ребер отрицательного веса [76, 77];

- алгоритм Беллмана-Форда – находит кратчайшие пути от одной вершины графа до всех остальных во взвешенном графе. Вес ребер может быть отрицательным [78].

В PTV VISUM в случае применения метода поиска кратчайшего пути, который производится лишь по одному критерию, устанавливается лучший вариант маршрута между двумя транспортными районами. Процедура поиска определяет

путь с самым незначительным «сопротивлением поиска», т.е. лучшим будет считаться тот маршрут, для которого линейная комбинация времени поездки и частоты пересадок является минимальной.

В любом случае, какой бы метод решения данной задачи ни применялся, корректировка маршрутов ГПТ должна выполняться с определенной периодичностью с учетом данных о транспортной потребности населения города. Кроме того, т.к. время поездки напрямую зависит от дорожной ситуации на том или ином участке УДС, при выборе оптимального варианта маршрута нужно владеть полной и точной информацией о характеристиках транспортного потока.

### **2.3 МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАССАЖИРОПОТОКОВ И МАТРИЦ КОРРЕСПОНДЕНЦИЙ**

Наличие в городе быстро появляющихся новых пассажирообразующих и пассажиропоглощающих пунктов приводит к необходимости регулярных обследований качественных и количественных характеристик пассажиропотоков, поскольку транспортная сеть должна развиваться по мере развития инфраструктуры города и его улично-дорожной сети. Власов Ю.Л. [79] предлагает следующую классификацию методов обследования пассажиропотоков (рисунок 2.1):

Основным достоинством натуральных методов является максимальная достоверность и точность полученных результатов. Однако, все разработанные на сегодняшний день натурные методы обследования пассажиропотоков, имеют два существенных недостатка:

1. Полномасштабные натурные обследования исключительно трудоемки и требуют, как правило, привлечения большого числа учетчиков. Значительных человеческих, временных и денежных ресурсов также требует и процесс обработки данных, собранных в результате обследований.
2. Невозможность с достаточной степенью точности фиксировать пассажиропоток в частном транспорте. Следовательно, возникает необходимость в адаптации существующих методов натурального обследования пассажиропотоков в условиях преобладания частного транспорта на городских маршрутах [79].

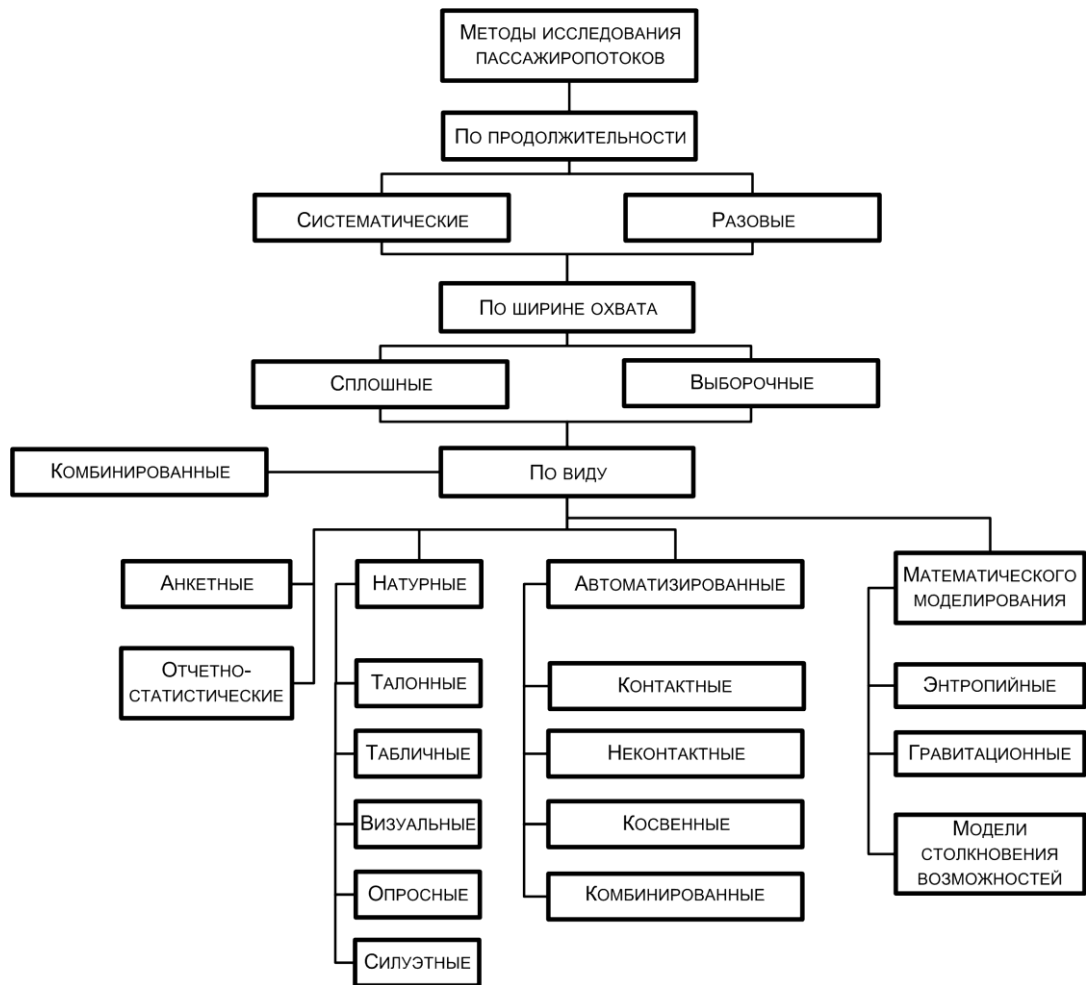


Рисунок 2.1 – Классификация методов обследований пассажиропотоков

Эти особенности метода натуральных обследований обуславливают применение аналитических методов для прогнозирования матриц корреспонденций:

- определение трудовых транспортных корреспонденций на основании почтовых индексов работников предприятий [80];
- гравитационный метод энтропийного моделирования, основанный на принципе максимизации энтропии [30];
- сочетание анкетного и табличного методов при выборочных натуральных обследованиях [79];
- сочетание статистического и анкетного методов для определения неудовлетворенного спроса населения, а значит – для выявления потенциальных пассажиропотоков [81];
- определение матрицы корреспонденций на основе долей корреспонденций и количества проданных абонементных талонов [82];

- элементы теории нечетких множеств и теории вероятностей [83];
- сочетание выборочных натуральных обследований и данных, полученных с крупных градообразующих предприятий [84];
- применение методов Монте-Карло [85] и т.д.

### **2.3.1 Стандартная четырехступенчатая модель спроса**

На сегодняшний день «классической» считается модель расчета транспортного спроса, состоящая из четырех этапов:

I. Оценка общих объемов прибытия и отправления для каждого транспортного района (основывается на данных об общей численности населения в каждом расчетном районе, о доле трудоспособного населения и учащихся, а также о количестве рабочих мест и людей, работающих в сфере услуг в точках притяжения).

II. Определение способа передвижения (например, на общественном транспорте, на личном автомобиле, на велосипеде, пешком).

III. Расчет матриц корреспонденций между каждой парой районов города.

IV. Определение числа передвижений по каждому участку транспортной сети.

Поскольку все эти этапы взаимосвязаны, их невозможно решать изолированно друг от друга как отдельные задачи. Определение способа и маршрута передвижения происходит на основании оценки затрат (временных, денежных и т.д.), необходимых для достижения пункта целевого назначения. В то же время, расчет затрат возможен, если известна транспортная нагрузка УДС. Таким образом, задача расчета корреспонденций решается методом последовательных приближений в несколько итераций [86].

При проведении оценки общих объемов пассажиропотоков для каждого транспортного района выясняют расположение мест приложения труда рабочих и служащих и мест обучения учащихся относительно их мест жительства, суточные циклы их передвижения и посещение административных и культурно-бытовых объектов города. Эти обследования необходимо проводить систематически опросным методом (например, при переписи населения). А при наличии необходимости получения каких-либо дополнительных специфических сведений исследование может выполняться методом анкетирования [87].

При определении способа передвижения сначала рассчитывается показатель эффективности каждого режима движения  $m$  как линейная комбинация параметров, влияющих на выбор:

$$U_{ijm} = \sum_g \beta_g \cdot c_{ijmg}, \quad (2.1)$$

где  $c_{ijmg}$  – сопротивление типа затрат  $\beta_g$  для перемещения из района  $i$  в район  $j$  в режиме  $m$ .

Исходя из рассчитанного показателя  $U_{ijm}$ , определяются доли каждого способа передвижения в общем числе поездок пассажиров, для чего существуют различные функции распределения. Например, в PTV VISUM в качестве функции распределения могут использоваться модели [74]:

1. Кирхгофа (для расчета используется соотношение между показателями эффективности каждого способа передвижения);
2. Logit (в качестве правила распределения пассажиропотоков по способам передвижения применяется разница показателей эффективности каждого варианта);
3. Вох-Сох (основой этой модели является трансформация Вох-Сох, которая для заданного  $\tau \geq 0$  выглядит следующим образом:

$$b^{(\tau)}(x) := \begin{cases} \frac{x^\tau - 1}{\tau}, & \text{если } \tau \neq 0 \\ \log(x), & \text{если } \tau = 0 \end{cases}; \quad (2.2)$$

4. Лозе (затраты пути соотносятся с минимально возможными затратами, т.е. производится измерение относительного отклонения от оптимума:

$$P_i^a = \frac{e^{-\left[\beta \cdot \left(\frac{WID_i^a}{WID_\tau^a} - 1\right)\right]^2}}{\sum_j e^{-\left[\beta \cdot \left(\frac{WID_j^a}{WID_\tau^a} - 1\right)\right]^2}}. \quad (2.3)$$

Для практического применения не рекомендуется использование модели Logit, поскольку пассажиры будут принимать различные решения в зависимости от того, о коротких или длинных путях следования идет речь [74].

Вне зависимости от выбранного метода определения пассажиропотоков и расчета матриц корреспонденций в результате необходимо получить достоверные данные о распределении пассажиропотоков по времени, длине маршрутов и направлениям, а также возможность выявления закономерностей их формирования при прогнозировании изменений на перспективу [69].

## **2.4 МЕТОДЫ ОБСЛЕДОВАНИЙ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА ГОРОДСКИХ УЛИЦАХ**

### **2.4.1 Оцениваемые параметры транспортного потока**

В основном, транспортные обследования сводятся к подсчету единиц транспортных средств и определению их характеристик (приблизительная длина и ширина каждого ТС). Все эти данные позволяют делать выводы о плотности и составе потока, а также о зависимости интенсивности движения от сезона года, дня недели и времени суток. Для перекрестков все эти характеристики транспортного потока определяют по каждому направлению движения.

В результате исследований создают картограммы интенсивностей транспортных потоков на участках УДС. В данной работе под интенсивностью транспортного потока будем понимать определение, примененное в документе «Схема развития объектов транспортной инфраструктуры города Самара» [88]: «...количество транспортных средств, проезжающих по какому-либо участку дороги в час, сутки или любой другой выбранный временной диапазон».

Однако, для полного описания ситуации на дорогах города, не достаточно одного лишь значения интенсивности транспортных потоков. Например, в случае образования затора на дороге, когда скорость движения потока стремится к нулю, количество ТС, проезжающих по участку УДС, будет намного меньше, чем в случае, когда поток движется с максимально разрешенной скоростью. Таким образом, при открытии или изменении маршрутов ГПТ, следует учитывать данные трех типов [89]:

1. Плотность транспортного потока:
  - общее число ТС на участке;
  - число ТС на каждой полосе движения;



- общее число ТС каждого типа;
  - число ТС разных типов на каждой полосе движения.
2. Происшествия на дороге с указанием возможных причин:
- высокая скорость, плотность потока или занятость полос;
  - наличие заторов или движения по встречной полосе;
  - остановившиеся или медленно движущиеся автомобили;
  - наличие на дороге подозрительных предметов.
3. Наличие/отсутствие автомобилей на участке:
- наличие автомобилей, приближающихся к участку;
  - наличие автомобилей, остановившихся на перекрестке;
  - измерение длины очереди.

На сегодняшний день, для своевременного сбора и обработки данных о параметрах ТП и состоянии УДС, применяются видеокамеры и автоматические видеодетекторы движения.

#### **2.4.2 Средства автоматической фиксации при обследовании транспортных потоков**

Современные автоматизированные системы управления транспортом, в основном, используют информацию, получаемую в результате обработки данных с видеокамер с помощью программ оптического распознавания образов [90]. Применение подобных средств требует создания специально оборудованных дорожных стационарных постов. К достоинствам же можно отнести простоту, высокое быстродействие и точность измерений, возможность фиксации изображения спорного или неузнаваемого ТС для последующей визуальной идентификации человеком. Видеосистемы также позволяют производить классификацию ТС не только по длине, но и по ширине и высоте, что недоступно для большинства датчиков. К недостаткам видеосистем следует отнести затрудненность идентификации ТС в темное время суток или в условиях сильной непогоды, но и эти проблемы поддаются решению [89].

Средства видеофиксации и измерения параметров ТП рекомендуется устанавливать на следующих участках:

- на входных перекрестках магистралей;
- на перекрестках, удаленных от других (смежных) на расстояние не более 800 м;
- на перекрестках со значительными изменениями интенсивности движения в течение суток, при интенсивности более 300 авт./ч на полосу;
- на перекрестках с интенсивностью более 1500 авт./ч в сечении дороги, когда пересекающая магистраль имеет интенсивность менее 120 авт./ч на полосу [91].

На маршруте следования ТС могут быть расположены две или более камеры. Они фиксируют регистрационный номер ТС на каждом участке УДС, используя автоматическое распознавание номера (ANPR). Затем, учитывая расстояние между участками и время, потребовавшееся ТС для прохождения этого расстояния, можно вычислить среднюю скорость движения.

Наиболее актуальным методом измерения параметров ТП, на сегодняшний день, является применение интеллектуальных технологий мониторинга и сбора данных, основанных на взаимодействии устройств видео- и фотонаблюдения с системой GPS [90].

### **2.4.3 Натурные обследования транспортных потоков**

Поскольку натурные обследования требуют больших ресурсов, чаще всего применяют метод выборочного обследования, который основан на закономерностях теории вероятности и математической статистики. При использовании этого метода необходимо определить размер выборки, свойства которой могут быть распространены на всю генеральную совокупность. Так, часовая интенсивность движения автомобилей и пешеходов может быть определена по данным 3-5 и 10-минутных наблюдений [87].

Для расчета объёма выборки  $n$  используется формула [92]:

$$n = \frac{N \cdot t^2 \cdot p \cdot q}{N \cdot \Delta^2 + t^2 \cdot p \cdot q}, \quad (2.4)$$

где  $N$  – генеральная совокупность;

$t$  – функция доверительной вероятности, определяется по таблице 2.1 в зависимости от необходимого уровня значимости;

$p$  и  $q$  – выборочные доли (в случае, когда наступление двух событий равновероятно,  $p = q = 0,5$ );

$\Delta$  – предельно допустимая ошибка репрезентативности выборки (в долях единицы).

Таблица 2.1 – Зависимость принимаемого значения функции  $t$  от требуемой надежности

Надежность, %	85	95	99	99,9
Функция $t$	1,5	2	2,6	3,3

Измерения характеристик транспортного потока могут проводиться наблюдателями и с помощью различных технических устройств, а также мобильными лабораториями, на которых устанавливается соответствующая аппаратура.

На основе данных выборочных исследований, вычисляется среднечасовая интенсивность движения, что позволяет определить суточную, а затем – среднемесячную и среднегодовую интенсивности движения. Кроме того, выделяют максимальную часовую интенсивность за каждый месяц и за год, а также рассчитывают пропускную способность участка УДС.

Какой бы метод обследования ТП ни применялся, собранная информация может быть эффективно использована лишь в том случае, если она хорошо структурирована и систематизирована. Для прогнозирования нагрузок на участках УДС города и общей оценки дорожной ситуации применяются методы анализа и обработки статистической информации, позволяющие выявлять закономерности и анализировать процессы в сложных организационно-технических системах, к которым можно отнести и транспортно-дорожный комплекс. Закономерности, полученные при обработке статистических данных, в дальнейшем позволяют создать информационные системы и транспортные модели, с помощью которых можно исследовать поведение системы при изменениях различных факторов, оказывающих негативное воздействие на дорожное движение.

## 2.5 ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ

1. Решение вопросов, связанных с поиском оптимальной стратегии управления городскими автобусными перевозками, сопряжено с известными сложностями проведения полнотатурных испытаний и экспериментов. Поэтому, для прогнозирования последствий от внедрения тех или иных решений и анализа проектных вариантов рационально использовать аппарат моделирования процессов дорожного движения.

2. Поскольку применение математических моделей для описания процессов сложных больших систем сопряжено с высокими затратами ресурсов, при управлении транспортной системой города имитационное моделирование становится оптимальным средством поддержки принятия решений. Такие модели могут использоваться многократно для определения оптимального состояния исследуемых систем при разных значениях параметров.

3. Анализ возможностей и назначения существующих программных разработок для моделирования движения транспорта показал, что наилучшим вариантом решения задачи управления общественным транспортом является специализированный пакет транспортного моделирования на макроуровне — PTV VISUM, который имеет встроенный аппарат для расчета матриц корреспонденций и распределения транспортных потоков по участкам УДС по принципу минимизации затрат на достижение пункта назначения.

4. Эффективное управление городскими автобусными перевозками в первую очередь подразумевает оптимизацию маршрутной сети, что относится к категории комбинаторных задач и может быть решено точными либо метаэвристическими методами. Однако, какой бы метод ни использовался, проектирование либо корректировка маршрутов общественного транспорта должны осуществляться на основании полной, точной и достоверной информации о транспортной потребности населения города и данных об интенсивности движения на тех участках УДС, где планируются изменения в движении ГПТ.

5. Для получения таких данных, как распределение пассажиропотоков по участкам УДС, требуются полномасштабные натурные обследования, что подра-

зумевают потребность в значительных денежных, человеческих и временных ресурсах. Поэтому для определения матриц корреспонденций пассажиропотоков применяют различные аналитические методы. «Классическим» методом считается четырехступенчатая модель формирования спроса.

6. Для оценки транспортного потока необходимо знать не только его интенсивность, но и скорость. Именно поэтому для мониторинга транспортных потоков города предпочтительнее применять систему на базе видеокамер и оптического распознавания, которая позволяет получать данные трех типов: информация о плотности потока для статистической обработки, информация о происшествиях на дороге, информация о наличии/отсутствии автомобилей. Обследования транспортных потоков натурными методами могут также осуществляться выборочно при условии адекватного определения размера выборки, закономерности которой могут быть распространены на всю совокупность.

7. Обследования транспортных и пассажиропотоков позволяют получить информацию для системного анализа сложившейся ситуации, оценки динамики происходящих изменений и прогнозирования интенсивности транспортных и пассажиропотоков в будущие периоды.

### **3 РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГОРОДСКИМИ АВТОБУСНЫМИ ПЕРЕВОЗКАМИ**

#### **3.1 КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ И СТРУКТУРА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГОРОДСКИМИ АВТОБУСНЫМИ ПЕРЕВОЗКАМИ**

Качественное управление может быть достигнуто путем внедрения системных разработок, одной из подсистем в которых будет система управления городскими автобусными перевозками. Такая система должна обеспечить возможность как стратегического, так и оперативного управления. Стратегические задачи определяются на долгосрочную перспективу и критериями качества управления будут повышение безопасности, надежности и устойчивости системы. Корректность работы такой системы во многом определяется качеством исходной информации и адекватностью методов ее обработки. Это обеспечивается наличием:

- модуля сбора, хранения и администрирования информации о параметрах транспортной системы, а также данных мониторинга параметров транспортных и пешеходных потоков;
- интеллектуального ядра для анализа и оценки данных с последующей выработкой рекомендаций (автоматизированное составление расписания ГПТ, перенаправление ПС ГПТ по альтернативным маршрутам, оптимизация структуры ПС на маршрутах в соответствии с транспортной потребностью населения и т.д.);
- модуля поддержки принятия управленческих решений, в котором из предложенных альтернатив выбирается лучшая для ее последующего использования в аналогичных ситуациях.

Система управления автобусными перевозками разрабатывается для того, чтобы на основе научного анализа статистической информации о существующих на сегодняшний день транспортных и пассажиропотоках обеспечить возможность лицам, принимающим решения (ЛПР), вырабатывать рекомендации по:

- оптимизации маршрутной сети города;
- подбору оптимального ПС для каждого маршрута в зависимости от времени суток;

- выявлению проблемных участков УДС;
- снижению негативного воздействия ГПТ на окружающую среду вблизи магистралей города;
- сокращению времени доставки пассажиров;
- минимизации времени простоя ТС в заторах и на ОП в ожидании очереди на подачу ТС к месту посадки-высадки;
- повышению степени удовлетворенности населения качеством пассажирских перевозок [3].

Предлагаемая система управления городскими автобусными перевозками позволит ЛПР не только разрабатывать стратегии развития системы общественного транспорта, но и осуществлять оперативное управление перевозочным процессом при изменяющихся параметрах транспортной системы. Благодаря обратной связи система управления позволит соотносить значения текущих параметров с модельными, и, в случае их несовпадения, – выявлять причины возникновения проблемных ситуаций, а также осуществлять оперативную корректировку управленческих решений.

Возмущающие воздействия на транспортную систему можно условно разделить на регулярные («часы пик»), зависящие от времени суток, дня недели, сезона и подобных регулярных факторов, и единичные, к которым можно отнести массовые мероприятия. Возмущающие воздействия меняют структуру и параметры пассажиропотоков. При регулярно повторяющихся возмущениях реактивные изменения в системе достигаются корректировкой текущих параметров (интервал движения ТС, вместимость ТС и т.п.) и не затрагивают структуру системы (изменение схемы движения, дополнительные маршруты), что наблюдается во время проведения массовых мероприятий.

Разработанная система позволит прогнозировать параметры возмущающих воздействий («часы пик», массовые мероприятия) и проверять эффективность тех или иных решений как для регулярных возмущений, так и для разовых массовых мероприятий. Удачные варианты могут сохраняться и использоваться при повторении ситуации.

Система может быть использована также для корректировки параметров функционирования ГПТ при появлении новых центров формирования и притяжения пассажиропотоков. Внедрение системы управления автобусными перевозками будет способствовать повышению привлекательности общественного транспорта. Концептуальная модель системы представлена на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 – Концептуальная модель системы управления городскими автобусными перевозками

### 3.2 ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ВВОДА И ХРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

При работе с большими объемами входных данных качество их обработки зависит от того, насколько они формализованы и хорошо структурированы. При разработке модуля ввода и хранения информации данные условно разделялись на первичные, справочные и расчетные. К первичным относится информация о населении города (таблицы «Группы пассажиров», «Причины перемещения», «Транспортные районы»), к справочным – данные о параметрах УДС (таблица «Участок УДС»), подвижном составе (таблица «Транспорт» со вспомогательными таблицами «Тип способа передвижения» и «Тип подвижного состава») и маршрутах ГПТ (таблица «Маршрут»), а к расчетным – полученные значения нагрузок на УДС при



рассчитанных матрицах затрат и корреспонденций (таблица «Нагрузка УДС») (рисунк 3.2). Полученные значения нагрузки классифицируются по типам: «ниже пропускной способности», «соответствует пропускной способности», «пропускная способность превышена», «критическое значение». Таким образом, благодаря запросам можно выявить сложные участки УДС, имеющие критические значения нагрузок, а также маршруты, проходящие по этим участкам. Это позволяет корректировать маршрутную сеть с учетом транспортной загруженности [93].

### 3.3 ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ЯДРО СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГОРОДСКИМИ АВТОБУСНЫМИ ПЕРЕВОЗКАМИ

#### 3.3.1 Математическая модель для оптимизации управления автобусными перевозками

Для того чтобы перейти к математической постановке задачи, необходимо определить показатель эффективности, описать влияющие на него переменные модели, а также определить принципиальные и технические ограничения, чтобы задача была корректной и разрешимой.

Показатель эффективности (целевая функция или параметр оптимизации) должен быть измеримым, и, что самое главное, действительно оценивать эффективность функционирования системы в заранее выбранном смысле. Поскольку при организации городских автобусных перевозок необходимо удовлетворить потребности населения в перемещении за минимальное время, а также снизить транспортную нагрузку на проблемные участки УДС, целевой функционал модели представляет собой:

$$Z = \begin{cases} Z_1 \rightarrow \min, & Z_1 = f(X_i^1) - \text{суммарное количество маршрутных ТС;} \\ Z_2 \rightarrow \min, & Z_2 = f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5 - \text{среднее время доставки пассажиров;} \end{cases} \quad (3.1)$$

где  $f_1(v_{neu}, F, l_i^{\text{марш}}, X_i^2, X_i^3)$  – среднее время подхода пассажира к остановке;

$f_2(K_j^{\text{прев}}, l_i^{\text{марш}}, X_i^1, X_i^2)$  – среднее время ожидания пассажиром автобуса;

$f_3(Q_{(i,j)}^{\text{вх}}, Q_{(i,j)}^{\text{вых}}, n_{X_i^2}^{\text{дв}}, \bar{t}_o, X_i^2, X_i^3)$  – среднее время посадки-высадки пассажиров;

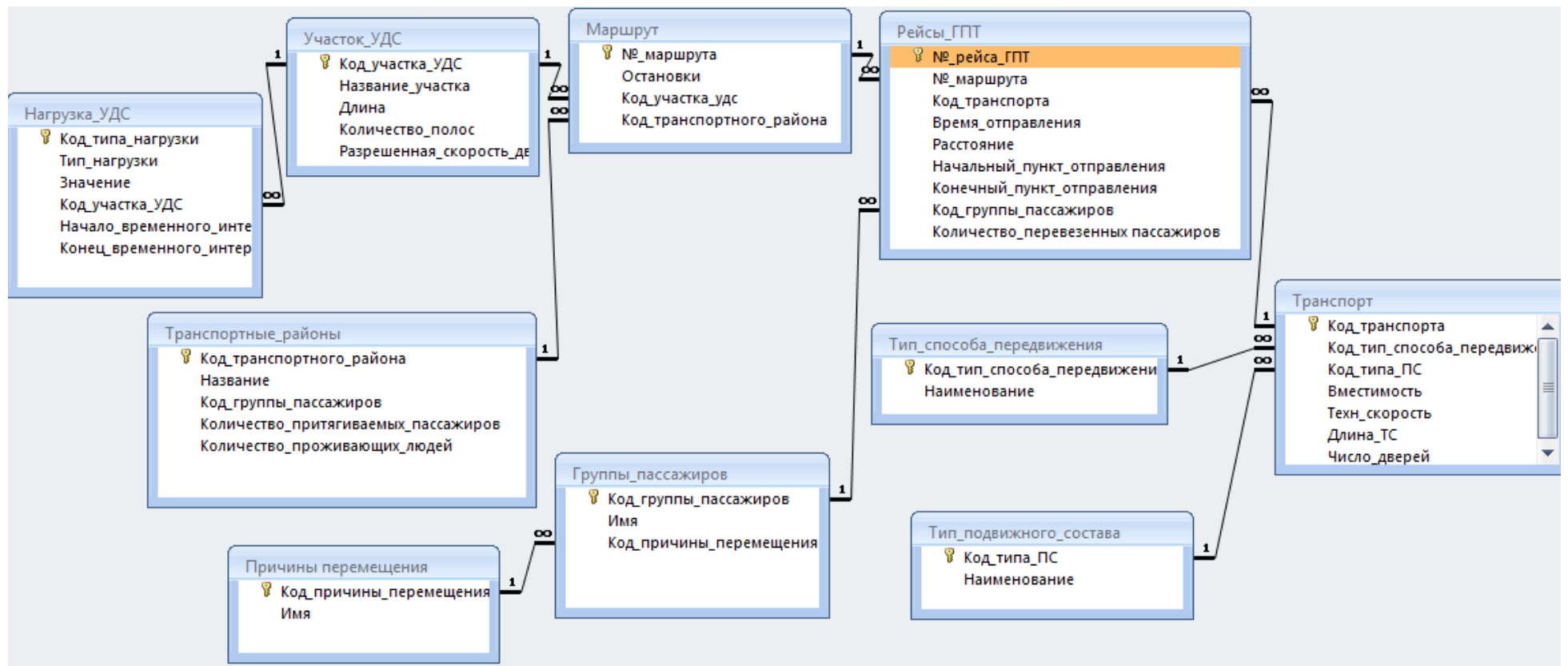


Рисунок 3.2 – Информационно-логическая модель данных

$f_4(K_{\text{зад}}, Q_{(i,j)}^{\text{вх}}, Q_{(i,j)}^{\text{вых}}, L_j^{\text{ост}}, l_{X_i^2}^n, \bar{t}_o, X_i^2, X_i^3)$  – среднее время задержки ТС на ОП за счет ожидания очереди на подачу ТС к месту посадки-высадки;

$f_5(\bar{l}_e, T_{\text{заг}}, X_i^2)$  – среднее время поездки пассажира на автобусе;

$X_i = X_i^1, X_i^2, X_i^3$  – изменяемые параметры  $i$ -го маршрута, влияющие на систему,  $i = 1, 2, \dots, I$  ( $X_i^1$  – количество ТС на  $i$ -м маршруте;  $X_i^3$  – количество ОП на  $i$ -м маршруте;  $X_i^2$  – количество каждого типа ТС на  $i$ -м маршруте).

Среднее время подхода пассажира к остановочному пункту зависит от среднего расстояния между остановочными пунктами  $l_{\text{ост}}$  [94]:

$$f_1(v_{\text{пеш}}, F, l_i^{\text{марш}}, X_i^2, X_i^3) = \frac{K_{\text{н.п.}} \cdot K_{\text{в.о.}}}{v_{\text{пеш}}} \cdot \frac{1}{3} F + \frac{l_{\text{ост}}}{4}, \quad (3.2)$$

где  $K_{\text{н.п.}}$  – коэффициент непрямолинейности подхода;  $K_{\text{н.п.}} = 1, 2$  [95];

$K_{\text{в.о.}}$  – коэффициент выбора ОП, обеспечивающего минимальное время доставки пассажира по сравнению с маршрутом, проходящим через ближайший ОП;

$v_{\text{пеш}}$  – скорость передвижения пешком;

$F$  – плотность маршрутной сети;

$l_{\text{ост}}$  – среднее расстояние между остановочными пунктами.

Коэффициент выбора остановочного пункта  $K_{\text{в.о.}}$  вычисляется по формуле:

$$K_{\text{в.о.}} = 1 + \frac{v_{\text{пеш}}}{v_{X_i^2}^{\text{сообщ}}}, \quad (3.3)$$

где  $v_{X_i^2}^{\text{сообщ}}$  – скорость сообщения как функция, зависящая от типа ТС. Если

$v_{X_i^2}^{\text{сообщ}} > v_{\text{потока}}$  (где  $v_{\text{потока}}$  – средняя скорость транспортного потока), то принимаем,

что  $v_{X_i^2}^{\text{сообщ}} = v_{\text{потока}}$ .

Среднее расстояние между остановочными пунктами на маршруте  $i$  можно вычислить по формуле:

$$l_{\text{ост.}} = \frac{l_i^{\text{марш}}}{X_i^3}, \quad (3.4)$$

где  $l_i^{\text{марш}}$  – длина  $i$ -го маршрута.

Подставив (3.3) и (3.4) в (3.2), получим среднее время подхода пассажира к остановочному пункту:

$$f_1(v_{neu}, F, l_i^{марш}, X_i^2, X_i^3) = \frac{K_{н.п.} \cdot \left(1 + \frac{v_{neu}}{v_{X_i^2}^{сообщ}}\right)}{v_{neu}} \cdot \frac{1}{3} F + \frac{l_i^{марш}}{4 \cdot X_i^3}. \quad (3.5)$$

При превышении пассажироместимости ТС происходит отказ в посадке, и пассажирам приходится ожидать следующее ТС. Поэтому, в отличие от предлагаемого в работах ведущих ученых [69, 96, 97] среднего времени ожидания пассажиром автобуса:  $0,5 \cdot t_u$  (половина сетевого интервала движения), предлагается учитывать коэффициент превышения числа пассажиров на  $j$ -м ОП над оставшимися в ТС посадочными местами:

$$f_2(K_j^{прев}, l_i^{марш}, X_i^1, X_i^2) = 0,5 \cdot t_u \cdot K_j^{прев}, \quad (3.6)$$

где  $K_j^{прев}$  – коэффициент превышения свободных мест в ТС:

$$K_j^{прев} = 1 + \frac{Q_{(i,j)}^{вх}}{q_{X_i^2} - \sum_{j=1}^n Q_{(i,j-1)}^{вх} + \sum_{j=1}^n Q_{(i,j)}^{вых}}, \quad (3.7)$$

где  $Q_{(i,j)}^{вх}$  – количество входящих пассажиров в ТС маршрута  $i$  на  $j$ -м остановочном пункте;

$Q_{(i,j)}^{вых}$  – количество выходящих пассажиров из ТС  $i$ -го маршрута на  $j$ -м остановочном пункте;

$q_{X_i^2}$  – вместимость ТС, как функция, зависящая от типа ТС.

Интервал движения ТС на маршруте  $i$  вычисляется по формуле:

$$t_u = \frac{T_{об}}{X_i^1} = \frac{l_i^{марш}}{v_{X_i^2}^{сообщ} \cdot X_i^1}, \quad (3.8)$$

где  $T_{об}$  – время оборота ТС на маршруте  $i$ .

Подставив (3.7) и (3.8) в (3.6), получим:

$$f_2(K_j^{прев}, l_i^{марш}, X_i^1, X_i^2) = 0,5 \cdot \frac{l_i^{марш}}{v_{X_i^2}^{сообщ} \cdot X_i^1} \cdot \left(1 + \frac{Q_{(i,j)}^{вх}}{q_{X_i^2} - \sum_{j=1}^n Q_{(i,j-1)}^{вх} + \sum_{j=1}^n Q_{(i,j)}^{вых}}\right), \quad (3.9)$$

Среднее время на посадку-высадку пассажиров зависит от количества используемых дверей и рассчитывается по формуле:

$$f_3(Q_{(i,j)}^{ex}, Q_{(i,j)}^{вых}, n_{X_i^2}^{\partial 6}, \bar{t}_o, X_i^2, X_i^3) = \sum_{j=1}^{X_i^3} \frac{(Q_{(i,j)}^{ex} + Q_{(i,j)}^{вых}) \cdot \bar{t}_o}{n_{X_i^2}^{\partial 6}}, \quad (3.10)$$

где  $j = 1, 2, \dots, X_i^3$  – остановочные пункты на  $i$ -м маршруте;

$n_{X_i^2}^{\partial 6}$  – число дверей ТС, как функция, зависящая от типа ТС;

$\bar{t}_o$  – среднее время, затрачиваемое одним входящим и выходящим пассажиром, которое Гудков В.А. и Миротин Л.Б. [69] предлагают описывать распределением Эрланга:

$$f(\bar{t}_o) = \frac{\lambda \cdot (\lambda \cdot t_{oc})^k}{k!} \cdot e^{-\lambda \cdot t_{oc}}, \quad (3.11)$$

где  $\lambda = \frac{1}{M(t_{oc})}$  – величина, обратная статистическому математическому ожиданию времени простоя на промежуточной остановке.

Среднее время задержки ТС на ОП в ожидании посадки/высадки зависит от количества и длины ТС, уже находящихся на данном ОП к моменту подхода очередного ТС:

$$f_4(K_{зад}, Q_{(i,j)}^{ex}, Q_{(i,j)}^{вых}, L_j^{ocm}, l_{X_i^2}^n, \bar{t}_o, X_i^2, X_i^3) = K_{зад} \cdot f_3(Q_{(i,j)}^{ex}, Q_{(i,j)}^{вых}, n_{X_i^2}^{\partial 6}, \bar{t}_o, X_i^2, X_i^3), \quad (3.12)$$

где  $K_{зад}$  – коэффициент задержки ТС на ОП:

$$K_{зад} = \frac{N_2}{N_1}, \quad (3.13)$$

где  $N_2$  – общее число ТС на ОП в данный момент времени;

$N_1$  – число ТС, одновременно осуществляющих посадку-высадку пассажиров на ОП:

$$N_1 = \frac{L_j^{ocm}}{\sum l_{X_i^2}^n}, \quad (3.14)$$

где  $L_j^{ocm}$  – длина  $j$ -го остановочного пункта;

$l_{X_i^2}^n$  – длина  $n$ -го ТС, как функция, зависящая от типа ТС.

Подставив (3.10), (3.13) и (3.14) в (3.12), получим:

$$f_4(K_{\text{зад}}, Q_{(i,j)}^{\text{вх}}, Q_{(i,j)}^{\text{вых}}, L_j^{\text{осм}}, l_{X_i^2}^n, \bar{t}_o, X_i^2, X_i^3) = \frac{N_2 \cdot \sum l_{X_i^2}^n}{L_j^{\text{осм}}} \cdot \sum_{j=1}^{X_i^3} \frac{(Q_{(i,j)}^{\text{вх}} + Q_{(i,j)}^{\text{вых}}) \cdot \bar{t}_o}{n_{X_i^2}^{\text{об}}}, \quad (3.15)$$

Среднее время передвижения пассажира на автобусе зависит от среднего расстояния перемещений пассажиров и скорости сообщения используемого ТС, а также от величины задержек, связанных с заторами на дорогах:

$$f_5(\bar{l}_e, T_{\text{зат}}, X_i^2) = \frac{\bar{l}_e}{v_{X_i^2}^{\text{сообщ}}} + T_{\text{зат}}, \quad (3.16)$$

где  $\bar{l}_e$  – среднее расстояние перемещений пассажиров;

$T_{\text{зат}}$  – время простоя ТС в заторах:

$$T_{\text{зат}} = \frac{l_{\text{пробл}}}{v_{\text{зат}}}, \quad (3.17)$$

где  $l_{\text{пробл}}$  – длина проблемного участка;

$v_{\text{зат}}$  – скорость движения потока по проблемному участку, которая зависит от числа полос, процента легковых автомобилей в потоке и интенсивности движения в обоих направлениях и рассчитывается в соответствии с ОДМ 218.2.020-2012 «Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог» [98].

На решение накладываются следующие ограничения:

1. Транспортная потребность населения должна быть полностью удовлетворена:

$$\sum_{n=1}^{X_i^2} Q_{(n, X_i^2)} \cdot X_{(n, X_i^2)}^1 \geq Q_i, \quad (3.18)$$

где  $n = 1, 2, \dots, X_i^2$  – типы ТС на  $i$ -м маршруте;

$X_{(n, X_i^2)}^1$  – число ТС типа  $n$  на  $i$ -м маршруте;

$Q_i$  – пассажиропоток на  $i$ -м маршруте;

$Q_{(n, X_i^2)}$  – число пассажиров, перевезенных  $n$ -м типом ТС на  $i$ -м маршруте, вычисляемое по формуле:

$$Q_{(n, X_i^2)} = \frac{q_{X_i^2} \cdot l_i^{\text{марш}}}{24 \cdot v_{X_i^2}^{\text{сообщ}}}. \quad (3.19)$$

## 2. Пропускная способность участков УДС:

$$\sum_{n=1}^{X_i^2} D_{(n, X_i^2)} \cdot X_{(n, X_i^2)}^1 \leq D_i, \quad (3.20)$$

где  $D_i$  – суммарный резерв пропускной способности участков УДС, по которым проходит  $i$ -й маршрут;

$D_{(n, X_i^2)}$  – коэффициент использования пропускной способности  $n$ -м типом ТС на  $i$ -м маршруте, вычисляемый по формуле:

$$D_{(n, X_i^2)} = \frac{K_{X_i^2} \cdot l_i^{\text{марш}}}{24 \cdot v_{X_i^2}^{\text{сообщ}}}, \quad (3.21)$$

где  $K_{X_i^2}$  – коэффициент приведения пропускной способности, используемой при движении ТС каждого типа, к величине пропускной способности, используемой при движении одного легкового автомобиля.

3. Время ожидания пассажирами автобуса  $i$ -го маршрута не должно превышать максимально допустимого значения интервала движения подвижного состава (ПС) на маршрутах  $t_u^{\text{max}}$ :

$$f_2(K_j^{\text{прев}}, l_i^{\text{марш}}, X_i^1, X_i^2) \leq t_u^{\text{max}}. \quad (3.22)$$

4. Время подхода пассажира к ОП зависит от расстояния от удаленной точки транспортного района до ОП и не должно превышать  $l_{\text{подхода}}^{\text{рек}}$ :

$$f_1(v_{\text{неш}}, F, l_i^{\text{марш}}, X_i^2, X_i^3) \leq l_{\text{подхода}}^{\text{рек}}. \quad (3.23)$$

### 3.3.2 Транспортная модель

Транспортная модель представляет собой программный комплекс, состоящий из модели сети, модели спроса на транспорт и модели воздействия.

*Модель сети* является изображением улично-дорожной сети в виде узлов и отрезков, наложенным на карту города с учетом масштаба для последующего автоматического расчета длины каждого участка. Для каждого отрезка задаются характеристики (ширина проезжей части, количество полос движения, максимально допустимая скорость движения, состояние дорожного покрытия) и накладываются ограничения (разрешен ли разворот, запрет дви-

жения для определенного вида транспорта и т.д.). Затем вводятся транспортные районы и возможные системы организации движения (индивидуальный транспорт (ИТ), общественный транспорт (ОТ), грузовой транспорт и т.д.), а на построенную схему УДС накладываются возможные пути следования ИТ и существующие маршруты ОТ, обозначаются остановочные пункты и вводится расписание движения. Таким образом, модель сети представляет собой транспортное предложение города.

*Модель спроса* состоит из множества объектов спроса и описывает транспортную потребность населения с помощью интегрированной в PTV VISUM стандартной четырехступенчатой модели. Самыми важными составляющими моделей спроса являются матрицы: матрицы затрат (отображают временные, денежные либо иные затраты, связанные с перемещением между транспортными районами) и матрицы корреспонденций (отображают потребность в перемещении между районами).

Модель сети и модель спроса являются основой для построения *модели воздействия*. Поскольку любое воздействие всегда направлено на участников движения, в PTV VISUM можно построить

1. модель воздействия на пользователя (к пользователям транспортного предложения относятся водители индивидуальных транспортных средств, пассажиры ОТ и пешеходы);
2. модель воздействия на перевозчика (под перевозчиком подразумеваются транспортные компании и организации, осуществляющие перевозки);
3. модель воздействия на окружающую среду (позволяет рассчитывать шумовое воздействие и эмиссии вредных веществ).

Модель пользователя позволяет осуществить выбор оптимального маршрута перемещения пассажира, что составляет основу для построения картограмм транспортных нагрузок на участки УДС города. Ядром процедур моделирования перемещений являются алгоритмы поиска, которые рассчитывают пути следования между транспортными районами. В качестве алгоритмов поиска реализованы методы, которые устанавливают наилучший путь (напри-



мер, метод «Поиск кратчайшего пути») или множество хороших путей (например, «Поиск Branch & Bound»). Затем поездки каждой корреспонденции между транспортными районами распределяются на найденные пути. В PTV VISUM такая комбинация поиска путей и распределения поездок на найденные пути называется Перераспределение [74]. Для моделирования перемещений с помощью ОТ в PTV VISUM можно воспользоваться одной из трех процедур перераспределения. В случае, если необходимо сравнить существующую маршрутную сеть (для которой имеется точное расписание) с планируемой (для которых пока отсутствует точное расписание), рекомендуется использовать процедуру Перераспределения по интервалам, т.к. она обычно не учитывает координацию расписания.

Значения нагрузок для отрезков и поворотов, полученные в результате процедуры Перераспределения образуют основу процедур моделей воздействия на перевозчиков и окружающую среду.

Модель перевозчика позволяет оценить рентабельность и эффективность маршрутной сети и расписания движения путем расчета таких показателей, как производственные и финансовые затраты и ожидаемая прибыль, связанная с платой пассажиров за проезд.

Таким образом, модели воздействия позволяют комплексно оценивать каждый вариант организации движения и выбирать оптимальный как с точки зрения повышения эффективности использования ПС транспортных предприятий, так и с учетом минимизации негативного влияния на окружающую среду без снижения мобильности населения.

### **3.4 АЛГОРИТМ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ГОРОДСКИХ АВТОБУСНЫХ ПЕРЕВОЗОК**

Необходимым условием повышения эффективности управления общественным транспортом города является разработка системы управления, позволяющей принимать научно обоснованные решения на основании комплекса моделей управляемого объекта и основанного на них алгоритма организации городских автобусных перевозок.

Процесс получения научно обоснованного решения по корректировке маршрутной сети общественного транспорта города начинается с ввода исходных данных, на основании которых строятся модель УДС города и матрицы корреспонденций. Для расчета уровня нагрузок на отрезках УДС проводится компьютерный эксперимент, в результате которого выявляются участки, нуждающиеся в оптимизации. Если модельные значения коррелируются с результатами выборочных натурных обследований, модель адекватна и может служить основой для корректировки маршрутной сети города, чтобы новые маршруты не проходили по перегруженным участкам УДС. Предложенный вариант проверяется на модели для прогнозирования возможных последствий с учетом перераспределения транспортных нагрузок. Он должен удовлетворять ограничениям модели и соответствовать транспортным потребностям населения.

Корректировку параметров маршрутной сети необходимо осуществлять до тех пор, пока расчетная нагрузка на участки УДС не будет ниже или равна пропускной способности этих участков. Затем осуществляется подбор оптимального по технико-эксплуатационным характеристикам ПС для каждого маршрута и формируется расписание движения с учетом значений максимально допустимых интервалов движения.

Алгоритм принятия решений по повышению эффективности организации городских автобусных перевозок представлен на рисунке 3.3.

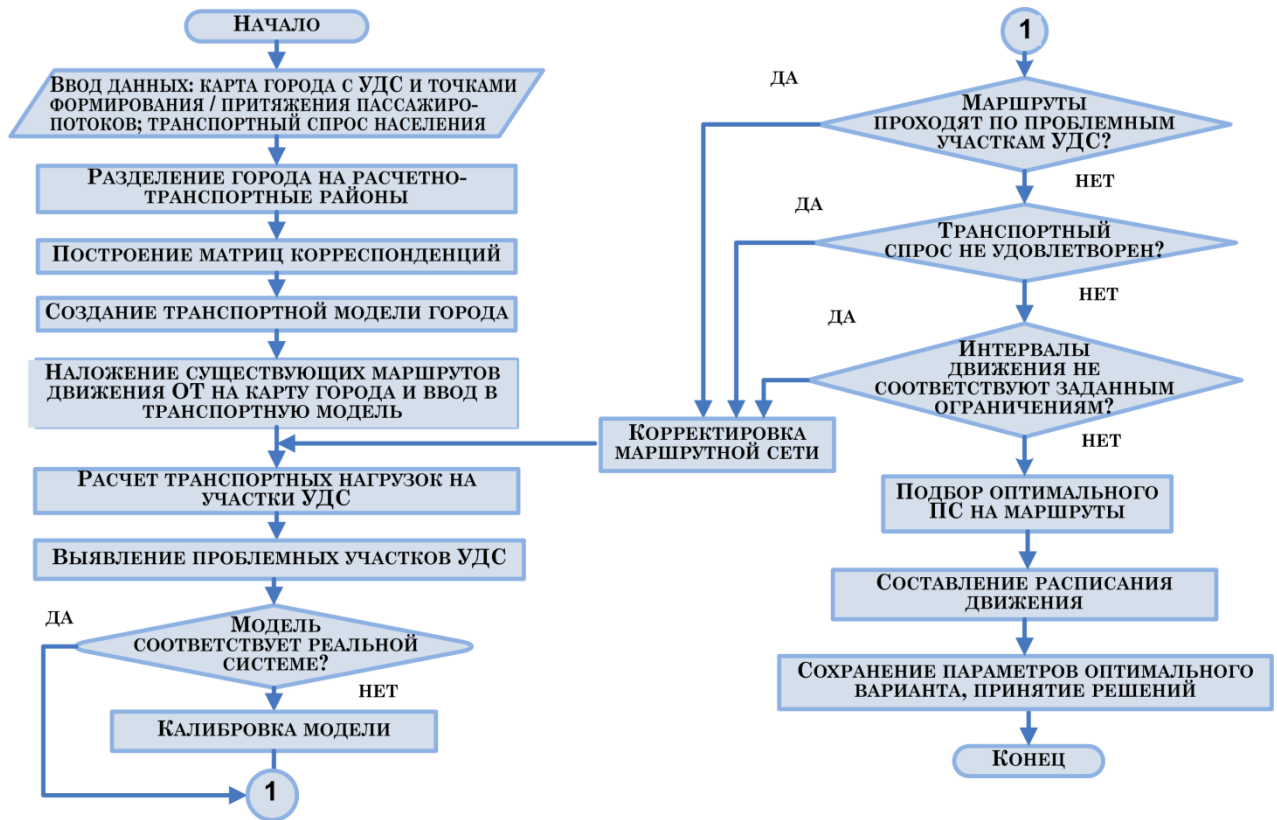


Рисунок 3.3 – Алгоритм организации городских автобусных перевозок

### 3.5 ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ

1. Предложена универсальная концептуальная модель системы управления городскими автобусными перевозками, позволяющая исследовать поведение транспортной системы города в случае изменения параметров транспортных и пассажиропотоков; выявлять проблемные участки УДС; прогнозировать результаты предлагаемых управленческих решений; подбирать оптимальный ПС, комбинируя автобусы разной вместимости для разного времени суток; согласовывать интервалы движения автобусов разных маршрутов; формировать базу оптимальных решений, что расширяет возможности использования системы в различных городах с похожим транспортно-планировочным каркасом.

2. Определена зависимость времени доставки пассажиров от времени простоя ТС в заторах и на ОП в ожидании очереди на подачу ТС к месту посадки-высадки, а также отсутствия свободных мест в ТС.

3. Теоретически обоснованы значения коэффициента превышения числа свободных мест в ТС и коэффициента задержки ТС на ОП.

4. В основу транспортной модели положен принцип равновесных потоков: предполагается, что при определении временных затрат на перемещение между транспортными районами учитывается не только расстояние между исходными точками и пунктами назначения или техническая скорость ПС, но и средняя скорость движения транспортного потока, которая зависит от степени загруженности участков УДС.

5. Многошаговый оптимизационный эксперимент для каждого из маршрутов, проходящих по проблемным участкам УДС, проводится путем последовательного выполнения нескольких прогонов модели с различными значениями исходных данных и нахождения оптимальных для данной задачи значений параметров модели. Далее, комбинируя лучшие отобранные сценарии, принимаются управленческие решения по корректировке маршрутов следования, подбору оптимального типа и количества ПС на каждом из маршрутов, а также составляется расписание движения ГПТ.

## **4 АПРОБАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГОРОДСКИМИ АВТОБУСНЫМИ ПЕРЕВОЗКАМИ (на примере г. Набережные Челны)**

### **4.1 АНАЛИЗ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ Г. НАБЕРЕЖНЫЕ ЧЕЛНЫ**

#### **4.1.1 Планировочная схема улично-дорожной сети**

В основе проектировочного решения города Набережные Челны лежит прямоугольная схема планировки, обусловленная его расположением вдоль реки Кама, с параллельным расположением промышленной и селитебной зон, пригородной зоны отдыха [99]. Одной из особенностей городов подобной планировки является равномерное распределение населения по всей селитебной зоне, а в каждом жилом микрорайоне (комплексе) есть детские сады, школы и магазины. Сделано это было с целью минимизации учебных и бытовых транспортных корреспонденций.

Проблема перегруженности автомобильных дорог является актуальной для г. Набережные Челны, несмотря на то, что он проектировался с учетом возможного роста на дорогах количества как индивидуального, так и пассажирского транспорта. Это обусловлено тем, что транспортно-планировочный каркас города составляют продольные магистрали, связывающие жилые районы города и сливающиеся воедино на проспекте Набережночелнинский.

Ввиду того, что значительную часть поездок в часы пик составляют трудовые корреспонденции, разделение промышленной и селитебной зон в городе создает проблемы на пересечениях продольных и поперечных магистралей. Это вызвано тем, что для доставки работников в промышленные зоны существовала сеть заводских маршрутов, ликвидация которой вынудила работников пересесть на индивидуальный транспорт, поскольку маршрутная сеть городского общественного транспорта не претерпела существенных изменений.

Схема транспортно-планировочного каркаса г. Набережные Челны представлена на рисунке 4.1.

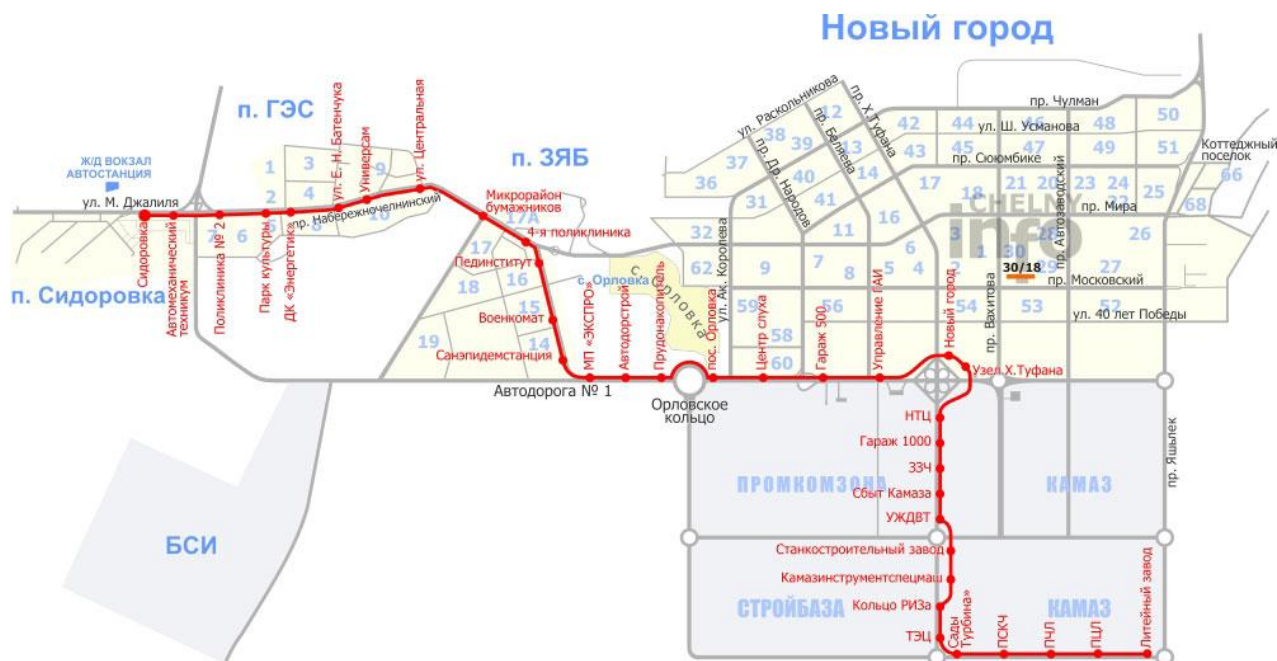


Рисунок 4.1 – Планировочная схема УДС г. Набережные Челны

#### 4.1.2 Особенности формирования пассажиропотоков

Поскольку на интенсивность движения на участках УДС, а также на маршрутные схемы ГПТ непосредственное влияние оказывают трудовые, учебные, деловые и культурно-бытовые корреспонденции населения, важно определить центры тяготения пассажиропотоков:

- промышленные предприятия города;
- учебные заведения;
- больницы и лечебные учреждения;
- торговые и торгово-развлекательные центры;
- культурно-развлекательные учреждения и т.д.

Как указано в «Стратегии социально-экономического развития г. Набережные Челны до 2030 года» [100], наибольшая доля промышленности города приходится на производство транспортных средств и оборудования (58,0%), металлургическое производство и производство готовых металлических изделий (14,8%), целлюлозно-бумажное производство, издательскую и полиграфическую деятельность (9,9%), производство пищевых продуктов (9,2%), а также положительную динамику темпов роста демонстрирует строительная индуст-

рия. Таким образом, можно говорить о том, что до 72 % трудовых корреспонденций населения г. Набережные Челны приходится в промышленные зоны города (в частности, Промкомзона, КАМАЗ, Промзона Стройбаза, БСИ).

В Приложении А приводится перечень функционирующих в г. Набережные Челны наиболее крупных предприятий и учреждений, а также лечебных учреждений с указанием численности их персонала. В Приложении Б дан перечень образовательных учреждений высшего, среднего и начального профессионального образования с указанием количества работающих и обучающихся. Данные получены отделом экономики администрации г. Набережные Челны и Государственным комитетом Республики Татарстан путем анкетирования предприятий и организаций города [101].

Административные учреждения и объекты культурно-бытового обслуживания городского значения размещены, в основном, вдоль проспектов Мира, Вахитова, Х. Туфана, Автозаводского, т.е. в той части, которая неофициально называется «Новый город». Следовательно, многие культурно-бытовые корреспонденции осуществляются по участку УДС, связывающему два района города – Новый город и его старую часть (поселки ГЭС, ЗЯБ, Сидоровка, район Замелекесья). Основные центры притяжения культурно-бытовых корреспонденций в г. Набережные Челны представлены в Приложении В.

Необходимо отметить, что в последние годы в соответствии с Генеральным планом г. Набережные Челны [102] в селитебной зоне города появились новые жилые массивы: многоэтажная застройка в 35, 36, 37, 65 комплексах и в районе Замелекесья, смешанная застройка на территории Элеватора, Орловки, а также малоэтажная застройка на экологически чистых территориях вдоль р. Челна в юго-восточном направлении от автодороги №1.

#### **4.1.3 Анализ состояния системы городского пассажирского транспорта г. Набережные Челны**

Городской пассажирский транспорт в г. Набережные Челны представлен автобусными и трамвайными маршрутами, а также таскомоторными перевозками. В Набережных Челнах трамвайные линии вынесены за пределы движе-

ния автомобильного транспорта и потому не оказывают такого негативного влияния на дорожное движение, как в других городах России. В основном трамвайные маршруты были созданы для обеспечения перевозок между жилыми районами города и обширным производственным комплексом КАМАЗ. Однако основной объем пассажиропотока осваивается все же автобусным транспортом [103].

Как показали исследования, выполненные Федоровым С.В. [80], в среднем по России более 20% городских пассажирских перевозок осуществляется частными предприятиями. В городе Набережные Челны вследствие резкого сокращения парка муниципальных автобусов около 87% пассажиров перевозится автобусами малой и особо малой вместимости [104].

С одной стороны, это говорит о положительной тенденции в сфере развития малого бизнеса, но с другой – такая высокая доля транспортных услуг, предоставляемых частными перевозчиками, ведет к снижению качества, эффективности и безопасности транспортного процесса. Это связано со снижением контроля технического состояния автобусов и состояния здоровья водителей. Кроме того, большое количество частных перевозчиков, работающих на городских автобусных маршрутах, затрудняет решение главной задачи управления перевозками пассажиров: скоординированное взаимодействие транспортных средств на различных автобусных и трамвайных маршрутах.

Общественный транспорт г. Набережные Челны представлен 14 маршрутами трамвая, более чем 25 автобусными маршрутами, на которые ежедневно выходит около 400 единиц транспорта, а также такси (в том числе т. н. социальным такси, перевозящим по несколько пассажиров по стоимости проезда в маршрутных такси). Преобладание в системе городского пассажирского транспорта большого количества автобусов малой вместимости ведет к возникновению нездоровой конкуренции между перевозчиками, экологическим проблемам, снижению безопасности пассажирских перевозок и к большой нагрузке на улично-дорожную сеть [103].



В Приложении Г представлена полная информация по каждому существующему автобусному маршруту и основные эксплуатационные характеристики каждого типа ТС, действующих в городе.

Однако, как бы ни важна была исходная информация о текущем состоянии транспортной системы, для последующего обоснования выбора наилучшего варианта организации движения пассажирского транспорта необходимы также данные о предпочтениях населения для построения прогнозных моделей. Одним из наиболее объективных методов изучения транспортных предпочтений населения является анкетирование, которое при правильной организации и адекватной обработке полученных данных позволяет прогнозировать наиболее вероятные варианты развития транспортной системы при разных сочетаниях факторов с учетом рисков.

В соответствии с формулой (2.4) был определен объем репрезентативной выборки на уровне значимости 5%:

$$n = \frac{522000 \cdot 2^2 \cdot 0,5 \cdot 0,5}{522000 \cdot 0,05^2 + 2^2 \cdot 0,5 \cdot 0,5} \approx 400 \text{ чел.}$$

Для анализа транспортной потребности жителей города и выявления предпочтений населения была разработана анкета определения его мобильности (Приложение Е). Кроме того, анкетирование позволило выявить те части города, которые недостаточно обеспечены маршрутами общественного транспорта. Отсутствие беспересадочных маршрутов до мест приложения труда отметили жители 25, 27, 32, 38, 43, 45, 58 комплексов Нового города, жители практически всех комплексов района ЗЯБ, 11 комплекса района ГЭС, а также жители районов Сидоровка, Красные Челны, Элеваторная гора и нового района Замелекесье. В проведенном анкетировании приняло участие 953 респондента, составляющих различные целевые группы населения (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Результаты выборочного анкетирования населения

Наименование показателя	Студенты	Работающие	Пенсионеры	Другие категории	ВСЕГО
количество опрошенных	624	299	16	14	953
количество поездок на работу/учебу на ГПТ	313	109	-	-	422
количество поездок на работу/учебу на велосипедах	50	7	-	-	57
количество поездок на работу/учебу на автомобилях	163	133	-	-	296
количество поездок на работу/учебу пешком	98	50	-	-	148
<b>процент автомобилистов, готовых пересесть на общественный транспорт, при условии:</b>					
• остановка находится в 5 минутах ходьбы	85	38	1	0	123
• ожидание не более 5 минут	89	47	1	1	136
• наличие беспересадочных маршрутов	73	45	1	1	118
• чистые, с кондиционером, комфортабельные ТС	94	40	1	0	134
• наличие сидячих мест	78	37	1	0	116
<b>предпочтения по видам общественного транспорта:</b>					
• автобусы большой вместимости	127	88	6	6	227
• автобусы малой и средней вместимости	371	115	3	6	495
• трамваи	134	59	7	1	201
количество человек, отметивших необходимость рационализации маршрутной сети	377	86	3	4	470

#### 4.1.4 Ключевые проблемы городского пассажирского транспорта г. Набережные Челны

Анализ состояния системы городского пассажирского транспорта г. Набережные Челны выявил следующие проблемы:

– Прямоугольная планировка приводит к значительному наложению маршрутов, в частности, одним из проблемных участков УДС города является Набережночелнинский проспект, где сливаются воедино практически все маршруты, проходящие по четырем проспектам Нового города.

– Рост числа индивидуальных перевозчиков на городских автобусных маршрутах влечет за собой неполное и некачественное удовлетворение транспортной потребности населения. Это обусловлено несколькими причинами.

- Во-первых, общества с ограниченной ответственностью (ООО), публичные и непубличные акционерные общества (ПАО и АО), обладая более крупным капиталом, имеют возможность регулярно обновлять подвижной состав и осуществлять перевозки с более высоким качеством, чем индивидуальные владельцы [105].

- Во-вторых, индивидуальные предприниматели осуществляют перевозки, используя, в основном, ТС малой вместимости, и в часы пик большинство автобусов, заполненных пассажирами, проезжают мимо остановок.
- В-третьих, контролировать деятельность частных предприятий (соблюдение графиков движения, своевременность и полноту выпуска на линию принадлежащего им подвижного состава) намного сложнее, чем предприятий муниципального транспорта.

– Несоответствие существующей системы пассажирских городских перевозок транспортной потребности населения: многие новые жилые массивы, зоны экономической активности и места приложения труда на сегодняшний день расположены вдали от основных транспортных маршрутов. Особого внимания с точки зрения транспортной доступности заслуживает зона БСИ: если прочие промышленные зоны города связаны с селитебной трамвайными либо автобусными маршрутами, то 20,3 тыс. работников 195 предприятий, расположенных на БСИ, вынуждены добираться до своих рабочих мест на индивидуальном транспорте. В свою очередь это приводит к тому, что пропускная способность дороги, связывающей горожан с местом работы, не справляется с существующей загруженностью, которая оценивается в 20 тыс. автомобилей в день [106, 107, 108, 109].

– Недостаточная степень исследованности пассажирских и транспортных потоков, поскольку в последний раз полномасштабные исследования пассажирских потоков проводились в 2004 году, а плотность транспортных потоков вообще не учитывалась при корректировке маршрутных схем движения.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что существующая система городского пассажирского транспорта не обеспечивает приемлемого качества транспортного обслуживания населения по ряду ключевых показателей (транспортная доступность, скорость сообщения, комфортность передвижений, безопасность и др.). Вопрос повышения качества транспортного обслуживания должен рассматриваться комплексно, включая

аспекты развития индивидуального и общественного транспорта с учетом интересов и предпочтений всех социальных групп населения.

Поскольку результаты анкетирования показали, что снизить число поездок на личном транспорте в пользу общественного можно путем совершенствования маршрутной сети, а также оптимизации структуры парка на маршрутах, должны быть решены следующие управленческие задачи:

1. Расчет матриц пассажирских корреспонденций и корректировка маршрутной сети городского автобусного транспорта в соответствии с реальной транспортной потребностью населения.

2. Использование транспортных средств, вместимость которых соответствует объему пассажиропотоков на маршрутах.

3. Введение дополнительных рабочих маршрутов для доставки работников промышленности к местам приложения их труда.

4. Снижение транспортной нагрузки на так называемые «узкие» места УДС путем изменения автобусных маршрутных схем, создания кольцевых, укороченных маршрутов.

5. Повышение привлекательности ГПТ для снижения процента передвижений, осуществляемых на индивидуальном транспорте.

6. Развитие единой системы управления внутригородскими пассажирскими перевозками.

## **4.2 РЕАЛИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНОЙ МОДЕЛИ В ПАКЕТЕ PTV VISUM**

### **4.2.1 Построение модели дорожной сети г. Набережные Челны**

На первом этапе создания транспортной модели была построена модель дорожной сети города (рисунок 4.2) со следующими параметрами:

- количество узлов дорожной сети – 493;
- количество участков дорожной сети – 1200;
- количество транспортных районов – 76;
- количество остановочных пунктов – 299.

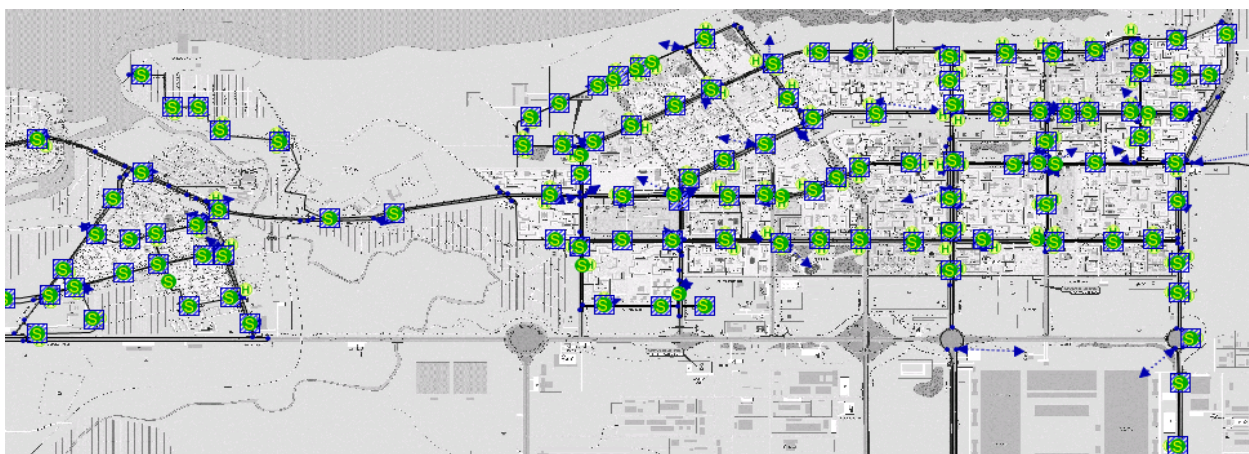


Рисунок 4.2 – Модель транспортной сети г. Набережные Челны

При построении модели транспортной сети узлы и отрезки накладывались на карту города с учетом участков УДС, по которым проходят или могут быть проложены автобусные маршруты. При описании перекрестков моделировались разрешенные в реальности повороты. Для каждого были заданы такие параметры, как средняя скорость движения, количество полос и ширина проезжей части, что позволяет учесть реальные дорожные условия и дорожные знаки. Последующее вычисление длин участков УДС осуществляется благодаря тому, что первым этапом работы в PTV VISUM является координатная привязка узлов дорожной сети. Информация о средней скорости движения и длине исследуемого участка УДС позволяет определять затраты времени на передвижения при различных интенсивностях и структуре транспортных потоков.

Разделение города на расчетно-транспортные районы (рисунок 4.3, Приложение Д) было осуществлено в соответствии с теоретическими положениями пассажирских перевозок [69], а также с учетом основных пунктов тяготения пассажиропотоков.

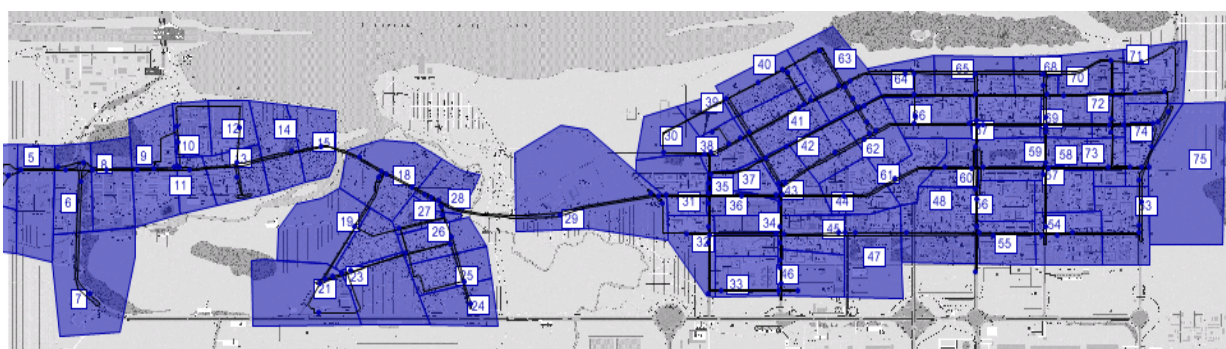


Рисунок 4.3 – Разделение города на транспортные районы

#### 4.2.2 Расчет матриц пассажирских корреспонденций

При построении матриц корреспонденций между транспортными районами был использован встроенный в PTV VISUM «классический» метод – стандартная четырехступенчатая модель спроса.

Выходные потоки (численность населения) для каждого жилого района были определены по формуле:

$$N_i = \sigma_i \cdot F_i, \quad (4.1)$$

где  $N_i$  – численность населения  $i$ -го расчетно-транспортного района, чел;

$\sigma_i$  – плотность населения  $i$ -го расчетно-транспортного района, чел/км<sup>2</sup>;

$F_i$  – площадь района  $i$ -го расчетно-транспортного района, км<sup>2</sup>.

Плотность населения согласно последней переписи [110] составляет 2984 чел/км<sup>2</sup>. Площадь районов рассчитывается автоматически благодаря координатной привязке и масштабированию карты города.

Входные пассажиропотоки задавались на основании данных, указанных в Приложениях А, Б и В. Распределение корреспонденций по видам (трудо-вые, учебные, деловые и культурно-бытовые) осуществлялось на основании данных о проценте занятых в экономике людей [101] и количестве учащихся в тех или иных учебных заведениях (Приложение Б). На рисунке 4.4 представлен пример ввода исходных данных для транспортного района.

	СлойСпр	Объем транспортного потока из	Объем транспортного потока в цель
1	дом-вуз-студ	800.00000000	950.00000000
2	дом-отд-студ	1235.00000000	1562.00000000
3	дом-отд-труб	1854.00000000	2400.00000000
4	дом-раб-студ	5412.00000000	6501.00000000
5	дом-раб-труб	12015.00000000	13000.00000000
6	раб-вуз-студ	4102.00000000	4021.00000000

Рисунок 4.4 – Ввод данных об объемах прибытия и отправления для транспортного района номер 9

Данный метод определения входных и выходных потоков дает лишь примерные показатели, поэтому полученные значения были сравнены с данными исследований, проводившихся Отделом транспорта г. Набережные Челны [111]. Эти исследования также не были полными, однако сходимость значений, полученных двумя разными методами, говорит о том, что эти данные могут быть использованы при построении модели.

Вторым этапом построения стандартной четырехступенчатой модели спроса является определение закономерностей, по которым пассажиры осуществляют выбор способа передвижения (пешие передвижения, с использованием общественного или индивидуального транспорта). Для определения долей распределения пассажиропотоков по способам передвижения использовались данные, полученные в ходе анкетирования.

Поскольку в качестве целевой функции выбран такой показатель эффективности функционирования системы управления городскими автобусными перевозками, как минимизация среднего времени доставки пассажиров, то при моделировании выбирается тот способ передвижения, который связан с меньшими временными затратами. Для этого были построены матрицы затрат для каждого сегмента спроса. Пример матрицы затрат при использовании индивидуального транспорта представлен на рисунке 4.5.

Однако на рисунке 4.5 представлен расчет общего времени в пути без учета транспортной нагрузки на УДС. Для более точного вычисления затрат времени на достижение того или иного пункта назначения необходимо провести процедуру построения матриц затрат повторно после осуществления процедуры первичного распределения транспортных потоков по участкам УДС. Основой для определения транспортной нагрузки на дороги города являются матрицы корреспонденций, полученные в результате реализации третьего этапа четырехступенчатой модели спроса и частично представленные на рисунке 4.6.





### 4.2.3 Расчет распределения транспортной нагрузки по участкам УДС

Матрицы корреспонденций, полученные в результате реализации третьего этапа четырехступенчатой модели спроса, служат основой для определения транспортной нагрузки на дороги города. Это реализуется на основании принципа равновесных потоков, когда оптимальным маршрутом перемещения считается тот, который обеспечивает минимальные временные затраты на поездку. После этого, процедура построения матриц затрат (расчет общего времени в пути уже с учетом транспортной нагрузки) проводится повторно, а все матрицы корреспонденций, разделенные по видам корреспонденций и способам передвижения, комбинируются.

Эти процедуры были осуществляются до тех пор, пока не достигнуто равновесие системы, после чего проводится окончательное перераспределение транспортных потоков. Заданная последовательность выполнения процедур представлена на рисунке 4.7.

Число: 18	Исполнение	Активно	Процедура	Базовый(е) объект(ы)	Вариант/файл
1	▶	<input checked="" type="checkbox"/>	Создание транспортного движения	Все M01-СлоиСпр	
2		<input checked="" type="checkbox"/>	Группа M01: Распределение и Выбор режим	3 - 6	
3		<input checked="" type="checkbox"/>	Рассчитать матрицу затрат ИТ	С Car	
4		<input checked="" type="checkbox"/>	Рассчитать матрицу затрат ОТ	Х ОТ	По интервалам
5		<input checked="" type="checkbox"/>	Распределение транспортного движения	Все M01-СлоиСпр	
6		<input checked="" type="checkbox"/>	Выбор режима	Все M01-СлоиСпр	
7		<input checked="" type="checkbox"/>	Группа M01: Агрегация матрицы	8 - 10	
8		<input checked="" type="checkbox"/>	Комбинация матриц и векторов	2 С	
9		<input checked="" type="checkbox"/>	Комбинация матриц и векторов	3 Х	
10		<input checked="" type="checkbox"/>	Комбинация матриц и векторов	25 TTCM (С Car)	
11		<input checked="" type="checkbox"/>	Группа M01: Перераспределение	12 - 13	
12		<input checked="" type="checkbox"/>	Перераспределение ИТ	С Car	Равновесное перераспределение
13		<input checked="" type="checkbox"/>	Перераспределение ОТ	Х ОТ	По интервалам
14		<input checked="" type="checkbox"/>	Группа M01: Усреднение матриц затрат	15 - 16	
15		<input checked="" type="checkbox"/>	Рассчитать матрицу затрат ИТ	С Car	
16		<input checked="" type="checkbox"/>	последовательных средних значений(МПСЗ)	25 TTCM (С Car)	
17		<input checked="" type="checkbox"/>	Группа M01: многократное повторение	18	
18		<input checked="" type="checkbox"/>	Обусловленный обратный скачок	Процедура 5	

Рисунок 4.7 – Последовательность выполнения процедур

Распределение транспортных потоков по участкам УДС г. Набережные Челны представлено на рисунках 4.8-4.12 (цифры красного цвета обозначают количество единиц частных ТС, проходящих по этим участкам, а синего – количество пассажиров общественного транспорта).

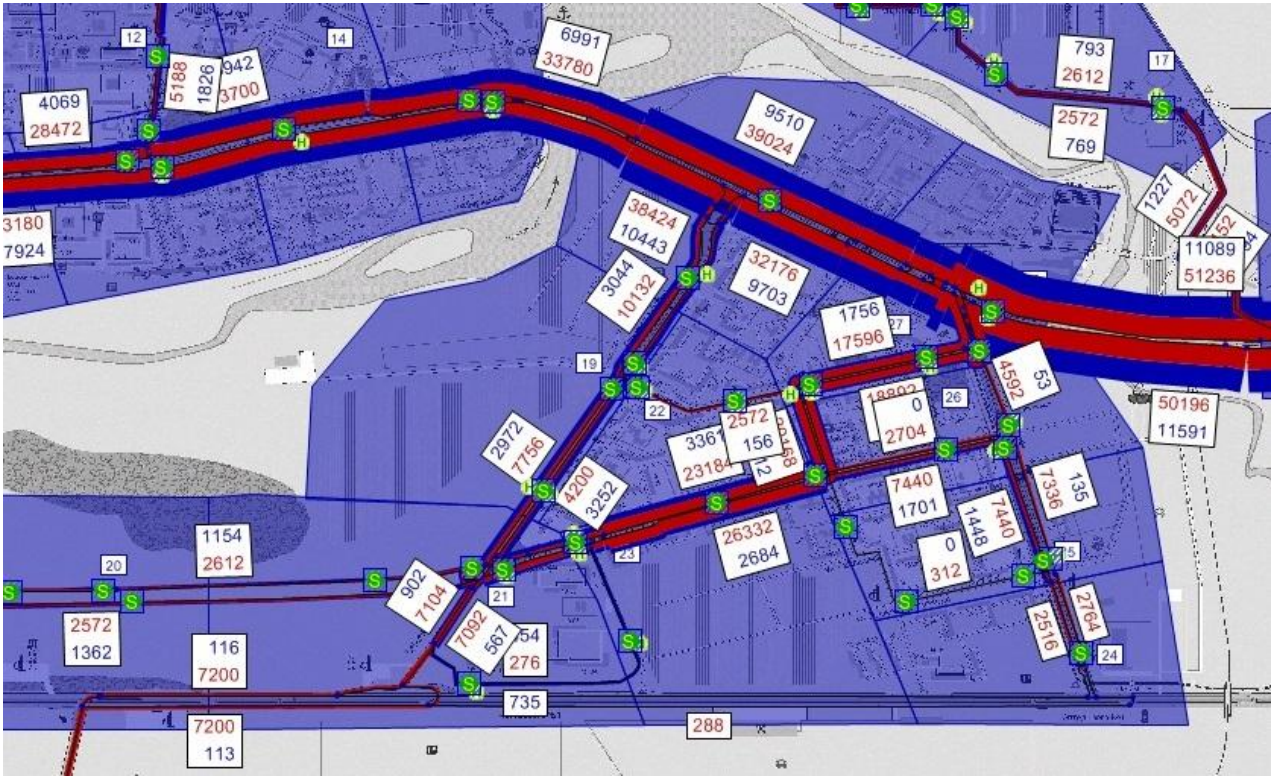


Рисунок 4.8 – Картограмма транспортных нагрузок (ЗЯБ)

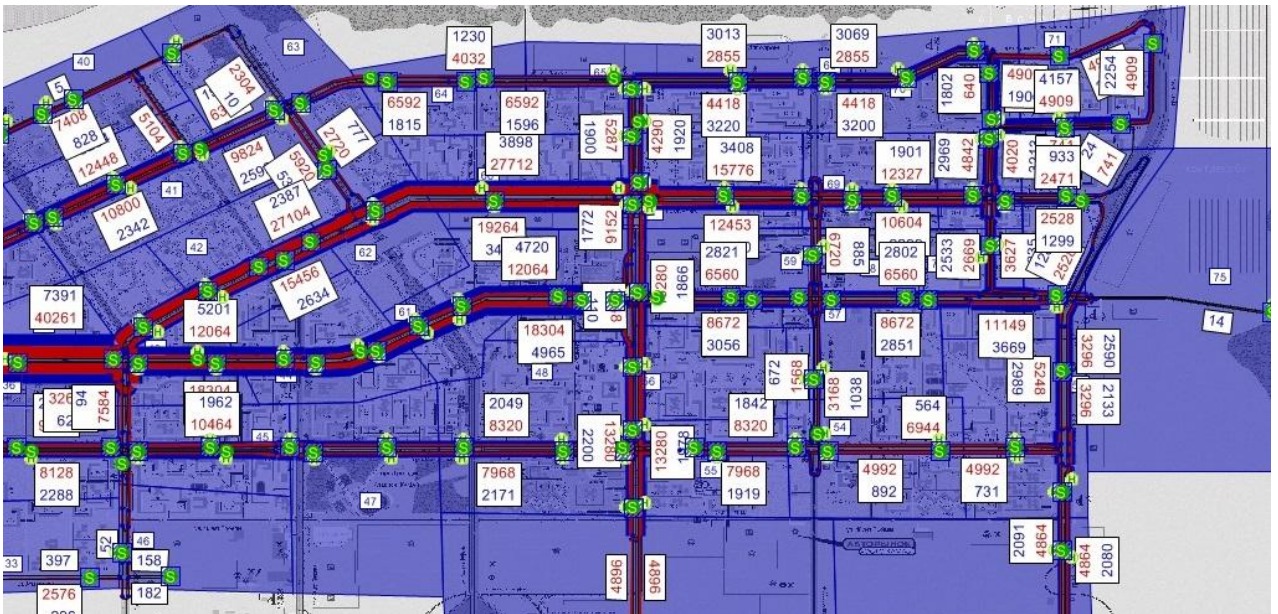


Рисунок 4.9 – Картограмма транспортных нагрузок (Новый Город)



Рисунок 4.10 – Картограмма транспортных нагрузок  
(Набережночелнинский проспект)

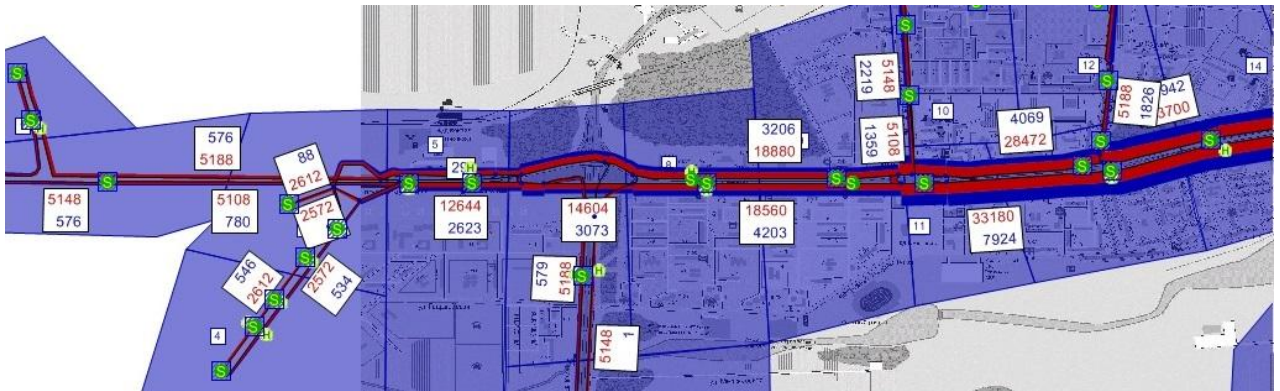


Рисунок 4.11 – Картограмма транспортных нагрузок (ГЭС)



Рисунок 4.12 – Картограмма транспортных нагрузок  
(район БСИ)

Последним этапом разработки транспортной модели является проверка ее соответствия реальной ситуации на дорогах города, а также (при необходимости) ручная корректировка значений пиковых нагрузок согласно выборочным натурным наблюдениям.

### 4.3 ВАЛИДАЦИЯ МОДЕЛИ

#### 4.3.1 Натурные исследования интенсивности транспортных потоков

Поскольку проведение полномасштабных натурных исследований пропускной способности УДС города является затратным как по времени, так и по ресурсам, были выявлены наиболее сложные участки транспортной сети. Затем на выделенных участках были проведены выборочные натурные исследования для определения интенсивности движения и структуры транспортных потоков. В данной работе под сложными участками улично-дорожной сети города понимаются наиболее аварийно-опасные участки, согласно статистическим данным ДТП, а также «узкие места», в которых геометрические особенности дороги, режим работы светофора и маршруты движения пассажирского транспорта на определенном участке влекут за собой образование пробок. На рисунке 4.13 на карту г. Набережные Челны нанесены аварийно-опасные участки согласно статистическим данным ГИБДД [112].



Рисунок 4.13 – Наиболее аварийно-опасные участки г. Набережные Челны

Работа по измерению интенсивности транспортных потоков сложных участков УДС города содержала три основных этапа: подготовительный, съемочный и камеральный.

***На подготовительном этапе:***

1. Подготовлена картографическая основа с нанесением на нее всех существующих направлений движения, обозначением мест установки видеофиксаторов (для перекрестков, на которых происходила видеосъемка), мест расположения учетчиков, а также разработан бланк фиксации количества транспортных средств (для перекрестков, где производились натурные обследования).
2. Составлен график проведения выборочных обследований.
3. Проведена пробная съемка, в процессе которой было осуществлено согласование графика работ с органами ГИБДД.

***На втором этапе*** согласно ранее составленной картографической схеме проводились съемки на выбранных участках с использованием автомобильных видеорегистраторов. Основная задача стандартного авторегистратора – аудио- и видеозапись дорожной обстановки, однако при соответствующих параметрах (угол обзора и разрешение) автомобильные видеофиксаторы могут быть использованы для решения задачи исследования интенсивности транспортных потоков. На рисунке 4.14 представлен пример схемы исследуемого перекрестка с указанием всех направлений движения транспортных потоков. На данном перекрестке были выделены 28 направлений движения, замеры производились в будние дни в часы-пик.

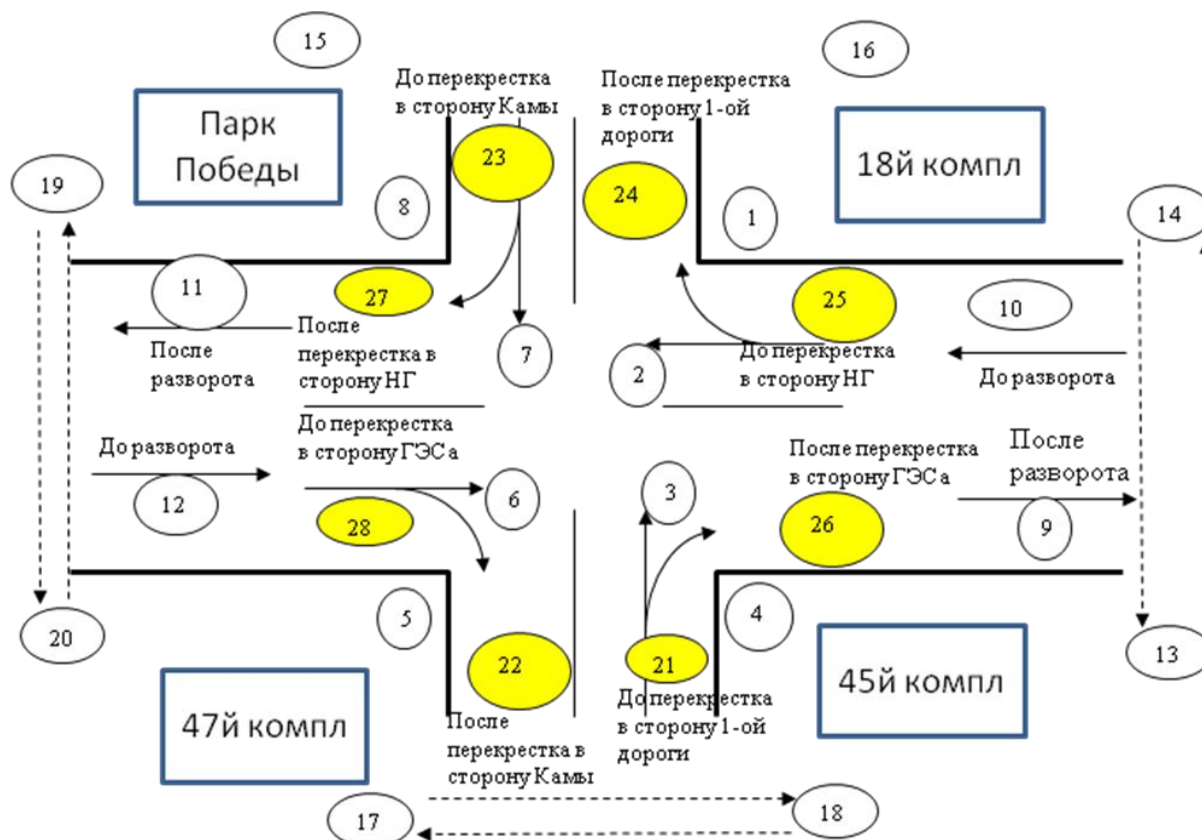


Рисунок 4.14 – Схема исследуемого перекрестка

с нанесенными направлениями транспортных и пешеходных потоков:

○ 7 – потоки, которые считаются учетчиками;

● 21 – потоки, вычисляемые аналитически.

*На третьем этапе* производилась обработка видеоматериала, информация заносилась в разработанные ранее бланки фиксации (таблица 4.2) по категориям ТС (легковые, пассажирские, грузовые и т.д.), для последующего статистического анализа.

Таблица 4.2 – Бланк фиксации количества транспортных средств

Наименование участка		Направление	ФИО учетчика	Дата	
<b>Время</b>	<b>Легковые</b>	<b>Ford, Fiat и пр.</b>	<b>НефАЗ, ПАЗ, Богдан и пр.</b>	<b>Грузовые</b>	<b>ИТОГО</b>

Результаты натуральных обследований структуры и интенсивности движущегося автотранспортного потока на основных магистралях г. Набережные Челны представлены в Приложении Ж.

#### 4.3.2 Оценка соответствия модельных значений реальной ситуации

С целью определения адекватности разработанной модели реальной ситуации на дорогах города был проведен анализ коррелируемости модельных значений с данными, полученными в результате обработки видеоматериалов исследований. Поскольку выборочные исследования проводились по 2 часа в утренний и вечерний периоды пиковой нагрузки и 2 часа в период обеденного спада движения, среднечасовая интенсивность движения на каждом участке была получена путем вычислений. Затем была рассчитана суточная интенсивность движения в соответствии с формулой, приведенной в «Методических рекомендациях по оценке пропускной способности автомобильных дорог» [98], и с учетом коэффициентов неравномерности движения по часам суток, дням недели и месяцам года:

$$N_{\text{сут}} = \frac{4 \cdot N_{\text{ср.ч.}}}{K_t \cdot K_H \cdot K_{\Gamma} \cdot 365}, \quad (4.2)$$

где  $K_t$  – коэффициент неравномерности движения по часам суток,  $K_t=0,045$ ;

$K_H$  – коэффициент неравномерности движения по дням недели,  $K_H=0,143$ ;

$K_{\Gamma}$  – коэффициент неравномерности движения по месяцам,  $K_{\Gamma}=0,0834$ ;

$N_{\text{ср.ч.}}$  – среднечасовая интенсивность движения, которая была рассчитана по формуле:

$$N_{\text{ср.ч.}} = \frac{\sum_{i=1}^n N_i}{k \cdot n}, \quad (4.3)$$

где  $N_i$  – количество ТС за  $i$ -й период наблюдения;

$n$  – количество периодов наблюдения;

$k$  – количество часов в периодах наблюдения.

В таблице 4.3 приведены наблюдаемые и модельные значения транспортных нагрузок на ключевых участках УДС.

Таблица 4.3 – Значения суточной интенсивности движения частных ТС на участках УДС

Наименование	Направление	Интенсивность наблюдаемая		Интенсивность модельная
		среднечасовая	суточная	
Центральная	ГЭС – НГ	1473	33831	33700
	НГ – ГЭС	1280	29393	33180
мкрн Бумажников	ГЭС – НГ	1461	33555	39024
	НГ – ГЭС	1487	34156	32176
Пединститут	ГЭС – НГ	2167	49789	51236
	НГ – ГЭС	2123	48766	50196
Челныгорстрой	ГЭС – НГ	2359	54196	51316
	НГ – ГЭС	2389	54889	50196
Медгородок	ГЭС – НГ	1673	38421	40261
	НГ – ГЭС	1620	37208	32544
7 комплекс	ГЭС – НГ	676	15537	12064
	НГ – ГЭС	829	19052	18304
Райисполком	ГЭС – НГ	567	13029	12064
	НГ – ГЭС	759	17446	18304
Автозаводский	ГЭС – НГ	684	15705	15776
	НГ – ГЭС	672	15434	12453

Коэффициент корреляции данных наблюдений ( $X_n$ ) и значений, полученных из макромоделли ( $X_m$ ), определялся с помощью программы статистического анализа STATISTICA (рисунок 4.15). Поскольку коэффициент корреляции Пирсона равен 0,98 (на уровне значимости 5%), построенная транспортная модель может быть использована при совершенствовании организации городских автобусных перевозок для повышения их эффективности путем минимизации времени доставки пассажиров и суммарного количества ТС, используемых на маршруте.

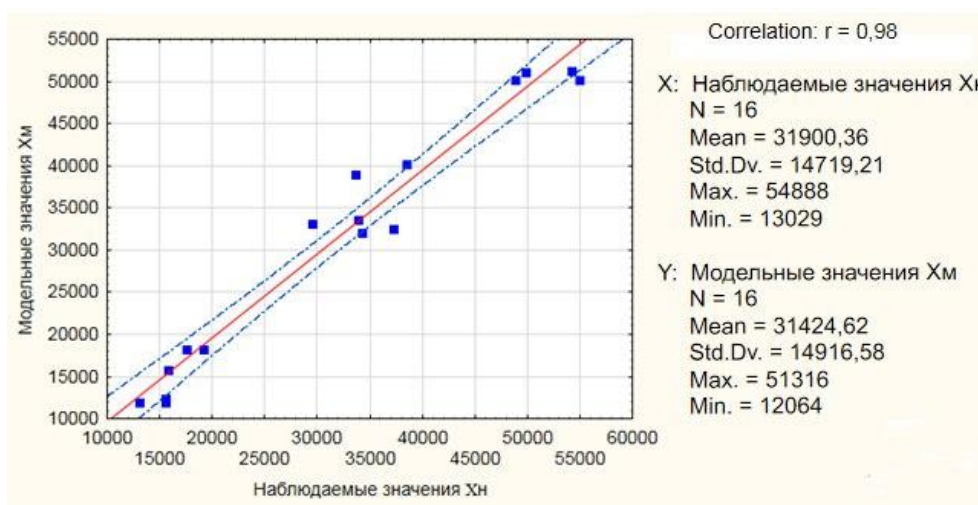


Рисунок 4.15 – Определение коэффициента корреляции



#### **4.4 ОРГАНИЗАЦИЯ АВТОБУСНЫХ ПЕРЕВОЗОК С УЧЕТОМ «СЛАБЫХ МЕСТ» СУЩЕСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ**

##### **4.4.1 Разработка новой маршрутной сети**

При разработке новой маршрутной сети учитывались следующие условия:

– Все транспортные районы города должны быть связаны между собой прямыми беспересадочными маршрутами (особое внимание должно уделяться новым районам с недостаточно развитой транспортной инфраструктурой, а также районам, которые при анкетировании отмечались респондентами как малообеспеченные общественным транспортом).

– Совершенствование маршрутной сети должно привести к сокращению наложений маршрутов.

– При общем уменьшении числа маршрутов интервал движения ТС должен соответствовать рекомендуемым значениям и полностью удовлетворять транспортную потребность населения.

– Подбор ПС для каждого маршрута и расписание движения ТС должно осуществляться с учетом прогнозируемых значений транспортной мобильности населения и корректироваться по мере изменения параметров движения.

Особенности планировки города не позволяют полностью избежать наложений маршрутов городского пассажирского транспорта, однако, их число может быть значительно уменьшено без снижения мобильности населения.

Разработка новой маршрутной сети осуществляется путем проведения многошагового компьютерного эксперимента, который заключается в последовательном выполнении прогонов модели с различными вариантами маршрутов. Далее, комбинируя оптимальные маршруты для рассчитанных ранее матриц корреспонденций в каждом направлении, принимаются управленческие решения по изменению маршрутов следования, подбору наиболее оптимального ПС на каждом из маршрутов и количества ТС, задействованных на каждом маршруте. Проспект Набережночелнинский, являющийся главной продольной магистралью города, – один из участков УДС, на котором необходимо минимизировать наложение маршрутов. Учитывая это, было спроекти-

ровано 15 маршрутов, соединяющих четыре основных параллельных проспекта Нового Города между собой (с помощью поперечных маршрутов), а также с районами ЗЯБ, ГЭС, Элеваторная гора, Сидоровка, Замелекесье, БСИ (таблица 4.4). На рисунке 4.16 указаны номера маршрутов, проходящих по рассматриваемому участку при существующей автобусной маршрутной сети, а на рисунке 4.17 – при модернизированной.



Рисунок 4.16 – Схема существующей маршрутной сети

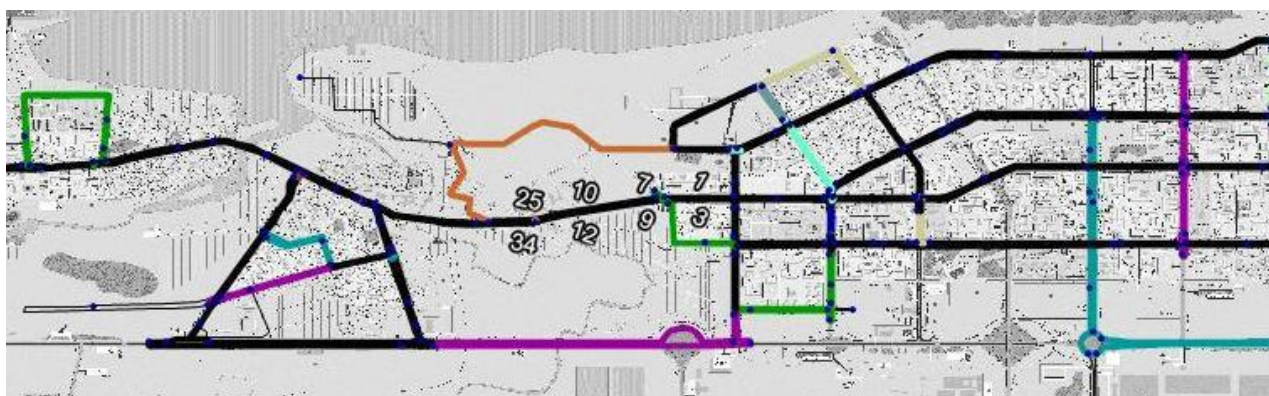


Рисунок 4.17 – Схема предлагаемой маршрутной сети

При составлении расписания движения уменьшение числа маршрутов, проходящих через одни и те же остановочные пункты, было компенсировано заменой части ТС малой вместимости автобусами большой вместимости, а также увеличением частоты движения ТС на разработанных маршрутах. Так, в часы-пик интервалы движения автобусов составляют 3-4 минуты, в периоды спада пассажиропотока – 5-6 минут, после 22.00 – 10-15 минут.

Основные достоинства предлагаемой маршрутной сети:

- По участку Набережночелнинского проспекта будет проходить 8 маршрутов вместо существующих 20 (без потери возможности пассажиров добраться в любую точку города).

Таблица 4.4 – Разработанные автобусные маршруты

№ п/п	Путь следования	№ существующих маршрутов	Протяженность, км
1	Мясокомбинат – пр. Чулман – ул. Ш.Усманова	25, 43, 424	39,4
2	Мясокомбинат – ост. Челныгорстрой – Элеваторная гора – ул. Раскольникова – ост. 37й комплекс	8 (частично)	14,7
3	Мясокомбинат – Сармановский тракт - Земелекесье – Казанский пр. – ул. Низаметдинова – ост. Бумажников	2, 6 (частично)	19,4
4	Мясокомбинат – пр. Сююмбике – пр. Яшьлек – ул. Алиша	10, 10А, 305	20,2
5	Мясокомбинат – пр. Мира – ул. Алиша	7, 7А, 22, 205, 211, частично: 203, 206, 213	18,2
6	Мясокомбинат – пр. Московский – Кузнечный	1А, 1Б	21,9
7	ост. Пожарное депо – ул. Ак. Королева – ул. Раскольникова – ул. Беяева – пр. Московский – Кузнечный	нет	14,9
8	ост. Дом обуви – Сармановский тракт – Земелекесье – ул. Хади Такташа – ул. Низаметдинова – Казанский пр. – ул. Ак. Королева – пр. Московский – пр. Автозаводский – пр. Чулман – ост. 50й комплекс	109 (частично), 209 (частично)	22,4
9	ост. Дом обуви – Сармановский тракт – Земелекесье – Казанский пр. – ул. Низаметдинова – ул. Ак. Королева – ул. Раскольникова – пр. Др. Народов – пр. Чулман – пр. Яшьлек – ул. Алиша – Залесный пр. – пр. В. Полякова – пр. Яшьлек – Кузнечный	304 (частично), 206 (частично)	34,5
10	ост. Дом обуви – Сармановский тракт – ул. Жукова – ул. Комарова – ул. Хади Такташа – ул. Низаметдинова – пр. Сююмбике – пр. Вахитова – ул. Машиностроительная – IT-парк – Кузнечный	212 (частично), 207 (частично) 307 (частично)	18,8
11	ост. пр. Сююмбике – пр. Др. Народов – пр. Московский – пр. В. Полякова	204 (частично)	12
12	ул. Татарстан – пр. Сююмбике – пр. Яшьлек – пр. Московский – пр. Др. Народов – ул. Ахметшина – ул. Ак. Королева – ул. Нариманова – пр. Набережночелнинский – ул. Батенчука – ул. Комсомольская Набережная – ул. Гидростроителей	307 (частично)	21
13	пр. Чулман – ул. Беяева – пр. Мира	16	12,2
14	ост. 12й комплекс – ул. Раскольникова – пр. Чулман – пр. Др. Народов – пр. Мира – ул. Алиша	нет	12,4
15	ул. Алиша – пр. Мира – пр. Мусы Джалиля – Казанский пр. – Сармановский тракт – БСИ	нет	27,3

– По ул. Магистральная будет проходить 6 маршрутов вместо существующих 11, при этом район Сидоровка будет соединен со всеми четырьмя проспектами Нового города, с новым жилым районом на ул. Раскольникова, а также с районами ЗЯБ, ГЭС, Элеваторная гора и Замелекесье.

– Разработаны поперечные маршруты, в частности, маршрут, соединяющий пр. Мира и пр. Чулман (при существующей маршрутной сети респонденты отмечают потребность в этом маршруте).

– Разработан маршрут, связывающий продольную магистраль города, включающую в себя пр. Мира, пр. Набережночелнинский и пр. Мусы Джалиля, с зоной БСИ.

#### 4.4.2 Перераспределение транспортных потоков и прогнозирование

Для прогнозирования транспортных нагрузок на участках УДС города при предлагаемой маршрутной сети была проведена процедура перераспределения транспортного движения в городе. Результаты представлены на рисунках 4.18-4.22. На рисунках 4.23 и 4.24 графически представлена интенсивность движения на участках УДС в сутки (при существующей и предлагаемой маршрутной сети соответственно).

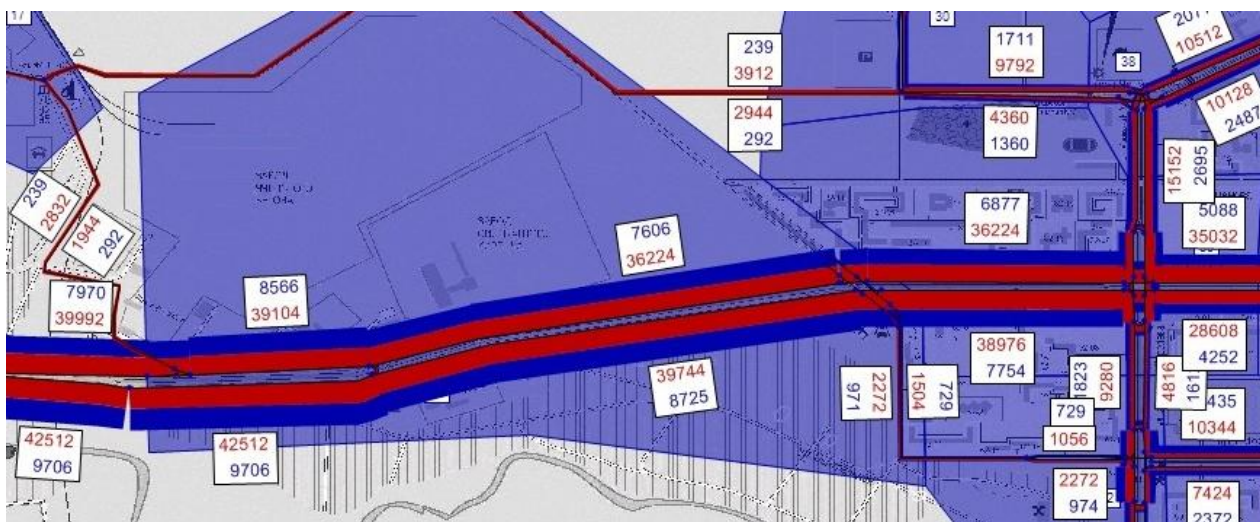


Рисунок 4.18 – Картограмма прогнозируемых транспортных нагрузок (Набережночелнинский проспект)

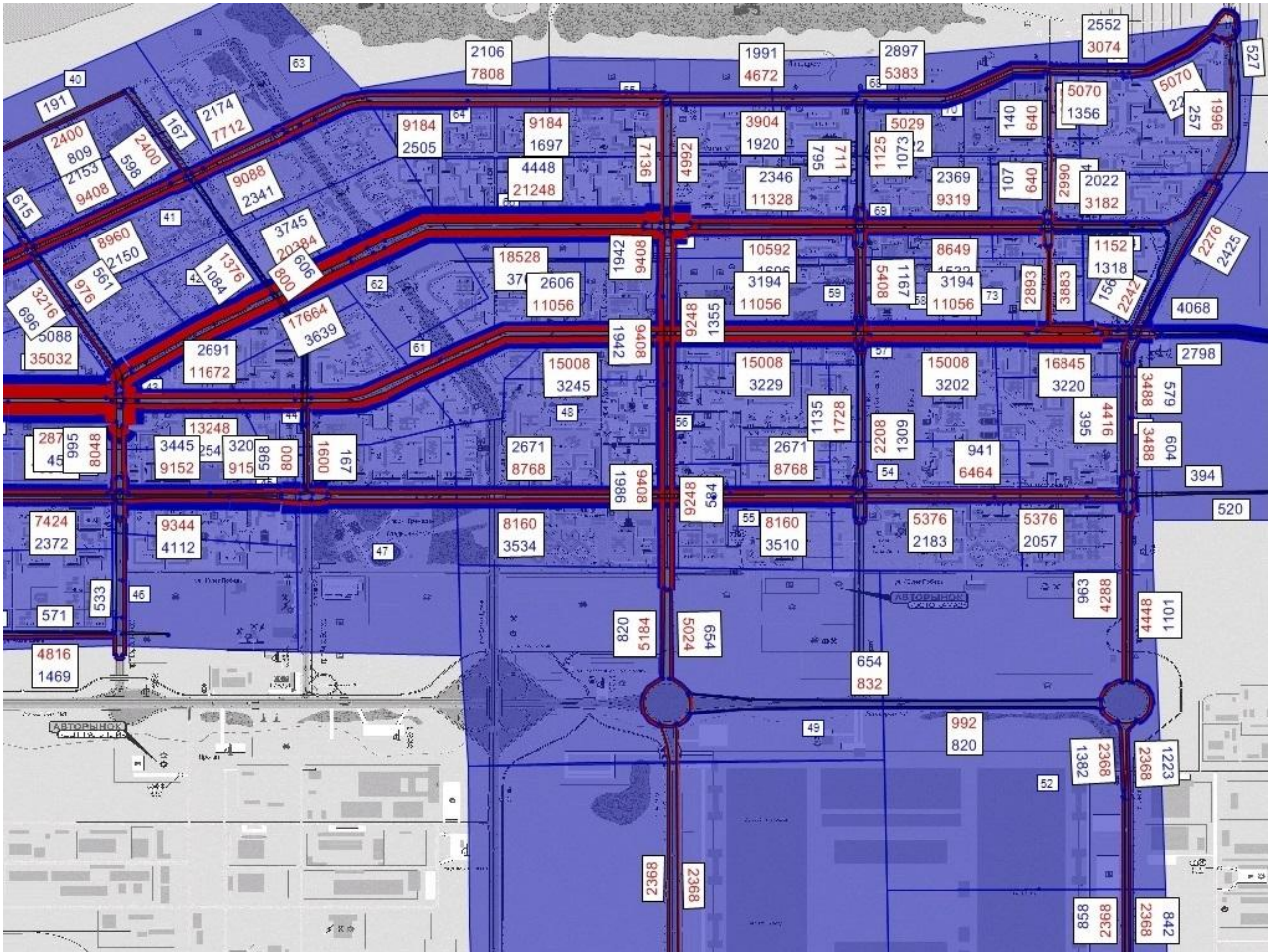


Рисунок 4.19 – Картограмма прогнозируемых транспортных нагрузок (Новый город)

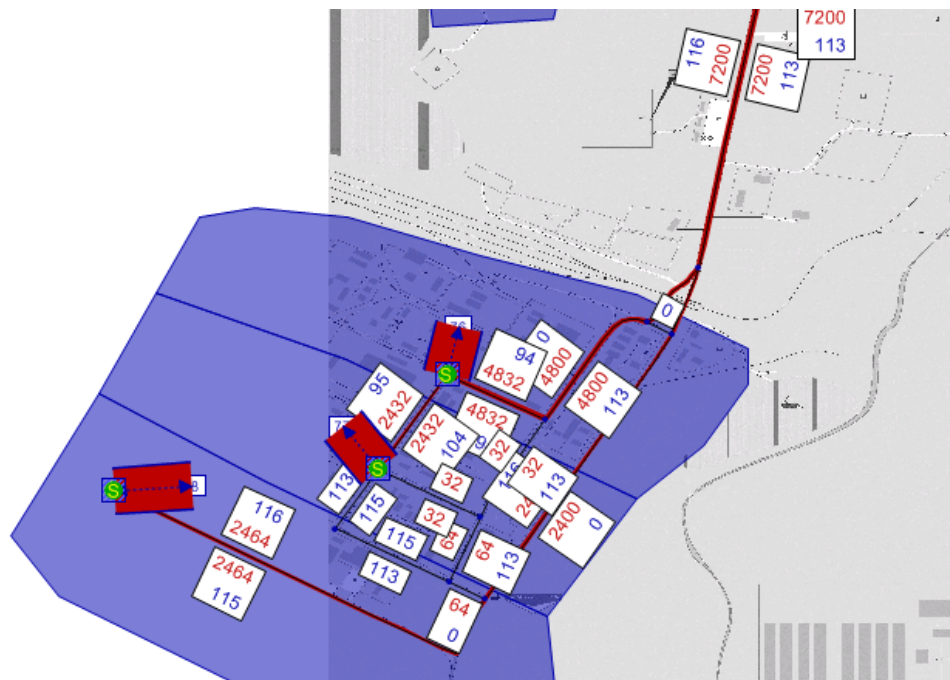


Рисунок 4.20 – Картограмма прогнозируемых транспортных нагрузок (район БСИ)

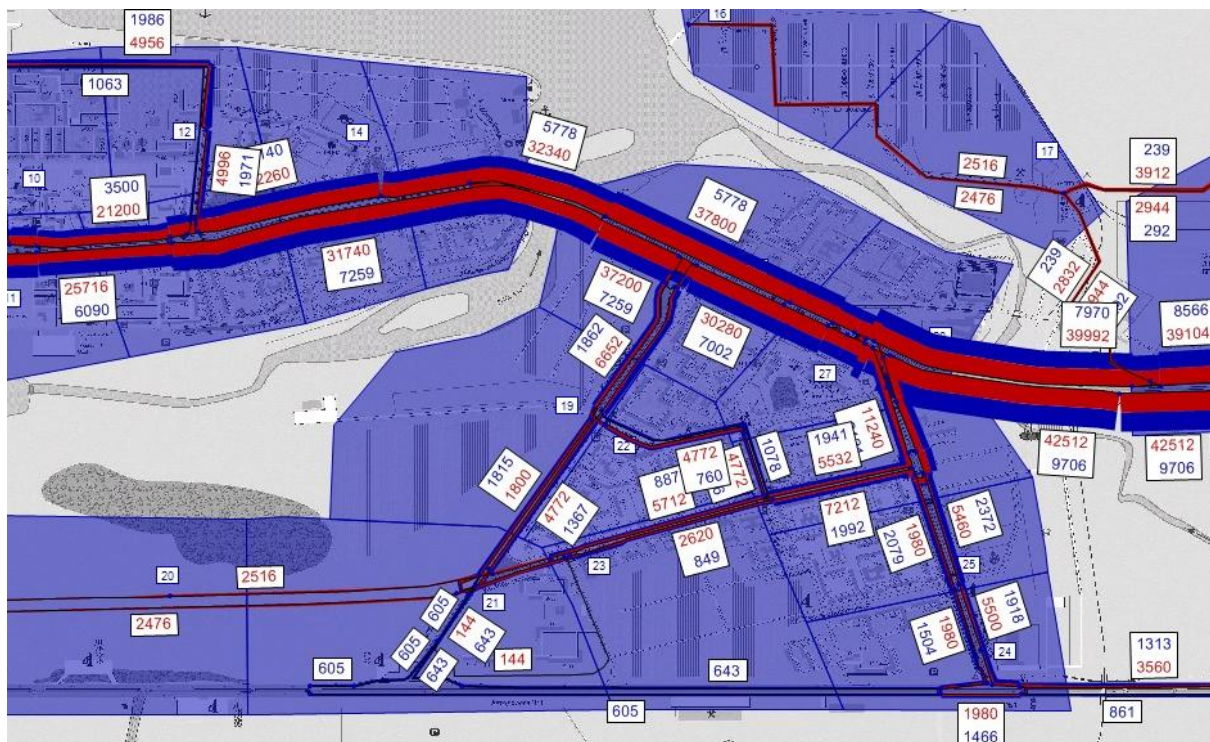


Рисунок 4.21 – Картограмма прогнозируемых транспортных нагрузок (ЗЯБ)

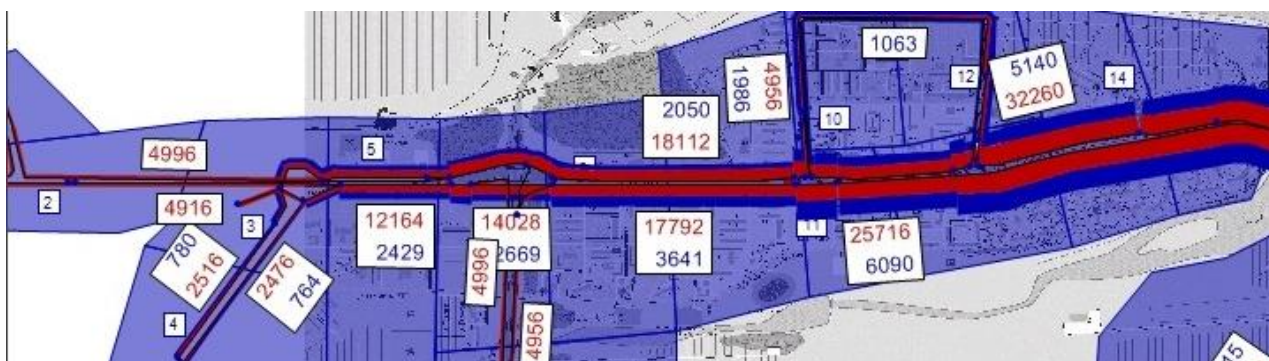


Рисунок 4.22 – Картограмма прогнозируемых транспортных нагрузок (ГЭС)

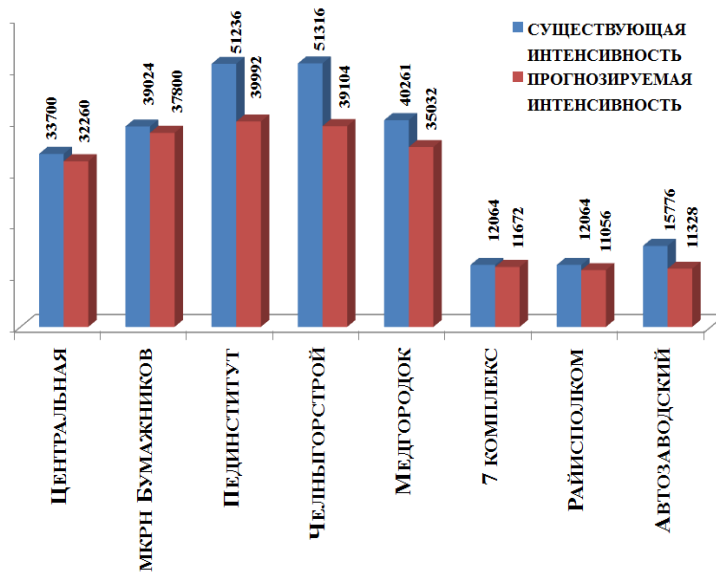


Рисунок 4.23 – Интенсивность движения частных ТС (в сторону ГЭСа)

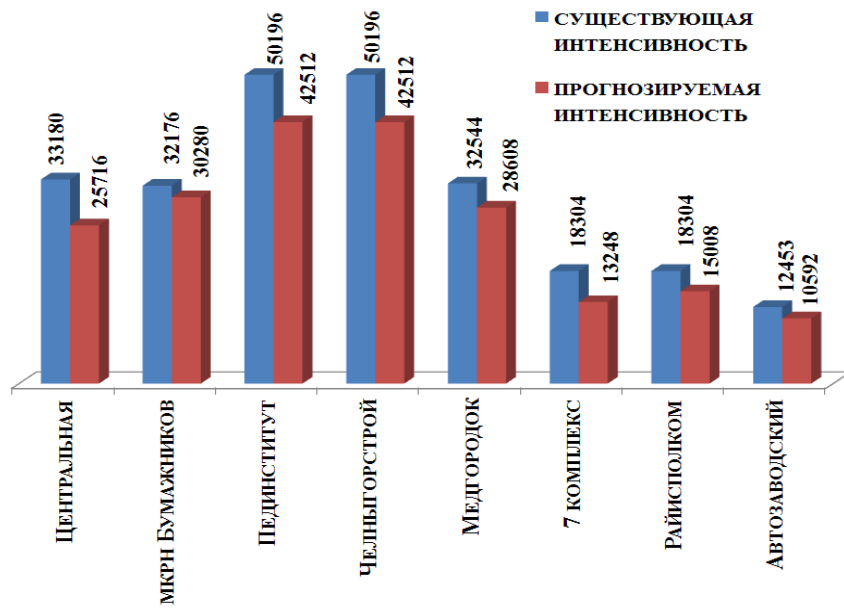


Рисунок 4.24 – Интенсивность движения частных ТС (в сторону Нового города)

Проведенный эксперимент на модели является реалистичным вариантом прогноза, когда сравнительно небольшой процент населения отдаст предпочтение общественному транспорту вместо личных автомобилей. Однако, согласно результатам проведенного анкетирования около 70% автомобилистов готовы отказаться от использования личных автомобилей в пользу более устойчивых видов транспорта при условии совершенствования маршрутной сети и оптимизации структуры парка на маршрутах. Для моделирования оптимистичного прогноза в транспортную модель спроса были введены измененные коэффициенты распределения поездок по видам транспорта, результаты распределения транспортной нагрузки при оптимистичном прогнозе представлен на рисунке 4.25б.



Рисунок 4.25 – Распределение транспортной нагрузки  
 а) при существующем пассажиропотоке и маршрутной сети;  
 б) при прогнозируемом пассажиропотоке (оптимистичный прогноз)

#### 4.4.3 Подбор оптимального парка ТС на маршруты

При подборе оптимального ТС необходимо минимизировать его возможный вклад в образование заторовых ситуаций, учитывая при этом транспортный спрос населения [113]. Для этого была использована процедура RTV VISUM «Создание оборотов», которая позволяет определить оптимальное количество необходимых ТС для каждого маршрута, минимизируя возникающие затраты. Кроме того, при моделировании учитывалось, что для распределения по маршрутам доступно 119 автобусов большой вместимости и почти 400 автобусов малой вместимости. Результаты моделирования показали, что число автобусных маршрутов г. Набережные Челны может быть снижено с 27 до 15. При этом количество ТС и их интервал движения на маршрутах подбираются таким образом, чтобы даже при возрастании потребности в автобусных перевозках, ее можно было бы удовлетворить. Число ТС на маршрутах снижается вследствие увеличения доли автобусов большой вместимости на газомоторном топливе (Нефаз 5299 вместимостью 116 ч.) [114] (таблица 4.5).

Таблица 4.5 – Количество ТС на маршрутах и интервалы движения в час-пик

№ п/п	Путь следования	Число ТС на маршруте		I, мин
		большой вместимости (116 ч)	малой вместимости (18 ч)	
1	Мясокомбинат – пр. Чулман – ул. Ш.Усманова	25	9	4
2	Мясокомбинат – ост. Челныгорстрой – Элеваторная гора – ул. Раскольников – ост. 37й комплекс	0	12	4
3	Мясокомбинат – Сармановский тракт - Замелекесье – Казанский пр. – ул. Низаметдинова – ост. Бумажников	1	11	5
4	Мясокомбинат – пр. Сююмбике – пр. Яшьлек – ул. Алиша	11	7	3
5	Мясокомбинат – пр. Мира – ул. Алиша	13	5	3
6	Мясокомбинат – пр. Московский – Кузнечный	10	11	3
7	ост. Пожарное депо – ул. Ак. Королева – ул. Раскольников – ул. Беляева – пр. Московский – Кузнечный	2	12	3
8	ост. Дом обуви – Сармановский тракт – Замелекесье – ул. Хади Такташа – ул. Низаметдинова – Казанский пр. – ул. Ак. Королева – пр. Московский – пр. Автозаводский – пр. Чулман – ост. 50й комплекс	11	11	3



№ п/п	Путь следования	Число ТС на маршруте		I, мин
		большой вме- стимости (116 ч)	малой вмести- мости (18 ч)	
9	ост. Дом обуви – Сармановский тракт – Замелекесье – Казанский пр. – ул. Низаметдинова – ул. Ак. Королева – ул. Раскольниково – пр. Др. Народов – пр. Чулман – пр. Яшьлек – ул. Алиша – Залесный пр. – пр. В. Полякова – пр. Яшьлек – Кузнечный	6	21	4
10	ост. Дом обуви – Сармановский тракт – ул. Жукова – ул. Комарова – ул. Хади Такташа – ул. Низаметдинова – пр. Сююмбике – пр. Вахитова – ул. Машиностроительная – IT-парк – Кузнечный	8	5	4
11	ост. пр. Сююмбике – пр. Др. Народов – пр. Московский – пр. В. Полякова	4	8	3
12	ул. Татарстан – пр. Сююмбике – пр. Яшьлек – пр. Московский – пр. Др. Народов – ул. Ахметшина – ул. Ак. Королева – ул. Нариманова – пр. Набережночелнинский – ул. Батенчука – ул. Комсомольская Набережная – ул. Гидростроителей	18	1	3
13	пр. Чулман – ул. Беляева – пр. Мира	5	5	4
14	ост. 12й комплекс – ул. Раскольниково – пр. Чулман – пр. Др. Народов – пр. Мира – ул. Алиша	4	7	3
15	ул. Алиша – пр. Мира – пр. Мусы Джалиля – Казанский пр. – Сармановский тракт – БСИ	1	2	27
<b>ИТОГО</b>		<b>119</b>	<b>127</b>	

При предлагаемой схеме движения количество автобусов большой вместимости составит 119 ед. (вместо 19, эксплуатировавшихся ранее), а малой вместимости – 127 ед. (вместо порядка 400 автобусов малой и средней вместимости). Несмотря на уменьшение числа ТС на маршрутах, частота движения в часы пик увеличится (интервал движения в часы пик составит 3-4 минуты), а в периоды спада пассажиропотока останется прежней: интервал движения составит 6 минут.

#### 4.5 ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ

1. В результате анализа системы городских пассажирских перевозок г. Набережные Челны выявлены ключевые проблемы, обусловленные, в частности, прямоугольно-линейной планировочной структурой города, а также несоответствием существующего транспортного предложения транспортным потребностям населения.

2. Разработана анкета и проведено выборочное исследование транспортной мобильности населения города. Выявлено, что 17,4% водителей частных автомобилей готовы пользоваться общественным транспортом при наличии нужного беспересадочного маршрута..

3. Построена транспортная модель г. Набережные Челны: создана модель транспортной сети, осуществлено разделение территории города на условные транспортные районы, произведен расчет матриц корреспонденций между ними и последующее определение транспортных нагрузок на улично-дорожную сеть города.

4. Проведены выборочные натурные исследования транспортных потоков на наиболее аварийноопасных перекрестках, результаты представлены в Приложении Ж. Поскольку результаты моделирования коррелируются с данными натурных исследований (коэффициент корреляции Пирсона равен 0,98), был сделан вывод об адекватности построенной транспортной модели и о возможности выработки рекомендаций по оптимизации маршрутной сети и парка ПС на ее основании.

5. Апробирован метод оптимизации маршрутной сети автобусного транспорта: число автобусных маршрутов уменьшилось с 27 до 15 благодаря исключению (насколько это возможно) наложения маршрутов. В то же время разработаны новые маршруты, потребность в которых была выявлена в результате опроса населения.

6. Подобран оптимальный подвижной состав для каждого маршрута. Число транспортных средств на маршрутах может быть снижено вследствие увеличения доли автобусов большой вместимости. При предлагаемой схеме движения количество автобусов большой вместимости составит 119 ед. (вместо 19 при существующей схеме), а малой вместимости – 127 ед. (вместо около 400 автобусов малой и средней вместимости). При этом интервалы движения ТС на маршрутах по сравнению с существующей схемой организации движения будут либо сокращены, либо останутся прежними.

## 5 ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 5.1 ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОБУСНЫХ ПЕРЕВОЗОК ПРИ ПРЕДЛАГАЕМОЙ СХЕМЕ ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ

Эффективность предлагаемого решения складывается из четырех составляющих: положительный социальный эффект, экономическая целесообразность, повышение экологичности и устойчивости транспортной системы города.

#### 5.1.1 Экономическая целесообразность предлагаемого решения

Экономический эффект может быть рассчитан как экономия затрат на горюче-смазочные материалы (вследствие снижения числа ТС, суммарного пробега на маршрутах и эксплуатации автобусов, работающих на газомоторном топливе) в расчете на одного перевезенного пассажира:

$$З = \sum_{k=0}^3 \frac{L_k \cdot P_k \cdot Ц_k}{100 \cdot N_k \cdot q_k}, \quad (5.1)$$

где  $k$  – тип автобусов, использующихся на маршруте: при  $k=1$  – автобусы малой вместимости (18 чел.), работающие на дизельном топливе; при  $k=2$  – автобусы большой вместимости (116 чел.), работающие на дизельном топливе; при  $k=3$  – автобусы большой вместимости, работающие на газомоторном топливе;

$L_k$  – суммарный пробег всех автобусов типа  $k$ , км;

$P_k$  – расход топлива автобусами типа  $k$ , руб/100 км;

$Ц_k$  – цена топлива, используемого автобусами типа  $k$ , руб.;

$N_k$  – число автобусов типа  $k$ ;

$q_k$  – пассажироместимость автобуса типа  $k$ , чел.

При существующей схеме организации движения:

$$З_{\text{сущ}} = \frac{14875,5 \cdot 10 \cdot 36}{100 \cdot 400 \cdot 18} + \frac{690,1 \cdot 55 \cdot 11}{100 \cdot 19 \cdot 116} \approx 7,43 + 1,89 \approx 9,32 \text{ руб / пас.}$$

При предлагаемой схеме организации движения при замене части автобусов малого класса автобусами большой вместимости на дизельном топливе:

$$Z_{предл} = \frac{2780,8 \cdot 10 \cdot 36}{100 \cdot 127 \cdot 18} + \frac{2879,7 \cdot 26,5 \cdot 36}{100 \cdot 119 \cdot 116} \approx 4,38 + 1,99 \approx 6,37 \text{ руб} / \text{пас.}$$

При предлагаемой схеме организации движения при замене части автобусов малого класса автобусами большой вместимости на газомоторном топливе:

$$Z_{предл} = \frac{2780,8 \cdot 10 \cdot 36}{100 \cdot 127 \cdot 18} + \frac{2879,7 \cdot 55 \cdot 11}{100 \cdot 119 \cdot 116} \approx 4,38 + 1,22 \approx 5,60 \text{ руб} / \text{пас.}$$

### 5.1.2 Оценка социального эффекта внедрения предлагаемого решения

Положительный социальный эффект может быть оценен объемом перевезенных пассажиров, а также снижением временных задержек, связанных со временем ожидания ТС, временем простоя ТС на ОП и в заторах. Для того, чтобы объединить частные значения времени доставки пассажиров между каждой парой транспортных районов в единый показатель социальной эффективности, их необходимо привести к единой базе (на одного перевезенного пассажира):

$$K_{соц} = \frac{\sum t_{l-m}^{дост}}{\sum_{k=1}^2 N_k \cdot q_k}, \quad (5.2)$$

где  $l$  – порядковый номер района отправления,

$m$  – порядковый номер района прибытия,

$t_{l-m}^{дост}$  – время доставки пассажиров из района  $l$  в район  $m$ , мин.

Расчет времени доставки между каждой парой транспортных районов выполнялся на модели как для существующей, так и для предлагаемой схем движения. При существующей схеме организации движения:

$$K_{соц}^{сущ} = \frac{138544}{400 \cdot 18 + 19 \cdot 116} = \frac{138544}{9404} = 14,73 \text{ мин} / \text{пас.}$$

При предлагаемой схеме организации движения:

$$K_{соц}^{предл} = \frac{134251}{127 \cdot 18 + 119 \cdot 116} = \frac{134251}{16090} = 8,34 \text{ мин} / \text{пас.}$$

Снижение времени доставки пассажиров обусловлено, в частности, устранением задержек ТС на ОП в ожидании посадки/высадки, что связано с со-

кращением наложений маршрутов и частичной заменой автобусов малого класса автобусами большой вместимости. При существующей схеме организации движения, когда через один ОП проходит около 20 различных маршрутов, на нем одновременно может оказаться 5-10 автобусов. При предлагаемой схеме организации за счет снижения количества маршрутов, проходящих через каждый ОП, 1 автобус вместимостью 116 человек может заменить 6 ТС вместимостью 18 человек. Для количественного выражения было выполнено сравнение максимального времени простоя ТС каждого вида на ОП при высадке 116 человек и последующей посадке этого же числа пассажиров:

а) автобус вместимостью 116 человек:

$$t_{\text{оп}} = \frac{(116 + 116) \cdot 1,2}{3} = 93 \text{сек} \approx 1,55 \text{мин};$$

б) автобус вместимостью 18 человек:

$$t_{\text{оп}} = 6 \cdot \frac{(18 + 18) \cdot 1,2}{1} + \frac{(8 + 8) \cdot 1,2}{1} = 259,2 + 19,2 = 278 \text{сек} \approx 4,64 \text{мин}.$$

Для сравнения минимального времени простоя ТС каждого вида на ОП было рассчитано время высадки и последующей посадки 1 человека:

а) автобус вместимостью 115 человек:

$$t_{\text{оп}} = \frac{(1 + 1) \cdot 1,2}{3} = 0,8 \text{сек} = 0,013 \text{мин};$$

б) автобус вместимостью 18 человек:

$$t_{\text{оп}} = \frac{(1 + 1) \cdot 1,2}{1} = 2,4 \text{сек} = 0,04 \text{мин}.$$

Таким образом, введение в эксплуатацию автобусов большой вместимости может сократить время на посадку-высадку в среднем в 2 раза.

Положительный социальный эффект также заключается в возможности снижения количества ДТП, происходящих в связи с превышением транспортной нагрузки на участках улично-дорожной сети. Это подтверждается актами внедрения предлагаемого алгоритма принятия решений в работу органов ГИБДД (Приложение И).

### 5.1.3 Оценка экологической эффективности

Экологическая эффективность обеспечивается двумя путями: снижением общего числа автобусов, проходящих по проблемным участкам УДС, а также заменой автобусов на дизельном топливе более экологичными автобусами, работающими на метане. Объемы загрязняющих веществ (ЗВ) рассчитывались по формуле:

$$V_{ЗВ} = \sum_{k=0}^3 \frac{N_k \cdot H_k}{1000}, \quad (5.3)$$

где  $H_k$  – содержание ЗВ в отработавших газах двигателей, г, (по данным доклада ООО «РариТЭК» [115]).

В таблице 5.1 представлены значения выбросов при существующей схеме движения, при предлагаемой схеме движения с использованием автобусов большой вместимости на дизельном и на газомоторном топливе.

Таблица 5.1 – Объемы загрязняющих веществ, кг/сут

Наименование загрязняющего вещества	Объемы выбросов при схеме организации движения		
	существующей	предлагаемой с использованием больших автобусов	
		на ДТ	на метане
СО	569,1	472,7	330,9
NO <sub>x</sub>	1117,3	945,4	530,8
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	3956,9	3437,8	1266,7
Сажа	3646,3	3008,0	2260,7

### 5.1.4 Повышение устойчивости транспортной системы города

Положительное влияние предложенного решения на устойчивость транспортной системы можно оценить с точки зрения приближения параметров предлагаемой схемы организации движения к целевым значениям системы, рекомендуемым в различных нормативных документах. Для этого был разработан интегральный показатель и использован метод «радара» [116, 117].

В различных источниках [42, 68, 118, 119] выделяют различные показатели эффективности работы пассажирского транспорта в городе, а также указывают их рекомендуемые значения. В таблице 5.2 представлены шесть ос-

новых показателей эффективности, наиболее полно отражающие целевой функционал модели.

Таблица 5.2 – Сравнение значений основных показателей эффективности

Показатель	Существующая схема	Предлагаемая схема	Рекомендуемое значение
Средняя длина маршрутов	36,8	20,6	12
Оценка вероятности наступления риска, в связи с которым снизится время доставки	3	2	2
Коэффициент максимальной загрузки продольной магистрали	1,02	0,93	не более 1
Средний коэффициент непрямолинейности	1,48	1,45	1,42
Среднее время доставки пассажиров между транспортными районами	0,53	0,48	не более 0,62 ч

Средняя протяженность маршрутов определяется по формуле:

$$l_{cp}^M = \frac{\sum_{i=1}^n l_i^M}{n}, \quad (5.4)$$

где  $\sum_{i=1}^n l_i^M$  – общая протяженность маршрутной сети, км;

$n$  – общее число маршрутов.

Оценка вероятности наступления риска, в связи с которым снизится время доставки, осуществлялась экспертами: для существующей маршрутной сети, исходя из имеющегося опыта функционирования этой сети, для предлагаемой маршрутной сети – исходя из данных о прогнозируемом снижении транспортной нагрузки на участках УДС.

Коэффициент максимальной загрузки определяется на проблемном участке города (пр. Набережночелнинский, ост. Челныгорстрой) по формуле:

$$k_{загрузка}^{max} = \frac{I_{max}}{P}, \quad (5.5)$$

где  $I_{max}$  – максимальная часовая интенсивность движения ТС на участке, авт./час;

$P$  – пропускная способность участка, авт./час.

Средний коэффициент непрямолинейности рассчитывается по формуле:

$$\rho_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n l_i^M}{\sum_{i=1}^n l_i^0}, \quad (5.6)$$

где  $\sum_{i=1}^n l_i^M$  – общая протяженность маршрутной сети, км;

$l_i^0$  – кратчайшее расстояние между конечными пунктами  $i$ -го маршрута, км.

Среднее время доставки пассажиров между транспортными районами определяется по формуле:

$$t_{cp} = \frac{\sum_{i=1, j=1}^m l_{ij}}{m}, \quad (5.7)$$

где  $\sum_{i=1, j=1}^m l_{ij}$  – сумма времени перемещения пассажиров между каждой парой

транспортных районов, ч;

$m$  – общее число транспортных районов.

Для построения «радаров эффективности» значения показателей необходимо нормализовать (таблица 5.3).

Таблица 5.3 – Приведенные значения основных показателей эффективности

Показатель	Существующая схема	Предлагаемая схема	Рекомендуемое значение
Средняя длина маршрутов	0,47	0,70	0,83
Оценка вероятности наступления риска, в связи с которым снизится время доставки	0,57	0,71	0,71
Коэффициент максимальной загрузки продольной магистрали	0,65	0,68	0,66
Средний коэффициент непрямолинейности	0,66	0,67	0,67
Среднее время доставки пассажиров между транспортными районами	0,67	0,70	0,62

Чем больше площадь, которую занимает радар (рисунок 5.1), тем эффективнее маршрутная сеть с точки зрения ее устойчивости. При этом интегральный показатель эффективности, рассчитываемый по формуле (5.8), стремится к единице.



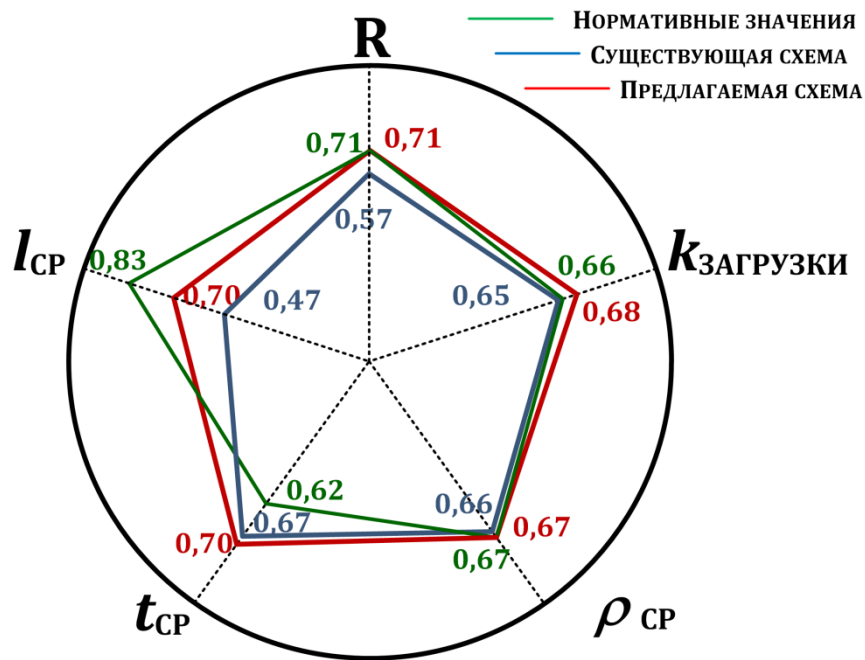


Рисунок 5.1 – «Радар эффективности» маршрутных схем

$$K = \frac{S_p}{S}, \quad (5.8)$$

где  $S_p$  – площадь радара;

$S$  – общая площадь оценочного круга.

Площадь радара рассчитывается по формуле (5.9):

$$S_p = \frac{1}{2} \cdot \sin \alpha \cdot (a_1 \cdot a_2 + a_2 \cdot a_3 + \dots + a_{n-1} \cdot a_n + a_n \cdot a_1), \quad (5.9)$$

где  $a_1, \dots, a_n$  – приведенные значения показателей;

$\alpha$  – угол между ближайшими показателями, рассчитываемый по формуле:

$$\alpha = \frac{360}{n}, \quad (5.10)$$

где  $n$  – число показателей.

Значения площадей радаров равны 0,872, 1,147 и 1,162 для существующей схемы, предлагаемой схемы и рекомендуемых значений соответственно.

Поскольку значение площади радара разработанной маршрутной сети практически равно значению площади радара рекомендуемых значений и на 32% больше, чем для существующей схемы, предлагаемые управленческие решения эффективны.

## **5.2 АНАЛИЗ РИСКОВ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ГОРОДСКИМИ АВТОБУСНЫМИ ПЕРЕВОЗКАМИ**

Функционирование сложных систем всегда сопряжено с рисками. Это в особенности актуально для транспортных систем. Поскольку реализация предложений по совершенствованию городских автобусных перевозок требует инвестиций, это сопряжено с рисками, поэтому каждое управленческое решение должно быть рассмотрено также и с позиций управления рисками.

Управление рисками – это процессы, связанные с прогнозированием, анализом рисков и разработкой решений по минимизации отрицательного влияния возможных последствий. Специфика управления рисками в транспортных системах заключается в сложности их прогнозирования, т.к. аварийная ситуация потенциально может возникнуть в любой точке маршрута, а одни и те же события могут привести к абсолютно разным последствиям [120].

В большинстве работ [121, 122, 123, 124], связанных с оценкой рисков, принято процесс управления рисками подразделять на 4 этапа:

1) Идентификация рисков. На этом этапе происходит классификация и определение потенциальных рисков при управлении транспортной системой.

2) Оценка рисков. На втором этапе определяются вероятности того или иного риска, определенного на первом этапе, и выявляются их последствия. Для достижения этой цели используются статистические данные прошлых лет, а также предыдущий опыт.

3) Выбор способа снижения риска. К основным методам управления рисками относятся: перенос риска, его предотвращение, смягчение возможных последствий, а также принятие риска.

4) Мониторинг рисков осуществляется для своевременного реагирования на изменения в системе и оценки эффективности управления рисками.

### **5.2.1 Идентификация рисков при управлении городским транспортом**

Эффективность управленческих решений в сфере организации автобусных перевозок во многом зависит от прогнозирования и правильной классификации рисков [125]. Поскольку основной функцией городского пассажир-

ского транспорта является обеспечение мобильности населения, основным риском организатора пассажирских перевозок является риск невыполнения социальных обязательств перед населением.

Для более точной идентификации рисков необходим их анализ в разрезе владельцев риска, сфер возникновения и перспектив развития [126] (рисунок 5.2). В таблице 5.6 представлены результаты анализа рисков с позиции муниципального органа управления городским пассажирским транспортом.

### 5.2.2 Оценка выявленных рисков

Риск как физическая категория должен оцениваться через двумерное множество показателей: меру неопределенности появления негативного результата (вероятность риска) и меру последствий или ущерба [127].

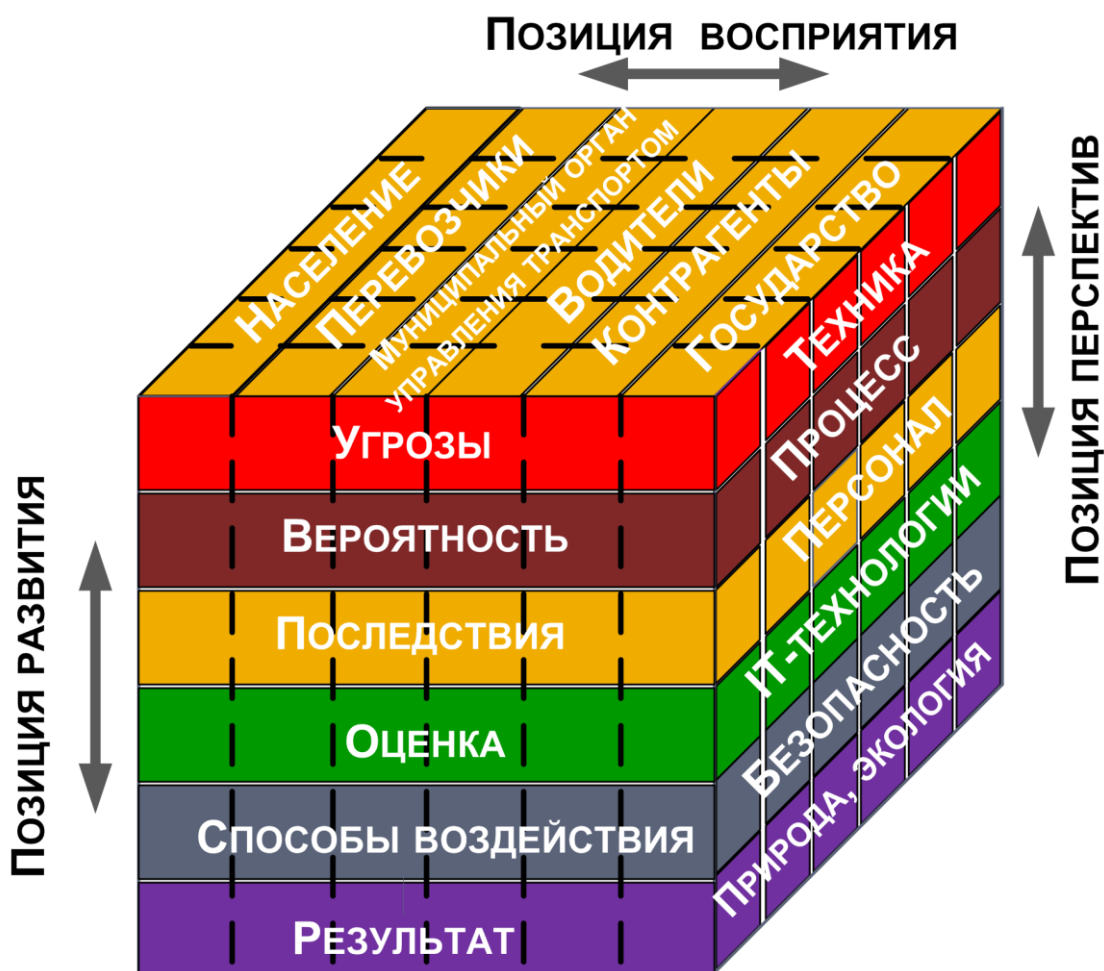


Рисунок 5.2 – Куб взаимосвязи между компонентами процесса управления рисками, его участниками и владельцами

Эти данные служат исходной информацией для последующего количественного анализа рисков, который может быть реализован объективным или субъективным методом. Объективный метод, естественно, предпочтительнее, поскольку исключает ошибки, связанные с человеческим фактором (подробно такие ошибки описаны в [128]). В связи с тем, что перевозка пассажиров г. Набережные Челны осуществляется, в основном, частными перевозчиками, в Отделе транспорта города отсутствует обширная и достаточно надежная статистическая информация, необходимая для оценки рисков объективным методом. В таких условиях вероятность риска может быть определена субъективным методом, который в большинстве случаев основывается на экспертном мнении не менее 10 специалистов, компетентных в данном направлении.

Существует большое количество методов оценки рисков: спираль («роза») рисков, SWOT-анализ, кривая риска, анализ чувствительности и т.д. Для последующего определения способа воздействия наиболее оптимальным методом в нашем случае является построение матрицы рисков. Для этого 10 экспертам (работники Отдела транспорта г. Набережные Челны и частные перевозчики, работающие в сфере пассажирских перевозок не менее 5 лет) было предложено оценить вероятность наступления каждого риска в соответствии с таблицей 5.4, а размер потенциального ущерба каждого события – в соответствии с таблицей 5.5.

Таблица 5.4 – Оценка вероятности наступления риска

<b>Вероятность наступления риска</b>	Крайне низкая вероятность	Низкая вероятность	Риск возможен	Высокая вероятность	Крайне высокая вероятность
<b>Уровень риска</b>	1	2	3	4	5

Таблица 5.5 – Оценка риска по потенциальному ущербу

<b>Последствия</b>	Без последствий	Малые	Значительные	Критические	Катастрофические
<b>Уровень ущерба</b>	1	2	3	4	5

Затем полученные значения для каждого риска были перемножены, результаты внесены в таблицу 5.6 и на их основании была построена матрица уровней риска, представленная на рисунке 5.3. Поскольку в таблице 5.5 неко-

торые риски имеют несколько последствий с разным уровнем ущерба, оценка уровня риска в целом осуществлялась по максимальному значению. На рисунке 5.3 цифры в центре каждой клетки обозначают уровень риска, а цифры в нижнем правом углу клетки – номер риска.

### **5.2.3 Выбор способов воздействия**

Муниципальные органы управления всегда стремятся к снижению возможных потерь, связанных с наступлением риска, вне зависимости от причин его возникновения. В случае городских пассажирских перевозок такие методы, как уклонение и перенос риска, неприемлемы. Разработать меры по смягчению последствий или предотвращению абсолютно всех возможных рисков в силу ограниченности ресурсов довольно затруднительно. Поэтому в первую очередь предлагаются управленческие воздействия для предотвращения или смягчения рисков, оказавшихся в критической (красной) зоне уровня риска, затем – для рисков, оказавшихся в желтой зоне, а риски, оказавшиеся в зеленой зоне, принимаются (рисунок 5.3).

В таблицу 5.6 сведены результаты анализа рисков при управлении городскими автобусными перевозками с позиции Отдела транспорта г. Набережные Челны в разрезе сфер возникновения с указанием точек уязвимости системы, уровней риска, а также предложений по способам управленческих воздействий.

Риски, указанные в таблице 5.6, характерны не только для г. Набережные Челны, но и для большинства российских городов, а потому – предлагаемые решения могут быть распространены и на другие города.

Таблица 5.6 – Оценка рисков при управлении автобусными перевозками

№ п/п	Риск	Уязвимость системы	Оценка вер-ти	Тяжесть последствий	Уровень риска	Способ воздействия
Техника						
1	Плохое состояние транспортных путей	Опасность ДТП	2	4	<b>8</b>	Своевременный ремонт путей сообщения
		Снижение времени доставки		1	2	
2	Использование некачественных запасных частей и расходных материалов	Опасность ДТП	2	4	<b>8</b>	Заключение договоров с надежными контрагентами
		Частые простои в ремонте		3	6	
3	Выход из строя транспортных средств	Опасность ДТП	2	4	<b>8</b>	Регулярное прохождение ТО
		Отказ в перевозке		3	6	Своевременное списание ТС и закупка новых Использование качественных запасных частей и материалов
Процесс						
4	Несоблюдение расписания	Снижение объема перевозок	5	2	10	Внедрение механизмов контроля соблюдения расписания
		Неудовлетворенность транспортной мобильности населения		3	<b>15</b>	Разработка системы оплаты труда водителей, зависящей от точности соблюдения расписания
5	Население отдает предпочтение автобусам малой вместимости	Нерентабельность использования экологически чистых автобусов	3	5	<b>15</b>	Повышение лояльности населения к автобусам большой вместимости путем: - четкого соблюдения расписания; - пропаганды
6	Нарушение обязательств контрагентами	Несвоевременное ТО	2	3	<b>6</b>	Заключение договоров с надежными контрагентами
7	Отсутствие информации у населения о новых маршрутах	Снижение времени доставки	3	3	<b>9</b>	Разработка специальных приложений и сайтов, оповещения в СМИ

№ п/п	Риск	Уязвимость системы	Оценка вер-ти	Тяжесть последствий	Уровень риска	Способ воздействия
8	Маршрутная сеть охватывает не все районы города	Снижение времени доставки	3	3	<b>9</b>	Применение современных информационных технологий для разработки оптимальной маршрутной сети
9	Ошибки при прогнозировании транспортной потребности населения	Снижение времени доставки	3	3	<b>9</b>	Применение современных информационных технологий при прогнозировании спроса
10	Отказ пассажира от оплаты перевозки	Снижение доходов перевозчика	1	3	<b>3</b>	принимается
<b>Персонал</b>						
11	Водитель не прошел предрейсовый медосмотр	Отказ в перевозке по причине отсутствия водителя	2	4	<b>8</b>	Установка алкозамков и других систем контроля состояния водителя
12	Человеческий фактор (плохое настроение, что-то болит)	Опасность ДТП	3	4	<b>12</b>	Прохождение медосмотра перед рейсом, внедрение систем контроля усталости водителя
		Конфликты с пассажирами		1	3	
13	Высокая текучесть персонала	Отказ в перевозке по причине отсутствия водителя	3	3	<b>9</b>	Разработка методов по удержанию высококвалифицированного персонала
		Снижение производительности		2	6	
14	Угрозы забастовок	Отказ в перевозке по причине отсутствия водителя	1	3	<b>3</b>	принимается
15	Низкая квалификация персонала	Опасность ДТП	2	4	<b>8</b>	Оплата труда в зависимости от квалификации
16	Конфликт между сотрудниками	Снижение производительности	1	2	<b>2</b>	принимается

№ п/п	Риск	Уязвимость системы	Оценка вер-ти	Тяжесть последствий	Уровень риска	Способ воздействия
ИТ-технологии						
17	Компьютерные сбои, сбои в сетях связи	Отсутствие четкой организации	2	3	<b>6</b>	Внедрение дублирующих систем
18	Несанкционированный доступ, потеря информации	труда и координации действий	1	3	<b>3</b>	принимается
Безопасность						
19	Массовые беспорядки	Отказ в перевозке	1	3	3	принимается
		Опасность жизни и здоровью пассажиров		4	<b>4</b>	
20	Пожар в ТС	Отказ в перевозке	1	3	3	принимается
		Опасность жизни и здоровью пассажиров		4	<b>4</b>	
21	Кражи, грабежи, поджоги, иные злоумышленные действия	Опасность жизни и здоровью пассажиров	1	4	<b>4</b>	принимается
22	«Гонки» водителей	Опасность ДТП	4	4	<b>16</b>	Оплата труда водителей в зависимости от точности соблюдения расписания и ПДД
23	Несоблюдение ПДД	Опасность ДТП	4	4	<b>16</b>	
Природа, экология						
24	Плохие погодные условия	Отказ в перевозке	2	3	6	Своевременная расчистка снежных заносов на дорогах
		Опасность ДТП		4	<b>8</b>	
25	Негативное воздействие на окружающую среду	Ухудшение экологической ситуации в городе	4	3	<b>12</b>	Повышение лояльности населения к автобусам большой вместимости
						Снижение пробегов ТС
						Исключение из маршрутов ГПТ проблемных участков

Таким образом, для снижения негативного влияния наиболее опасных рисков необходимо внедрение целого комплекса мер, связанных, в первую



очередь, с грамотной организацией труда водителей, а также с повышением лояльности населения к общественному транспорту в целом и к автобусам большой вместимости в частности.

ОЦЕНКА ВЕРоятНОСТИ	Тяжесть последствий				
	1 Без последствий	2 Малые	3 Значительные	4 Критические	5 Катастро- фические
5 Крайне высокая	5	10 4	15	20	25
4 Высокая	4	8	12 25	16 14, 22, 23	20
3 Риск возможен	3	6	9 7, 8, 9, 13	12 12	15 5
2 Низкая вероятность	2	4	6 6, 17	8 1, 2, 3, 11, 15, 24	10
1 Крайне низкая вероятность	1	2 16	3 10, 14, 18	4 19, 20, 21	5

Рисунок 5.3 – Матрица уровней риска

#### 5.2.4 Оценка риска инвестирования в автобусы большой вместимости

Принято считать, что использование автобусов большой вместимости повышает эффективность перевозок, уровень комфорта пассажиров, а также положительно влияет на экологическую ситуацию в городе. Однако введение больших автобусов на маршрут обычно сопряжено с увеличением интервала движения и некоторым снижением скорости движения. Кроме того, жители г. Набережные Челны уже около 10 лет используют для передвижений маршрутные такси малой и средней вместимости и психологически могут быть не готовы к появлению новых типов ТС на маршрутах.

Риск Отдела транспорта г. Набережные Челны будет выражаться в невыполнении социальных обязательств перед населением при нехватке ТС для удовлетворения спроса населения и в риске инвестиций, вложенных в закупку лишних автобусов.

Для анализа выбран маршрут №1 «Мясокомбинат – пр. Чулман – ул. Ш.Усманова», так как он является самым длинным из всех и, соответственно, требует больше автобусов для освоения прогнозного пассажиропотока.

При пессимистичном прогнозе расчетное количество необходимых автобусов большой вместимости составляет 26 единиц. В случае если реальный пассажиропоток окажется больше прогнозируемого, то риск упущенной выгоды будет выражаться в произведении стоимости проезда на число пассажиров, которые не были перевезены в связи с отсутствием потребного числа ТС:

$$Z_{\text{упущ}} = Q_{\text{упущ}} \cdot S, \quad (5.11)$$

где  $Q_{\text{упущ}}$  – количество упущенных пассажиров, чел;

$S$  – стоимость проезда, руб.

В то же время при более низком значении реального потока по сравнению с прогнозируемым существует риск холостых ездов пассажирского транспорта, а, следовательно – закупленные ТС не будут окупаться.

Была произведена оценка экономической эффективности эксплуатации автобусов большой вместимости с учетом рисков (таблица 5.7). При расчете учитывалась необходимость инвестиций в развитие инфраструктуры, в закупку новых ТС для полного удовлетворения транспортной потребности населения и экономия затрат на топливо.

Таблица 5.7 – Оценка экономической эффективности использования автобусов большой вместимости

Показатели <u>пессим. прогноз</u> оптим. прогноз	Область риска				
	недопустимого 75-100%	критического 55-75%	повышенного 35-50%	минимального 20-35%	безрисковая 0-20%
Транспортный спрос населения, чел/сут	$\geq 400$ <2630	400-700 2330-2630	700-980 2000-2330	980-1200 1910-2000	1200-1518 1518-1910
Суммарные инвестиции, млн.руб	<28165,3 11123,5	26367,5 26966,7	22771,9 23970,5	20374,9 20741,1	18577,1 19775,6
Упущенная выгода, тыс.руб/год	9986,4 10212,7	7869,4 7825,6	5569,9 5767	3416,4 3372,6	2065,9 2825,1
Экономическая эффективность, тыс. руб/год	12257 19698	11381 19260	10506 18823	9630 18385	8755 17509

На рисунке 5.4 показана поверхность риска Отдела транспорта г. Набережные Челны при разных сценариях развития в зависимости от разме-

ра инвестиций, вложенных в закупку автобусов большой вместимости на газомоторном топливе.

Зависимость риска от инвестиций и упущенной выгоды выражается следующим образом:

$$R = 0,8111 - 0,0031 \cdot X - 5,0852 \cdot 10^{-5} \cdot Y + 8,5579 \cdot 10^{-6} \cdot X^2 + 4,927 \cdot 10^{-8} \cdot X \cdot Y + 3,9893 \cdot 10^{-9} \cdot Y^2 \quad (5.12)$$

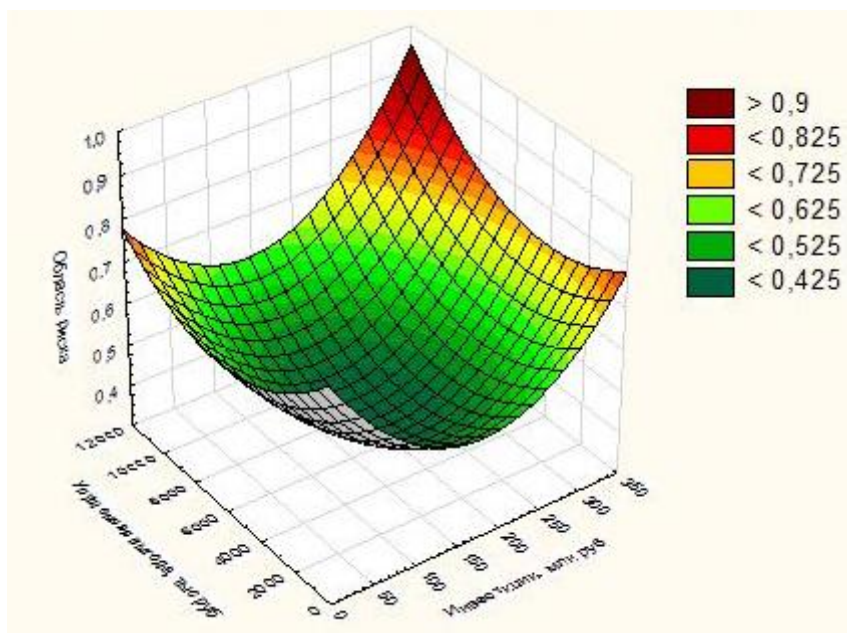


Рисунок 5.4 – Поверхность риска Отдела транспорта

### 5.3 ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ

1. Эффективность предлагаемого решения рассмотрена с точки зрения экономии денежных средств на топливо (удельные затраты на топливо могут быть снижены с 9,32 руб/пас до 6,37 руб/пас в случае уменьшения числа ТС на маршрутах за счет использования ТС большой вместимости и до 5,60 руб/пас при использовании ТС большой вместимости на газомоторном топливе), временных затрат на перемещение (удельное время нахождения пассажира в системе может быть снижено с 14,73 мин/пас до 8,34 мин/пас), экологической эффективности (суточные объемы выбросов CO могут быть снижены на 238,2 кг, NO<sub>x</sub> – на 586,5 кг, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> – 2690,3 кг, сажи – 1385,6 кг).

2. Устойчивость транспортной системы при реализации предлагаемого решения может быть обеспечена приближением показателей маршрутной сети

к рекомендуемым значениям. Значение площади «радаров эффективности» при предлагаемой схеме организации городских автобусных перевозок практически равно площади радаров рекомендуемых значений и на 32% больше, чем площадь радаров существующей схемы.

3. Выполнен анализ рисков при управлении городскими автобусными перевозками с позиции Отдела транспорта г. Набережные Челны в разрезе сфер возникновения с указанием точек уязвимости системы, уровней риска, а также предложений по способам управленческих воздействий. В результате установлено, что для снижения негативного влияния наиболее опасных рисков необходимо внедрение целого комплекса мер, связанных, в первую очередь, с грамотной организацией труда водителей, а также с повышением лояльности населения к общественному транспорту в целом и к автобусам большой вместимости в частности. Выявлена зависимость риска от инвестиций и упущенной выгоды.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе в результате применения комплексного подхода решена задача повышения эффективности городских автобусных перевозок:

1. Выявлено несоответствие автобусной маршрутной сети города и структуры подвижного состава потребностям населения в результате проведенного анализа системы городского пассажирского транспорта г. Набережные Челны.

2. Предложена универсальная концептуальная модель системы управления городскими автобусными перевозками, позволяющая исследовать поведение транспортной системы города в случае изменения параметров транспортных и пассажиропотоков; выявлять проблемные участки УДС; прогнозировать результаты предлагаемых управленческих решений; подбирать оптимальный ПС, комбинируя автобусы разной вместимости для разного времени суток; согласовывать интервалы движения автобусов разных маршрутов; формировать базу оптимальных решений, что расширяет возможности использования системы в различных городах с похожим транспортно-планировочным каркасом.

3. Разработан алгоритм повышения эффективности городского общественного транспорта, в основу которого заложен принцип минимизации времени доставки пассажиров и суммарного количества ТС, одновременно проходящих по одному участку, при сохранении мобильности населения.

4. Определена зависимость времени доставки пассажиров от времени простоя ТС в заторах и на ОП в ожидании очереди на подачу ТС к месту посадки-высадки, а также отсутствия свободных мест в ТС.

5. Проведено обследование предпочтений населения на основе анкетирования. Выявлено, что 17,4% водителей частных автомобилей готовы пользоваться общественным транспортом при наличии нужного беспересадочного маршрута.

6. Апробирован метод совершенствования маршрутной сети: число автобусных маршрутов можно уменьшить с 27 до 15 благодаря сокращению их

наложений. Помимо этого, разработаны новые маршруты, потребность в которых была выявлена в результате опроса населения.

7. Подобран оптимальный ПС для каждого маршрута. При предлагаемой схеме движения количество автобусов большой вместимости составит 119 ед. (вместо 19 при существующей схеме), а малой вместимости – 127 ед. (вместо около 400 автобусов).

8. Эффективность предлагаемого решения рассмотрена с точки зрения экономии денежных средств на топливо (удельные затраты на топливо могут быть снижены с 9,32 руб/пас до 6,37 руб/пас в случае уменьшения числа ТС на маршрутах за счет использования ТС большой вместимости и до 5,60 руб/пас при использовании ТС большой вместимости на газомоторном топливе), временных затрат на перемещение (удельное время нахождения пассажира в системе может быть снижено с 14,73 мин/пас до 8,34 мин/пас), экологической эффективности (суточные объемы выбросов CO могут быть снижены на 238,2 кг, NO<sub>x</sub> – на 586,5 кг, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> – 2690,3 кг, сажи – 1385,6 кг). Устойчивость транспортной системы при реализации предлагаемого решения может быть обеспечена приближением показателей маршрутной сети к рекомендуемым значениям.

## ОСНОВНЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

- в рецензируемых научных журналах из «Перечня ...» ВАК:

1. Макарова, И.В. Обеспечение надежного и безопасного функционирования транспортной системы города путем интеллектуализации процессов управления / И.В. Макарова, Р.Г. Хабибуллин, **К.А. Шубенкова**, В.А. Мелькова // Мир транспорта и технологических машин. – 2011. – № 3 (34). – С. 63-72.
2. Макарова, И.В. Система поддержки принятия решений как средство управления транспортной системой города / И.В. Макарова, Р.Г. Хабибуллин, **К.А. Шубенкова** // Транспорт: наука, техника, управление. – 2011. – № 9. – С. 57-60.
3. Макарова, И.В. Оптимизация маршрутной сети пассажирского транспорта с помощью транспортной модели города / И.В. Макарова, Р.Г. Хабибуллин, **К.А. Шубенкова** // Мир транспорта и технологических машин. – 2015. – № 3 (50). – С. 103-114.
4. Макарова, И.В. Переход к «зеленому» транспорту: проблемы и перспективы / И.В. Макарова, **К.А. Шубенкова**, В.Г. Маврин, Г.Р. Садыгова, Л.М. Габсалихова // Мир транспорта и технологических машин. – 2016. – № 4 (55). – С. 118-126.

- в изданиях, индексируемых *Web of Science*, *Scopus*:

5. Makarova, I. Ensuring sustainability of the city transportation system: problems and solutions (ICSC) (Обеспечение устойчивости транспортной системы города: проблемы и пути решения) / I. Makarova, R. Khabibullin, **K. Shubenkova**, A. Boyko // E3S Web of Conferences. – 2016. – № 6. – 02004. DOI: 10.1051/e3sconf/20160602004.
6. Makarova, I. Modeling as a Method to Improve Road Safety During Mass Events (Моделирование как метод повышения безопасности движения во время массовых мероприятий) / I. Makarova, R. Khabibullin, A. Pashkevich, **K. Shubenkova** // Transportation Research Procedia. – 2017. – № 20. – P. 430-435. DOI: 10.1016/j.trpro.2017.01.070.
7. Makarova, I. Ensuring Sustainability of Public Transport System through Rational Management (Обеспечение устойчивости системы общественного транспорта через рациональное управление) / I. Makarova, R. Khabibullin, A. Pashkevich, **K. Shubenkova** // Procedia Engineering. – 2017. – № 178. – P. 137-146. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.01.078.

8. Makarova, I. Logistical costs minimization for delivery of shot lots by using logistical information systems (Минимизация логистических издержек при мелкопартионных доставках грузов с помощью логистических информационных систем) / I. Makarova, R. Khabibullin, **K. Shubenkova**, A. Pashkevich // *Procedia Engineering*. – 2017. – № 178. – P. 330-339. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.01.059.

9. Makarova, I. Analysis of the city transport system's development strategy design principles with account of risks and specific features of spatial development (Анализ принципов разработки стратегии развития транспортной системы с учетом рисков и особенностей территориального развития) / I. Makarova, **K. Shubenkova**, L. Gabsalikhova // *Transport Problems*. – 2017. – Vol. 12. – Iss. 1. – P. 739-750.

- в других изданиях:

10. Макарова, И.В. Совершенствование управления транспортными потоками города с использованием имитационного моделирования / И.В. Макарова, Р.Г. Хабибуллин, **К.А. Шубенкова** // Сб. докл. конф. ИММОД-2009. – 2009. – Т. 2. – С. 151-154.

11. Макарова, И.В. Программный комплекс по управлению транспортными потоками города / И.В. Макарова, Р.Г. Хабибуллин, **К.А. Шубенкова**, В.А. Мелькова // Сб. науч. трудов междунар. научно-практ. конференции «Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте'2010». – 2010. – Т. 1. – С. 46-47.

12. Макарова, И.В. Совершенствование процесса сбора и анализа данных по ДТП с целью их использования при проектировании имитационной модели транспортных потоков города / И.В. Макарова, Р.Г. Хабибуллин, **К.А. Шубенкова**, В.А. Мелькова // Сб. докл. девятой междунар. научно-практ. конф. «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах». – 2010. – С. 494-497.

13. Макарова, И.В. Разработка системы мониторинга и управления транспортными потоками города как превентивная мера по снижению количества ДТП / И.В. Макарова, Р.Г. Хабибуллин, **К.А. Шубенкова**, В.А. Мелькова // Инновации в транспортном комплексе. Безопасность движения. Охрана окружающей среды. – 2010. – Т. 2. – С. 32-37.

14. **Шубенкова, К.А.** Применение имитационного моделирования для совершенствования маршрутной сети города / **К.А. Шубенкова** // Тезисы докл. XIX междунар. студенческой школы-семинара «Новые информационные технологии». – 2011. – С. 282.



15. **Шубенкова, К.А.** Система поддержки принятия решений как элемент региональной транспортно-логистической системы / **К.А. Шубенкова** // Сб. трудов междунар. научно-практ. конф. «Современные информационные технологии в управлении транспортно-логистическими системами». – 2011. – С. 152-156.
16. **Шубенкова, К.А.** Оптимизация управления движением городского пассажирского транспорта средствами имитационного моделирования / **К.А. Шубенкова** // Материалы VI Всеросс. научно-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Развитие дорожно-транспортного комплекса и строительной инфраструктуры на основе рационального природопользования». – 2011. – Т. 2. – С. 281-284.
17. Макарова, И.В. О структуре программного комплекса управления дорожным движением как инновационном средстве обеспечения устойчивого развития региона / И.В. Макарова, Р.Г. Хабибуллин, **К.А. Шубенкова**, В.А. Мелькова // Сб. докл. десятой междунар. конф. «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах. Инновации: ресурс и возможности». – 2012. – С. 154-158.
18. Макарова, И.В. Инновации в транспортном комплексе – путь к устойчивому развитию региона / И.В. Макарова, Р.Г. Хабибуллин, **К.А. Шубенкова**, В.А. Булатова // Дорожная держава. – 2013. – № 50. – С. 76-77.
19. Макарова, И.В. Проектирование системы поддержки принятия решений для минимизации логистических издержек при мелкопартионных доставках грузов / И.В. Макарова, Р.Г. Хабибуллин, **К.А. Шубенкова**, Тимофеева И.В. // Информационные технологии и инновации на транспорте. – 2015. – С. 135-141.
20. Шубенкова, К.А. Управление городскими пассажирскими перевозками как способ развития российской экономики / **К.А. Шубенкова**, И.В. Макарова // Материалы Всеросс. научно-практ. конф. с междунар. участием. – 2016. – Часть 1. – С. 117-120.
21. Макарова, И.В. Направления и методы обеспечения устойчивого развития транспортной системы города / И.В. Макарова, Р.Г. Хабибуллин, **К.А. Шубенкова** // Информационные технологии и инновации на транспорте. – 2016. – С. 315-327.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Устойчивое развитие городов [Электронный ресурс] / под ред. А. Карповой // Мы – Siemens. – 2010. – № 12. – Режим доступа: [http://www.intenta-it.ru/upload/pdf/WeSiemensDec\\_Final.pdf](http://www.intenta-it.ru/upload/pdf/WeSiemensDec_Final.pdf)
2. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development [Электронный ресурс] // Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015. – 2015. – Режим доступа: [http://www.un.org/ga/search/view\\_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E](http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E)
3. Макарова, И.В. Обеспечение надежного и безопасного функционирования транспортной системы города путем интеллектуализации процессов управления / И.В. Макарова, Р.Г. Хабибуллин, К.А. Шубенкова, В.А. Мелькова // Мир транспорта и технологических машин. – 2011. – №3 (34). – С. 63-72.
4. Global status report on road safety 2015 [Электронный ресурс] / World Health Organization. – 2015. – Режим доступа: [http://www.who.int/violence\\_injury\\_prevention/road\\_safety\\_status/2015/GSRRS2015\\_Summary\\_EN\\_final2.pdf?ua=1](http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2015/GSRRS2015_Summary_EN_final2.pdf?ua=1)
5. Global Report on Human Settlements 2013 [Электронный ресурс] / UN-НАВИТАТ. – 2013. – Режим доступа: <http://unhabitat.org/books/planning-and-design-for-sustainable-urban-mobility-global-report-on-human-settlements-2013/>
6. Яворский, И. Москва-2014: когда и почему мы пересядем с машин на метро [Электронный ресурс] // АВТО@mail.ru. – 2014. – Режим доступа: <http://auto.mail.ru/article.html?id=45108>
7. Яценко, С.А. Повышение качества обслуживания пассажиров на городских автобусных маршрутах в условиях применения подвижного состава разной вместимости: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Светлана Анатольевна Яценко. – Иркутск, 2012. – 213 с.
8. Лобов, В. Регулярность, скорость, комфорт [Электронный ресурс] / В. Лобов // Транспорт России. – 2013. – №27 (782). – Режим доступа: <http://www.transportrussia.ru/gorodskoy-passazhirskiy-transport/regulyarnost-skorost-i-komfort.html>
9. «ЗЕЛЕНЬИЙ» ТРАНСПОРТ [Электронный ресурс] // Ежегодный доклад ЮНЕП за 2009 г. – 2009. – Режим доступа: <http://www.unepcom.ru/energenv/101.html>

10. Рассоха, В.И. Повышение эффективности эксплуатации автомобильного транспорта на основе разработанных научно-технических, технологических и управленческих решений: дис. ... д-р техн. наук: 05.22.10 / Владимир Иванович Рассоха. – Оренбург, 2010. – 400 с.
11. Ожерельев, М.Ю. Повышение качества информационного обеспечения транспортно-телематических систем в городах и регионах (на примере диспетчерского управления пассажирским транспортом): автореф. дис. ... канд. техн. наук / Максим Юрьевич Ожерельев. – М.: МАДИ (ГТУ), 2008. – 23 с.
12. Кравченко, П.А. Инновационные технологии для сферы обеспечения БДД – не дань моде, а остро востребованный инструмент решения сложных хозяйственных задач // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах: сб. докл. конф. – 2010. – С. 21-25.
13. Методическое руководство по стратегии управления транспортными потоками в системах автоматизированного регулирования движения на автомобильных магистралях (АРДАМ): утверждено ГИПРОДОРОНИИ, протокол № 2 от 28.03.80. – М.: 1980.
14. Врублевская, С.С. Интеллектуальная система управления транспортными потоками на основе светофорных объектов: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.10 / Светлана Семеновна Врублевская. – Воронеж, 2007. – 149 с.
15. Жанказиев, С.В. Научные основы и методология формирования интеллектуальных транспортных систем в автомобильно-дорожных комплексах городов и регионов: дис. ... д-р техн. наук : 05.22.01 / Султан Владимирович Жанказиев. – М., 2012. – 451 с.
16. Intelligent Transportation Systems – Problems and Perspectives: Increase of City Transport System Management Efficiency with Application of Modeling Methods and Data Intellectual Analysis / I. Makarova, R. Khabibullin [et al.]; ed. by A. Śładkowski [et al.] // Studies in Systems, Decision and Control. – Vol. 32. – Switzerland: Springer International Publishing AG, 2016. – P. 37-80.
17. Makarova, I.V. City Transport System Improvement through the Use of Simulation Modeling System / I.V. Makarova, E.I. Belyaev [et al.] // International Journal of Applied Engineering Research. – 2014. – Vol. 9, № 22. – P.15649-15655.

18. Павленко, А.А. Система управления транспортными потоками г. Хабаровска // Материалы Девятого краевого конкурса-конференции молодых ученых и аспирантов. – Издательство ТОГУ, 2007. – С. 132-139.
19. Баранов, Ю.Н. Теоретические основы построения алгоритма при создании транспортных интеллектуальных систем для повышения информативности водителя на улично-дорожной сети / Ю.Н. Баранов, В.И. Чернышев // Информационные технологии и инновации на транспорте: материалы междунар. научно-практ. конф. – Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2015. – С. 42-46. – Режим доступа: <http://lib.madi.ru/fel/fel1/fel15B018.pdf>.
20. Chen, H.-K. The application of a route diversion strategy to a vehicle route guidance system using multiple driver classes / H.-K. Chen, D.-H. Lee, Ch.-T. Fu // Transportation Planning and Technology. – 1994. – Vol. 18, Iss. 2. – P. 81-105.
21. Железов, Р.В. Разработка и исследование информационно-справочной системы поиска оптимальных путей проезда на пассажирском транспорте: дис. ... канд. техн. наук: 05.12.13 / Роман Владимирович Железов. – М., 2009. – 148 с.
22. Ефименко, Д.Б. Методологические основы построения навигационных систем диспетчерского управления перевозочным процессом на автомобильном транспорте (на примере городского пассажирского транспорта): дис. ... д-р техн. наук: 05.22.08 / Дмитрий Борисович Ефименко. – М., 2012. – 479 с.
23. Региональные системы: РНИС ГЛОНАСС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://space-team.com/rnis/>.
24. Системы спутникового мониторинга транспорта на основе ГЛОНАСС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://space-team.com/monitoring\\_transporta/](http://space-team.com/monitoring_transporta/).
25. Постановление Правительства Российской Федерации №641 от 25.08.2008 г. «Об оснащении транспортных, технических средств и систем аппаратурой спутниковой навигации ГЛОНАСС или ГЛОНАСС/GPS».
26. Постановление Правительства РФ от 21.12.2012 N 1367 (ред. от 29.12.2015) «Об утверждении Правил предоставления и распределения в 2013 - 2014 годах субсидий из федерального бюджета бюджетам субъектов Российской Федерации на информационно-навигационное обеспечение автомобильных маршрутов по транспортным коридорам "Север-Юг" и "Восток-Запад"».

27. Sun, L. A New Robust Optimization Model for the Vehicle Routing Problem with Stochastic Demands / L. Sun // *Journal of Interdisciplinary Mathematics*. – 2014. – Vol. 17, Iss. 3. – P. 287-309
28. Huang, Z.D. A GIS-based framework for bus network optimization using genetic algorithm / Z.D. Huang, X.J. Liu [et al.] // *Annals of GIS*. – 2010. – Vol. 16, Iss. 3. – P. 185-194.
29. Ulusoy, Y.Y. Optimal bus service patterns and frequencies considering transfer demand elasticity with genetic algorithm / Y.Y. Ulusoy, S. I-J. Chien // *Transportation Planning and Technology*. – 2015. – Vol. 38, Iss. 4. – P. 405-424
30. Данг, Х.Л. Развитие системы городского пассажирского транспорта общего пользования (на примере г. Ханоя, Вьетнам): автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01 / Хай Ле Данг. – М.: МАДИ (ГТУ), 2010. – 20 с.
31. Чжо, М.Х. Планирование расписания и управление движением пассажирского транспорта с использованием моделирующей среды: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01 / Мьо Хан Чжо. – М., 2010. – 111 с.
32. Богомоллов, А.А. Оптимизация маршрутов городского пассажирского транспорта в средних городах: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Андрей Александрович Богомоллов. – Вологда, 2002. – 274 с.
33. Корягин, М.Е. Оптимизация потоков общественного транспорта [Электронный ресурс] / М.Е. Корягин, О.С. Семенова // *Вопросы современной науки и практики*. – 2008. – №1 (11). – Т. 2. – С. 70-78. – Режим доступа: <http://vernadsky.tstu.ru/pdf/2008/01t/09t.pdf>.
34. Семенова, О.С. Математическое моделирование в задачах оптимизации движения городского пассажирского транспорта с учетом наложения маршрутных схем: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.18 / Ольга Сергеевна Семенова. – Новокузнецк, 2009. – 148 с.
35. Кулев, А.В. Оптимизация маршрутов городского пассажирского транспорта общего пользования [Электронный ресурс] / А.В. Кулев, М.В. Кулев, Н.С. Кулева // *Информационные технологии и инновации на транспорте: материалы междунар. научно.-практ. конф.* – 2015. – С. 253-259. – Режим доступа: <http://lib.madi.ru/fel/fel1/fel15B018.pdf>.

36. Кулев, А.В. Оптимизация маршрутов пассажирского транспорта в городе: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Андрей Владимирович Кулев. – Орел, 2015. – 127 с.
37. Александров, А.Э. Расчет и оптимизация транспортных систем с использованием моделей (теоретические основы, методология): дис. ... д-р техн. наук: 05.22.08 / Александр Эрнстович Александров. – Екатеринбург, 2009. – 213 с.
38. Папаскуа, А.А. Совершенствование организации пассажирского автомобильного транспорта в загруженных районах городов: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Анжела Александровна Папаскуа. – Ростов-на-Дону, 2004. – 218 с.
39. Наумова, Н.А. Теоретические основы и методы автоматизированного управления транспортными потоками средствами мезоскопического моделирования: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Наталья Александровна. – Краснодар, 2015. – 301 с.
40. Зварыч, Е.Б. Разработка и исследование равновесных математических моделей рынка городских транспортных услуг: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.18 / Евгений Богданович Зварыч. – Братск, 2010. – 23 с.
41. Нургалиев, Е.Р. Математическое моделирование межпоселковых и межмуниципальных автотранспортных пассажироперевозок: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Есбол Русланович Нургалиев. – Волгоград, 2010. – 16 с.
42. Пыталева, О.А. Обоснование параметров маршрутной сети городского наземного пассажирского транспорта: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01 / Ольга Анатольевна Пыталева. – Екатеринбург, 2010. – 19 с.
43. Ваксман, С.А. Проблемы развития и организации функционирования транспортных систем городов // Проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния: материалы VIII междунар. научно-практ. конф. – Екатеринбург: УГЭУ, 2002. – С. 34-38.
44. Хамидулин, М.Н. Обеспечение безопасности дорожного движения маршрутных автобусов на основе учета характеристик маршрута: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08 / Михаил Николаевич Хамидулин. – М., 2015. – 159 с.
45. Бережной, А.В. Исследование влияния управляющих параметров моделей транспортных потоков на эффективность управления городским дорожным движением: автореф. дис. ... д-р инж. наук / Александр Владимирович Бережной. – Рига: Институт транспорта и связи, 2008. – 43 с.

46. Корчагин, В.А. Распределение автобусов по маршрутам движения с учетом вреда окружающей среде / В.А. Корчагин, А.В. Гринченко // Аграрный научный журнал. – 2015. – № 9. – С. 40-43.
47. Anand N. Ontology-based multi-agent system for urban freight transportation / N. Anand, R. van Duin, L. Tavasszy // International Journal of Urban Sciences. – 2014. – Vol. 18, Iss. 2. – P. 133-153.
48. Малыханов, А.А. Имитационная модель агента для низкоуровневого исследования транспортных систем: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.18 / Андрей Анатольевич Малыханов. – Ульяновск: УлГУ, 2011. – 23 с.
49. Абрамова, Л.С. Имитационная модель управления транспортными потоками [Электронный ресурс] / Л.С. Абрамова, Н.С. Чернобаев // Вестник ХНАДУ. – 2009. – № 47. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/imitatsionnaya-model-upravleniya-transportnymi-potokami>.
50. Кузин, М.В. Имитационное моделирование транспортных потоков при координированном режиме управления: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.18 / Михаил Валерьевич Кузин. – Тюмень: ТюмГУ, 2011. – 143 с.
51. Воронин, В.Е. Оптимизация управления транспортными системами с использованием имитационного моделирования [Электронный ресурс] / В.Е. Воронин, В.С. Куранцева // ИММОД-2007. – Режим доступа: <http://www.gpss.ru/immod07/doklad/65.html>.
52. Власов, С.А. Язык моделирования GPSS World и системы автоматизации имитационных исследований: опыт применения и перспективы использования / С.А. Власов, В.В. Девятков, Т.В. Девятков // Сб. докл. конф. ИММОД-2009. – 2009. – Т. 1. – С. 11-18.
53. Черненко, В.Е. Низкоуровневое имитационное моделирование транспортных систем: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.18 / Виталий Евгеньевич Черненко. – Ульяновск: УлГУ, 2010. – 23 с.
54. Сергеева, К.Ф. Анализ и оптимизация транспортных потоков с помощью моделирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://masters.donntu.org/2005/kita/shapovalova/library/sergeeva.pdf>.
55. Могорас, А.А. Управление транспортными потоками мегаполиса на основе прогнозирования и поведения интеллектуальных агентов: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01 / Андрей Александрович Могорас. – М., 2011. – 195 с.

56. Липенков, А.В. О разработке имитационной модели городских пассажирских перевозок в Нижнем Новгороде / А.В. Липенков, Н.А. Кузьмин, О.А. Маслова // Актуальные вопросы инновационного развития транспортного комплекса: тезисы докл. междунар. научно-практ. конф. – 2011. – с. 123-127.
57. Липенков, А.В. Повышение эффективности функционирования городского пассажирского транспорта на основе управления пропускной способностью остановочных пунктов: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Александр Владимирович Липенков. – Нижний Новгород, 2015. – 154 с.
58. Левчук, В.Д. Проектирование маршрутов городской транспортной сети средствами имитационного моделирования / В.Д. Левчук, П.Л. Чечет // Сб. докл. конф. ИММОД-2009. – 2009. – Т. 2. – С. 137-141.
59. Новиков, А.Н. Построение модели функционирования маршрута троллейбуса / А.Н. Новиков, А.Л. Севостьянов [и др.] // Мир транспорта и технологических машин. – 2012. – № 4 (39). – С. 80-87.
60. Мехоношин, В.В. Оптимизация маршрутной сети городского пассажирского транспорта общего пользования с применением программного пакета PTV Vision® VISUM на примере городского округа г. Воронеж / В.В. Мехоношин, Д.В. Енин // Научный вестник автомобильного транспорта. – 2013. – С. 30-40.
61. Постнов, С.Н. Технология создания информационной транспортной модели города, включающей существующие и планируемые транспортные сети [Электронный ресурс] / С.Н. Постнов, С.Н. Кузнецов [и др.] // Управление экономическими системами: эл. науч. журнал. – 2012. – № 10 (46). – Режим доступа: <http://www.uecs.ru/logistika/item/1591-2012-10-12-05-39-29>.
62. Ломакин, Д.О. Мезоскопические модели транспортных потоков / Д.О. Ломакин // Сб. трудов II междунар. научно-практ. конф. «Информационные технологии и инновации на транспорте». – 2016. – С. 53-59.
63. Боев, В.Д. Компьютерное моделирование: пособие для курсового и дипломного проектирования / В.Д. Боев, Д.И. Кирик, Р.П. Сыпченко. – СПб: ВАС, 2011. – 348 с.
64. Официальный сайт AnyLogic [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.anylogic.ru/>



65. Официальный сайт РТВ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ptv-vision.ru/>
66. Макарова, И.В. Проектирование системы поддержки принятия решений для минимизации логистических издержек при мелкопартионных доставках грузов / И.В. Макарова, Р.Г. Хабибуллин, К.А. Шубенкова, И.В. Тимофеева // Материалы междунар. научно-практ. конф. «Информационные технологии и инновации на транспорте». – 2015. – С. 135-141.
67. Прохоров, А.В. Информационно-аналитические системы и оценка экономической эффективности проектов транспортного планирования [Электронный ресурс] / А.В. Прохоров, И.В. Ильин // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. – 2010. – № 6. – С. 291-295. – Режим доступа: <http://old.ptv-vision.ru/assets/Uploads/data/publication-Оценка-ekonomicheskoi-effektivnosti.pdf>.
68. Булавина, Л.В. Проектирование и оценка транспортной сети и маршрутной системы в городах: выполнение курсового и дипломного проектов [Электронный ресурс] / Л.В. Булавина. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2013. – 48 с. – Режим доступа: [http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/29015/1/978-5-7996-1184-2\\_2014.pdf](http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/29015/1/978-5-7996-1184-2_2014.pdf).
69. Гудков, В.А. Пассажирские автомобильные перевозки: учебник для вузов / В.А. Гудков, Л.Б. Миротин [и др.]; под. ред. В.А. Гудкова. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 448 с.: ил.
70. Еремеев, А.В. Методы решения задач комбинаторной оптимизации: дис. ... д-р физ.-мат. наук: 05.13.17 / Антон Валентинович Еремеев. – Омск, 2013. – 300 с.
71. Хрущев, М.В. Исследование методов маршрутизации автобусного транспорта в городах: дис. ... д-р экон. наук: 08.00.05, 08.00.13 / Михаил Владимирович Хрущев. – М., 2000. – 206 с.
72. Гиндуллин, Р.В. Оптимизация маршрута доставки однородного груза от множества производителей множеству потребителей: дис. ... канд. физ.-мат. наук: 05.13.01 / Рамиз Вилевич Гиндуллин. – Уфа, 2013. – 147 с.
73. Пожидаев, М.С. Алгоритмы решения задачи маршрутизации транспорта: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.18 / Михаил Сергеевич Пожидаев. – Томск, 2010. – 136 с.

74. VISUM User Manual [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.chinautc.com/information/manage/UNCC\\_Editor/uploadfile/20081105144806983.pdf](http://www.chinautc.com/information/manage/UNCC_Editor/uploadfile/20081105144806983.pdf).
75. Abraham, I. A Hub-Based Labeling Algorithm for Shortest Paths on Road Networks [Электронный ресурс] / I. Abraham, D. Delling // SODA 2010. – Режим доступа: <https://www.microsoft.com/en-us/research/wp-content/uploads/2010/12/HL-TR.pdf>.
76. Никоноров, В.М. Оптимизация логистических показателей мелкопартионных перевозок на автомобильном транспорте: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.13 / Валентин Михайлович Никоноров. – СПб., 2013. – 194 с.
77. Бухаров, Д.С. Методика решения задач оптимизации региональной транспортно-логистической инфраструктур: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.18 / Дмитрий Сергеевич Бухаров. – Иркутск, 2013. – 157 с.
78. Савельева, М.Н. Разработка и исследование динамической геоинформационной модели цепей поставок: дис. ... канд. техн. наук: 05.25.05 / Марина Николаевна Савельева. – Таганрог, 2015. – 171 с.
79. Власов, Ю.Л. Обоснование и рациональное распределение по маршрутам парка городского пассажирского транспорта: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Юрий Леонидович Власов. – Оренбург: ОГУ, 2006. – 170 с.
80. Федоров, С.В. Совершенствование методов проектирования транспортных сетей и маршрутных систем крупных городов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Сергей Владимирович Федоров. – М.: МАДИ, 2011. – 20 с.
81. Плотников, М.В. Логистизация транспортного обеспечения пассажиропотоков в городе: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / Максим Викторович Плотников. – Саратов: СГСЭУ, 2003. – 198 с.
82. Ульяновский, И.А. Разработка методов организации маршрутных сетей городского пассажирского транспорта на базе совершенствования методики обследования пассажиропотоков: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Иван Александрович Ульяновский. – Вологда, 2006. – 160 с.
83. Гринченко, А.В. Повышение эффективности управления процессами перевозок на городских автобусных маршрутах: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08 / Александр Викторович Гринченко. – Липецк, 2006. – 203 с.

84. Богомолов, А.А. Оптимизация маршрутов городского пассажирского транспорта в средних городах: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Андрей Александрович. – Вологда, 2002. – 274 с.
85. Швецов, В.И. Математическое моделирование транспортных потоков / В.И. Швецов // Труды МФТИ. – 2010. – № 4. – Т.2. – С. 169-179.
86. Швецов, В.И. Проблемы моделирования передвижений в транспортных сетях / В.И. Швецов // Автоматика и Телемеханика. – 2003. – №11. – С. 3-46.
87. Лобанов, Е.М. Транспортная планировка городов: учебник для студентов вузов / Е.М. Лобанов. – М.: Транспорт, 1990. – 240 с.
88. Схема развития транспортной инфраструктуры Самары в составе проекта Генерального плана города [Электронный ресурс] // ArcReview. – 2007. – №3. – Режим доступа: [http://www.dataplus.ru/arcrev/Number\\_42/6\\_Samara.html](http://www.dataplus.ru/arcrev/Number_42/6_Samara.html).
89. Сергеев, А.С. Современные элементы контроля безопасности дорожного движения / А.С. Сергеев, А.М. Бургонутдинов // Вестник ПГТУ: Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. – 2010. – № 1. – С. 135-144.
90. Кузьмин, Д.М. Технология и методы интеллектуального мониторинга автотранспортных потоков и состояния автомобильных дорог: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08, 05.23.11 / Дмитрий Михайлович Кузьмин. – М.: МАДИ (ГТУ), 2008. – 20 с.
91. Принципы установки детекторов транспорта: методические указания / сост. Ю.Н. Семенов, О.С. Семенова. – Кемерово: Полиграфический цех КузГТУ, 2014. – 10 с.
92. Спиринов, А.В. Повышение качества перевозки пассажиров автомобильным транспортом по регулярным маршрутам совершенствованием организационно-функциональной структуры перевозчика: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Александр Викторович Спиринов. – Оренбург, 2013. – 160 с.
93. Makarova, I. Ensuring Sustainability of Public Transport System through Rational Management / I. Makarova, R. Khabibullin, A. Pashkevich, K. Shubenkova // Procedia Engineering. – 2017. – № 178. – P. 137-146.
94. Макарова, И.В. Оптимизация маршрутной сети пассажирского транспорта с помощью транспортной модели города / И.В. Макарова, Р.Г. Хабибуллин,

К.А. Шубенкова // Мир транспорта и технологических машин. – 2015. – № 3 (50). – С. 103-114.

95. Куприянова, А.Б. Оптимизация транспортного обслуживания центра крупного города в условиях приоритета общественного транспорта и системы перехватывающих стоянок: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Александра Борисовна Куприянова. – Иркутск:, 2008. – 19 с.

96. Блатнов, М.Д. Пассажирыские автомобильные перевозки: учебник / М.Д. Блатнов. – М.: Транспорт, 1981. – 198 с.

97. Володин, Е.П. Организация и планирование перевозок пассажиров автомобильным транспортом: учебник / Е.П. Володин, Н.Н. Громов. - М.: Транспорт, 1982. – 198с.

98. ОДМ 218.2.020-2012 Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200092512>.

99. Макарова, И.В. Совершенствование управления транспортными потоками города с использованием имитационного моделирования / И.В. Макарова, Р.Г. Хабибуллин, К.А. Шубенкова // Сб. докл. конф. ИММОД-2009. – 2009. – Т. 2. – С. 151-154.

100. Стратегия социально-экономического развития муниципального образования город Набережные Челны до 2021 года и на период до 2030 года [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: <http://nabchelny.ru/upload/files/user/20302.pdf>.

101. Структура экономики города Набережные Челны [Электронный ресурс] // Официальный сайт города Набережные Челны. – Режим доступа: <http://nabchelny.ru/page/262>.

102. Генеральный план г. Набережные Челны: Материалы по обоснованию проекта. Пояснительная записка, т.3. – Казань: 2009. – 140 с.

103. Транспортный комплекс города Набережные Челны [Электронный ресурс] // Официальный сайт города Набережные Челны. – Режим доступа: <http://nabchelny.ru/company/page/30/528>.

104. Шубенкова, К.А. Организация управления движением городского пассажирского транспорта средствами имитационного моделирования / К.А. Шубенкова // Материалы VI Всеросс. научно-практ. конф. студентов, ас-

пирантов и молодых ученых «Развитие дорожно-транспортного комплекса и строительной инфраструктуры на основе рационального природопользования». – 2011. – Т. 2. – С. 281-284.

105. Курганов, В.М. Управление автомобильными перевозками на основе ситуационного подхода: дис. ... док. техн. наук: 05.22.08 / Валерий Михайлович Курганов. – М.: МАДИ (ГТУ), 2004. – 334 с.

106. Президент Татарстана пообещал отремонтировать дорогу на БСИ в 2015 году [Электронный ресурс] // Официальный сайт города Набережные Челны. – Режим доступа: <http://www.nabchelny.ru/news/10946>.

107. Чаллы-ТВ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tvchelny.ru/news/2014/05/29/v-chelnah-reshilas-sudba-dorogi-na-bsi>.

108. Деловая электронная газета Республики Татарстан [Электронный ресурс] // БИЗНЕС Online. – Режим доступа: <http://www.business-gazeta.ru/text/103730/>.

109. В Набережных Челнах новую дорогу на БСИ могут сделать платной [Электронный ресурс] // БИЗНЕС Online. – Режим доступа: <http://www.business-gazeta.ru/article/100430/>.

110. О городе [Электронный ресурс] // Официальный сайт города Набережные Челны. – Режим доступа: <http://www.nabchelny.ru/page/10>.

111. Проблемы транспорта [Электронный ресурс] // Официальный сайт города Набережные Челны. – Режим доступа: <http://nabchelny.ru/page/267>.

112. В Набережных Челнах выявлены самые аварийно-опасные участки [Электронный ресурс] // Auto как есть. – Режим доступа: [auto.kazanfirst.ru](http://auto.kazanfirst.ru).

113. Якунина, Н.В. Методология повышения качества перевозок пассажиров автомобильным транспортом по регулярным маршрутам: дис. ... д-р техн. наук: 05.22.10 / Наталья Владимировна Якунина. – Оренбург, 2015. – 356 с.

114. Автобус низкопольный городской НЕФАЗ-5299-40-51 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ecogas-auto.ru/buy/catalog/avtobusy/avtobus-nizkopolnyy-gorodskoy-nefaz-5299-40-51/>

115. Комплексный подход ПАО «КАМАЗ» к газификации пассажирского транспорта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://drive.google.com/drive/folders/0BzMskZpuV\\_J1UDNvTXhhMTJ2S3c](https://drive.google.com/drive/folders/0BzMskZpuV_J1UDNvTXhhMTJ2S3c).

116. Ширин, В.В. Повышение пропускной способности улично-дорожной сети города / В.В. Ширин // Вестник ХНАДУ. – 2010. – вып. 50. – С. 40-47.
117. SMP2.0 Final Report – Integrated Sustainable Mobility in Cities, a practical guide [Электронный ресурс] // WBCSD. – 2016. – 92 p. – Режим доступа: <http://www.wbcd.org/Projects/smp2/Resources/SMP2.0-Final-Report-Integrated-Sustainable-Mobility-in-Cities-a-practical-guide>.
118. Донченко, В.В. Нормативное правовое и методическое обеспечение организации дорожного движения и транспортного планирования в городах Российской Федерации: от «городов для автомобилей» к «городам для людей» [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа: [https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKewj6wKeLtc3MAhUKKpoKHeKeBIkQFggcMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.transport.mos.ru%2Fcommon%2Fupload%2Fdocs%2F1433343858\\_Donchenko.pptx&usg=AFQjCNG-fcFMFydChQ1AEhPyvhQz4Pmw8A&sig2=4KViti6e\\_1GIzgMMhBsbpg&cad=rjt](https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKewj6wKeLtc3MAhUKKpoKHeKeBIkQFggcMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.transport.mos.ru%2Fcommon%2Fupload%2Fdocs%2F1433343858_Donchenko.pptx&usg=AFQjCNG-fcFMFydChQ1AEhPyvhQz4Pmw8A&sig2=4KViti6e_1GIzgMMhBsbpg&cad=rjt).
119. СНиП 2.07.01-89. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений.
120. Баранов, Ю.Н. Анализ и оценка риска при перевозке опасных грузов автомобильным транспортом в АПК / Ю.Н. Баранов, А.П. Трясцин // Вестник ОрелГАУ. – 2010. – № 5. – С. 29-32.
121. Hallikas, J. Risk management processes in supplier networks / J. Hallikas, I. Karvonen [et al.] // International Journal of Production Economics. – 2004. – Vol. 90. – P. 47–58.
122. Mussigmann, N. Mitigating Risk during Strategic Supply Network Modelling / N. Mussigmann, W. Kersten, T. Blecker // Managing Risk in Supply Chains. – 2006. – Vol. 1. –P. 213–226.
123. Tuncel, G. A high level Petri net based modeling approach for risk management in supply chain networks / G. Tuncel, G. Alpan // Proceedings of the 21st ESM 2007. – 2007. – P. 178-185.
124. Tuncel, G. How can risks be managed in logistics networks / G. Tuncel // Dangerous Materials: Control, Risk Prevention and Crisis Management. – 2010. – P. 93-100.

125. Дюльгер, А.И. Классификация рисков в международных мультимодальных перевозках / А.И. Дюльгер // Молодой ученый. – 2014. – №8. – С. 457-459.
126. Makarova, I. System approach at risk management of the autoservice enterprise / I. Makarova, R. Khabibullin [et al.] // Materials of the II International symposium of young researchers «Transport problems 2013». – 2013. – P. 557-567.
127. Смуров, М.Ю. Безопасность полетов воздушных судов гражданской авиации с учетом рисков возникновения негативных событий [Электронный ресурс]/ М.Ю. Смуров, Е.А. Куклев [и др.] // Транспорт Российской Федерации: портал для специалистов транспортной отрасли. – Режим доступа: <http://www.rostransport.com/themes/7500/>.
128. Юдковски, Е. Когнитивные искажения, влияющие на оценку глобальных рисков [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.proza.ru/2007/03/08-62/>.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Центры притяжения трудовых и деловых корреспонденций г. Набережные Челны

Наименование предприятия	Численность персонала, чел.
ОАО «Татэнергосбыт», Набережночелнинское отделение	1342
ОАО «Татэнергосбыт», Камское отделение	438
ОАО «КАМАЗ» (дирекция)	14147
ЗАО «КАММИНЗ КАМА»	3588
ОАО «КАМАЗ-Дизель»	7197
ОАО «КАМАЗинструментспецмаш»	3865
Металлургический комплекс ПАО «КАМАЗ»	12520
ООО «Прокатный завод»	135
ООО ПКФ «Камский завод запасных частей»	72
ОАО «Камский прессово-рамный завод»	6532
ПАО ТФК «КАМАЗ»	1500
Научно-технический центр ПАО «КАМАЗ»	1080
Автомобильный завод ПАО «КАМАЗ»	9200
ОАО «Соллерс»	2833
ЗАО «Ремдизель»	448
ТД «Татэлектромаш»	21
ООО «ЖБИ-Челны»	312
ЗАО НЗМК «ТЭМ-ПО»	517
ЗАО ПК «Технотрон»	189
ООО ПК «Завод транспортного электрооборудования»	607
ООО «Начало»	733
СП «Астейс»	144
ООО «ТехСнаб»	37
ООО «Авторемонтный завод»	96
ООО «Камский арматурный завод»	51
ЗАО «Камский завод Автоагрегатцентр»	139
ООО «Полимер»	72
Челнинский завод электромонтажных заготовок	117
ОАО «Татэнерго»	2086
ОАО «Челны-Лада»	238
ООО «Сапсан»	135
ООО «Сатурн»	581
ЗАОр «Народное предприятие Набережночелнинский Картонно-бумажный комбинат»	1765
ООО «Комбинат строительных материалов»	461
ООО «Камская строительно-монтажная компания»	246
ООО «КамгэсЗЯБ»	561
ООО «Домостроительный комбинат»	386
ЗАО «Татпроф»	919
ОАО «СтройДеталь»	185
ООО «Камастрой»	537



ООО «Гравзавод»	197
ОАО «ВАМИН» (Молокозавод)	716
ООО «Акульчев»	83
ЗАО «Челны-Хлеб»	1765
ОАО «Булгарпиво»	700
ОАО «Челны Холод»	922
ООО «Джойта»	17
ИП ТПК «Мебель-Сервис»	39
ООО «Мебельная фабрика «Ак Барс»	88
ООО «Набережночелнинская типография»	86
ЗАО «Трест Камдорстрой»	2243
ООО «Челнылифт»	572
МУП «Предприятие автомобильных дорог»	560
ООО «ИнвестСтрой»	468
ООО «КамГэсАвтозаводстройИнвест»	410
ООО «Двигательмонтаж-НК»	348
ООО «Строймеханизация-МА»	267
ООО «Строй-кран»	257
ООО «Отделстрой-2»	267
ООО «Камаэнергоремонт»	160
ОАО «Энерговетилизация»	156
ОАО «Татэлектромонтаж»	123
ОАО «КамГЭСэнергострой»	292
ОАО «Челнымонтажавтоматика»	90
МУП «Служба градостроительного развития»	89
ООО «Луч»	83
ООО «Стальконструкция»	87
ГУП «Татинвестгражданпроект»	81
ООО «Камгэсгражданстрой»	105
ОАО «КамТИСИЗ»	61
ООО «Челныпроект»	48
ОАО «Спецатоммонтаж»	29
ОАО «КАМАтранссервис»	1396
ООО «Электротранспорт»	1235
ЗАО «ПАК-Инвест»	1130
ООО «КАМА-ТРАКС»	321
Мясокомбинат	630
ОАО «Таттелеком»	493
ООО «Промжелдортранс-сервис»	301
ООО «Железнодорожник»	183
ООО «Камгэсавто»	149
ОАО «Кама»	64
Набережночелнинский Элеватор	59
ЗАО «Челныводоканал»	2102
ЭПУ «Челныгаз»	479
МУП «Челныкоммунхоз»	454
ОАО «Горзеленхоз»	412
МП «ГОРСВЕТ»	121

Бизнес-отель «Татарстан»	85
ТК «Континент Электрик»	33
ООО «Электротехников»	585
ООО «Махалля»	534
ООО «Камстройсервис»	365
ООО «Паритет»	337
ООО «Жилкомсервис»	292
Бизнес-центр «Единство»	157
ООО «ЖилЭнергоСервис»	93
ООО «Зяб-Сервис»	86
ООО «Стандарт»	86
Технопарк «it-park»	383
ООО «Бумажник»	81
ООО «Ремжилстрой»	72
ООО «Гарант-сервис»	38
ООО «Челныстройремонт»	888
Городская детская поликлиника №1	285
Городская детская поликлиника №2	681
Городская детская поликлиника №3	266
Городская детская поликлиника №4 им. Ф.Г. Ахмеровой	445
Городская детская поликлиника №5	327
Городская детская поликлиника №6	513
Городская поликлиника №1	397
Городская поликлиника №2	475
Городская поликлиника №3	343
Городская поликлиника №4	447
Городская поликлиника №5	465
Городская поликлиника №6	318
Городская поликлиника №7	328
Городская поликлиника №8	242
Городская поликлиника №9	179
Городская поликлиника №11	376
ГАУЗ БСМП	1316
Городская больница №5	1360
Городская больница №2	552
Центр гигиены и эпидемиологии	160
Пансионат для ветеранов труда	137
Тукаевская центральная районная больница	185
Стоматологическая поликлиника №1	179
Стоматологическая поликлиника №2	190
Стоматологическая поликлиника №3	185
Станция скорой медицинской помощи	410
Набережночелнинский наркологический диспансер	165
Набережночелнинский психоневрологический диспансер	255
Закамская детская больница с перинатальным центром	521
Набережночелнинская инфекционная больница	319
Родильный дом №1	306
ГБУЗ Центр реабилитации слуха	

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Центры притяжения трудовых и учебных корреспонденций г. Набережные Челны

<i>Наименование учреждения</i>	<i>Численность работников, чел.</i>	<i>Численность обучающихся, чел.</i>
Набережночелнинский институт (филиал) Казанского Федерального университета (НЧИ КФУ)	1432	17237
Восточная экономико-юридическая гуманитарная академия (ВЭГУ), набережночелнинский филиал	21	93
Поволжская государственная академия физической культуры, спорта и туризма (Поволжская ГАФКСиТ)	82	244
Российская международная академия туризма, Волжско-Камский филиал	41	183
Современная гуманитарная академия (СГА), набережночелнинский филиал	11	125
Институт экономики, управления и права (ИЭУП), набережночелнинский филиал	43	557
Камский институт	70	345
Камский институт искусств и дизайна (КИИД)	35	300
Набережночелнинский государственный торгово-технологический институт (НГТТИ)	56	1769
Набережночелнинский институт социально-педагогических технологий и ресурсов (НИСПТР)	212	4000
Камский политехнический колледж им. Л.Б. Васильева	51	1300
Камский технико-экономический колледж (КамТЭК)	19	87
Камский гуманитарно-технический колледж (КГТК)	21	134
Камский институт менеджмента и бизнеса (КИМБ)	13	706
Набережночелнинский колледж искусств	135	241
Набережночелнинский медицинский колледж	47	816
Набережночелнинский педагогический колледж	60	730
Набережночелнинский политехнический колледж	197	750
Набережночелнинский строительный колледж	78	420
Набережночелнинский экономико-строительный колледж им.Е.Н. Батенчука (КамСК им.Е.Н. Батенчука)	65	150
Технический колледж	37	315
Торгово-технический колледж	21	115
Набережночелнинский филиал Казанского Национального Исследовательского Технического Университета им. А.Н. Туполева (КНИТУ-КАИ)	51	373
Набережночелнинский филиал Московского государственного университета культуры и искусства (МГУКИ)	17	105
Набережночелнинский филиал Университета управления «ТИСБИ»	65	507
Камский государственный автомеханический техникум	253	1380

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### Центры притяжения культурно-бытовых корреспонденций г. Набережные Челны

Развлекательные учреждения	Крупные торговые центры
Набережночелнинский дельфинарий	ТЦ «Омега»
МЦ «Заман»	гипермаркет «Лента»
МЦ «Нур»	гипермаркеты «Мегастрой»
МЦ «Орион»	гипермаркеты «Эссен»
ДК «КАМАЗ»	ТРЦ «Торговый квартал»
ЦНК «Родник»	ТЦ «Палитра»
ДК «Энергетик»	ТЦ «Апельсин»
РК «Арарат»	ТД «Арзан»
РК «Батыр»	ТЦ «БУМ»
РК «Колизей»	ТЦ «Глобус»
Городской парк культуры и отдыха	ТЦ «Джумба»
Стадион «Камаз»	ТК «Интермакс»
Стадион «Строитель»	ТЦ «Капитан»
Парк «Победа»	ТЦ «Метро Кэш энд Керри»
Парк «Прибрежный»	ТЦ «Муравейник»
Ипподром	ТЦ «На Пушкинской»
Городской дворец творчества детей и молодежи № 1	ТЦ «Одежда»
Ул. Центральная	ТДЦ «Океан»
Сквер Титова	ТЦ «Панорама»
Спортивный комплекс «Единая Россия»	ТЦ «Элекам»
Ледовый дворец спорта	гипермаркет «Леруа Мерлен»
Набережная	рынок «Алан»
Парк «Гренада»	рынок «Тулпар»
Бульвар Энтузиастов	Авторынок «Кама»
Муниципальное автономное учреждение культуры «Органный зал»	рынок «Закамье»
Концертный зал им. Сары Садыковой	Комсомольский рынок
	ТЦ «Алтын Ай»
	ТЦ «Южный»
	ТЦ «Октябрьское»

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

## Характеристика автобусных маршрутов г. Набережные Челны

Таблица Г.1 – Перечень маршрутов городского пассажирского транспорта

№ п/п	№ маршрута	Наименование маршрута	Интервал движения во временные периоды суток (час, мин)				ВСЕГО пассажиров в сутки	из них льготников:	Протяженность маршрута, км	Время кругорейса, час	Марки автобусов
			5.00-8.00	8.00-15.00	15.00-18.00	18.00-23.00					
1	1А	Мясокомбинат-Кузнечный завод	1-3	3-4	1-3	3-4	10752	1616	41,8	1,70	ПАЗ, Газель, Fiat
2	1Б	П.Кама - ул. Ш.Усманова	2-4	3-4	2-4	3-4	7546	1134	45,4	1,96	ПАЗ, Газель, Fiat
3	2	Мясокомбинат-пос. ЗЯБ	2-4	13-15	2-4	14-16	2448	368	21,6	0,95	ПАЗ, Газель
4	6	СПТУ-76- пос. ЗЯБ	20-30	20-40	20-30	20-40	1252	188	21,2	1,08	ПАЗ
5	7	Мясокомбинат-завод Двигателей	4-6	7-9	4-6	7-10	3460	520	40,6	1,67	ПАЗ, Fiat
6	7А	Мясокомбинат-ул. Ботаническая	2-3	3-5	2	3-5	9227	1387	36,3	1,67	ПАЗ, Богдан
7	8	Элеваторная горамкрн Бумажников	10-14	15-25	10-14	15-25	2175	327	13,5	0,60	ПАЗ
8	10	Мясокомбинат-Кузнечный завод	8-12	10-14	8-12	10-14	2076	312	42,1	2,00	Богдан
9	10А	Молокозавод-Кузнечный завод	3-4	3-4,5	3-4	3-5	7579	1139	41,1	1,83	ПАЗ, Fiat
10	25	Автостанция - ул. Ш.Усманова	8-10	14-20	8-10	15-25	3276	492	39,4	1,50	Нефаз
11	43	Мясокомбинат - пр.Чулман - ул. Ш.Усманова	2-3	4-6	2-4	4-6	9707	1459	39,4	1,50	ПАЗ
12	109	пос. ЗЯБ - ул. Раскольникова	2-4	3-4	2-4	3-5	7325	1101	45	1,79	Ford
13	16	Мясокомбинат - ул. Раскольникова	6-8	6-10	6-8	10-14	1864	280	38,9	1,88	Газель, Ford
14	203	Мясокомбинат - ул. Ш.Усманова	6-8	7-10	6-8	7-10	4199	631	45,8	1,98	ПАЗ
15	204	Кузнечный завод - Центр слуха	3-5	7-8	3-5	7-8	5696	856	26,5	1,34	ПАЗ
16	205	Кузнечный завод - ДК Энергетик	4-5	4-6	4-5	4-9	5767	867	37,2	1,66	ПАЗ
17	206	пос. ЗЯБ - ул. Ш.Усманова	3-5	4-8	3-5	6-10	2471	371	33,3	1,65	Газель, Fiat

18	207	ул. Ахметшина - ЗМА	2-3	4-5	2-3	4-5	4642	698	27	1,28	ПАЗ, Fiat
19	209	ДК Энергетик - завод Двигателей	4-6	4-8	4-6	4-8	3051	459	47,2	1,67	Газель
20	211	Рынок "Закамье"- ул. Ш.Усманова	1-3	2-4	1-3	2-6	6302	947	41,8	1,67	ПАЗ, Hyundai
21	212	пос. ЗЯБ "Эссен"- ул. Ш.Усманова	3-4	2-6	3-4	4-7	3898	586	42,2	1,85	Газель, Ford
22	213	пос. ЗЯБ- Кузнечный з-д	8-12	12-18	8-12	12-18	2636	396	34,7	1,65	ПАЗ
23	213Б	пос. ЗЯБ- Кузнечный завод	2-4	6-8	2-4	6-8	4237	637	34,7	1,34	Газель, Ford
24	304	Кузнечный завод- пос. ЗЯБ	10-14	12-16	10-14	12-18	2636	396	40,1	1,96	ПАЗ
25	305	ул. Ш.Усманова - Мясокомбинат	2-3	2-4	2-3	3-4	8634	1298	42,2	1,90	ПАЗ, Ford
26	307	ул. Ш.Усманова - Мегастрой	3-4	4-6	3-4	4-6	3065	461	37,5	1,80	Газель
27	424	з-д Двигателей - пр.Чулман - ДК Энергетик	4-5	6-8	4-5	6-8	3783	569	36,5	1,72	Газель, Ford

Таблица Г.2 – Основные эксплуатационные характеристики ПС

№ п/п	Марка ПС	Вместимость, чел	Длина, м	Скорость сооб- щения, км/ч
1	Газель	13	5,5	60
2	ПАЗ	46	7	40
3	ISUZU Богдан	43	7,43	50
4	Hyundai	43	7	50
5	НефАЗ	116	11,76	40
6	Ford-Transit	18	6,403	60
7	Fiat Ducato	15	5,6	60

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

### Расчетно-транспортные районы г. Набережные Челны с указанием центров притяжения

Номер района	Центры притяжения	Номер района	Центры притяжения
1	Авторынок КАМА	39	Новые жилые районы (35й комплекс)
2	Молокозавод	40	Набережная
3	Рынок «Закамье»	41	Кадетская школа № 82
4	Мясокомбинат	42	Юридическое отделение НЧИ КФУ
5	Автовокзал	43	ТЦ «Омега»
6	КамСК им.Е.Н. Батенчука	44	Управление МВД г. Н. Челны
7	Пос. Сидоровка	45	НГТТИ
8	Городская больница №2	46	ТЦ «Южный»
9	Городской парк культуры и отдыха	47	Стадион «Камаз»
10	Гостиница «Татарстан»	48	Бульвар Энтузиастов
11	ДК «Энергетик»	49	Технопарк «it-park»
12	Поволжская ГАФКСиТ	50	Производственные предприятия
13	Пансионат для ветеранов труда	51	ПАО «КАМАЗ»
14	Комсомольский рынок	52	ЗАО «КАММИНЗ КАМА»
15	Ул. Центральная	53	Гипермаркет «Эссен» на Яшьлек
16	Набережночелнинский Элеватор	54	МАУК «Органный зал»
17	ООО «ЖБИ-Челны»	55	рынок «Тулпар»
18	Сквер Титова	56	ТЦ «Глобус»
19	Пос. Красные Челны	57	ТЦ «Октябрьское»
20	Замелекесье	58	ДК «КАМАЗ»
21	Тукаевская районная больница	59	Парк «Победа»
22	ТЦ «Алтын Ай»	60	Экономическое отделение НЧИ КФУ
23	Пос. Рябинушка	61	ТЦ «Палитра»
24	Гипермаркет «Эссен» на ЗЯБи	62	Концертный зал им. С.Садыковой
25	Центр гигиены и эпидемиологии	63	Майдан парка «Прибрежный»
26	Спортивный комплекс «Единая Россия»	64	Лицей № 76 и Лицей № 78
27	ГАУЗ БСМП	65	Парк «Прибрежный»
28	ТД «Арзан»	66	ТЦ «На Пушкинской»
29	Пос. Орловка	67	Ледовый дворец спорта
30	Новые жилые районы (36й комплекс)	68	рынок «Алан»
31	Бизнес-центр «Единство»	69	Администрация Автозаводского р-на
32	филиал КНИТУ-КАИ	70	Камский институт искусств и дизайна
33	ГБУЗ Центр реабилитации слуха	71	Свято-Вознесенский собор
34	Набережночелнинская инфекционная больница	72	Городской дворец творчества детей и молодежи № 1
35	ТРЦ «Торговый квартал»	73	Торгово-промышленная палата
36	Городская поликлиника №6	74	ТИСБИ
37	Автомобильное отделение НЧИ КФУ	75	Новые жилые районы (65й, 66й, 67й, 70й микрорайоны)
38	ТЦ «Метро Кэш энд Керри»	76	БСИ

## ПРИЛОЖЕНИЕ Е

### АНКЕТА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОБИЛЬНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ

ВЫ ЖИВЕТЕ В ГОРОДЕ НАБЕРЕЖНЫЕ ЧЕЛНЫ?		ДА	НЕТ	КАК ЧАСТО ВЫ ИСПОЛЬЗУЕТЕ...			ЦЕЛЬ ПОЕЗДКИ						
В КАКОЙ ЧАСТИ ГОРОДА ВЫ ЖИВЕТЕ?				личный автомобиль	почти каждый день время от времени никогда	почти каждый день время от времени никогда	работа/учеба покупки/отдых другое						
НГ	Сидоровка	ЗЯБ	ГЭС										
В КАКОМ КОМПЛЕКСЕ ВЫ ЖИВЕТЕ?				велосипед	почти каждый день время от времени никогда	почти каждый день время от времени никогда	работа/учеба покупки/отдых другое						
заполняется для того вида транспорта, который используется регулярно									общественный транспорт	почти каждый день время от времени никогда	почти каждый день время от времени никогда	работа/учеба покупки/отдых другое	
допустимо несколько ответов				пешая ходьба	почти каждый день время от времени никогда	почти каждый день время от времени никогда	работа/учеба покупки/отдых другое						
ОПИСАНИЕ ПОЕЗДОК ВАШЕГО ТИПИЧНОГО ДНЯ													
ВРЕМЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ТЕЧ. 24 Ч		ХАРАКТЕРИСТИКА МАРШРУТА И ИНФРАСТРУКТУРЫ			ДА	НЕТ	ОПЫТ ВАШИХ ЕЖЕДНЕВНЫХ ПОЕЗДОК		ДА	НЕТ			
личный автомобиль	минут в день		Вы являетесь водителем автомобиля?					часто ли Вы попадаете в пробки?					
	<15	15-30	30-60	60-90	Вы являетесь пассажиром автомобиля?			сталкиваетесь ли Вы с проблемой поиска парковок?					
					у Вас есть водительские права?			платите ли Вы более 50руб за парковку?					
	90-120			>120	Вы используете мотоцикл?			чувствуете ли Вы себя в безопасности при вождении?					
велосипед	минут в день		НА ВАШЕМ ЕЖЕДНЕВНОМ МАРШРУТЕ...					используете ли Вы велосипед при небольшом дожде?					
	<15	15-30	30-60	60-90	попадают ли Вам на пути велосипедные дорожки?			используете ли Вы велосипед при температуре ниже 10°C?					
					есть ли непрерывная велосипедная дорожка?			попадали ли Вы в аварии на велосипеде?					
	90-120			>120	есть ли возможность безопасной парковки велосипеда?			боитесь ли Вы попасть в аварию на велосипеде?					
					все ли велосипедные дорожки освещены?			чувствуете ли Вы уважение от водителей автомобилей на дороге?					
					Вы используете свой собственный велосипед?			у Вас воровали велосипед?					
				берете ли Вы велосипед напрокат?			боитесь ли Вы кражи велосипеда?						
				вносите ли Вы велосипед в автобус?									
общественный транспорт	минут в день		НА ВАШЕМ ЕЖЕДНЕВНОМ МАРШРУТЕ...					часто ли автобусы переполнены?					
	<15	15-30	30-60	60-90	находится ли Ваша остановка в 5 минутах ходьбы от дома?			являются ли автобусы/трамваи и остановки изношенными?					
					нуждаетесь ли Вы в пересадках?			используете ли Вы только автобус?					
	90-120			>120	приезжает ли необходимый Вам автобус/трамвай каждые 10 мин?			чувствуете ли Вы себя в безопасности в автобусе/трамвае?					



пешая ходьба	минут в день				<b>НА ВАШЕМ ЕЖЕДНЕВНОМ МАРШРУТЕ...</b>	ежедневно Вы ходите более 1 км?			
	<15	15-30	30-60	60-90		есть ли тротуары?		тротуары в хорошем состоянии?	
					достаточно ли тротуары освещены?		чувствуете ли Вы себя в безопасности?		
	90-120		>120		чувствуете ли Вы уважение от водителей автомобилей на дороге?				

### БЛОК СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

<b>Выполнение каких минимальных требований, убедило бы Вас пользоваться велосипедом ЕЖЕДНЕВНО?</b>										
велосипед	наличие непрерывных велосипедных дорожек						активные пользователи велосипеда также могут заполнить этот блок			
	наличие велосипедных дорожек с защитой от дождя, ветра и солнца									
	наличие безопасных велосипедных парковок на всем Вашем маршруте									
	наличие безопасных велосипедных парковок на остановках общественного транспорта									
	наличие мест доступного проката велосипедов									
	возможность брать велосипед с собой в автобус/трамвай									
	доступность велосипедов с электромотором									
	нет возможности регулярно использовать велосипед ни при каких условиях									
<b>Выполнение каких минимальных требований, убедило бы Вас пользоваться общественным транспортом ЕЖЕДНЕВНО?</b>										
общественный транспорт	возможность дойти до остановки пешком максимум за 5 минут						активные пользователи общественного транспорта также могут заполнить этот блок			
	время ожидания автобуса/трамвая составляет не более 5 минут									
	наличие прямого беспересадочного маршрута до работы/учебы/магазинов									
	автобусы/трамваи всегда чистые, оснащены обогревом/кондиционером									
	всегда есть сидячие места									
	нет возможности регулярно использовать общественный транспорт ни при каких условиях									
<b>Блок личной информации</b>										
Какому виду общественного транспорта Вы отдаете предпочтение?		трамвай			большие автобусы					
		микроавтобусы			другое					
Ваш пол		мужской				женский				
Вид основной деятельности		студент		работаю		пенсионер		другое		

## ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

### Результаты натурных обследований структуры и интенсивности автотранспортных потоков на сложных участках транспортной сети г. Набережные Челны

	Время	Легковые	Ford, Fiat и пр.	НефАЗ, ПАЗ, Богдан и пр.	Грузовые	ИТОГО
<b>ЦЕНТРАЛЬНАЯ</b>	в сторону ГЭСа					
	7.00 – 9.00	3016	193	78	67	3354
	11.00 – 13.00	2123	281	44	111	2559
	16.00 – 18.00	3697	373	114	120	4304
	в сторону Нового города					
	7.00 – 9.00	1492	278	128	24	1922
	11.00 – 13.00	2471	335	59	169	3034
	16.00 – 18.00	3714	252	105	117	4188
	<b>МКРН БУМАЖНИКОВ</b>	в сторону ГЭСа				
7.00 – 9.00		2972	454	141	33	3600
11.07 – 12.54		3177	488	63	51	3779
16.05 – 18.00		2615	222	63	17	2917
в сторону Нового города						
7.00 – 9.00		3510	566	163	27	4266
11.07 – 12.54		3485	346	53	98	3982
16.05 – 18.00		1926	218	49	52	2245
<b>ПЕДИНСТИТУТ</b>		в сторону ГЭСа				
	8.00 – 10.00	3938	462	97	159	4656
	11.30 – 12.20	1128	142	10	41	1321
	16.05 – 17.00	7938	402	70	132	8542
	в сторону Нового города					
	8.00 – 10.00	3958	421	77	87	4543
	11.30 – 12.20	1285	169	14	39	1507
	16.05 – 17.00	7494	396	60	84	8034
	<b>ЧЕЛНЫГОРСТРОЙ</b>	в сторону ГЭСа				
7.00 – 9.00		4718	450	102	168	5438
11.35 – 13.35		4222	435	44	166	4867
16.35 – 18.35		5215	468	161	171	6015
в сторону Нового города						
7.00 – 9.00		4778	502	96	150	5526
11.35 – 13.35		4183	544	61	159	4947
16.35 – 18.35		5375	461	132	142	6110

	Время	Легковые	Ford, Fiat и пр.	НефАЗ, ПАЗ, Богдан и пр.	Грузовые	ИТОГО
<b>МЕДГОРОДОК</b>	в сторону ГЭСа					
	7.00 – 9.00	3044	264	81	86	3475
	11.00 – 13.00	3301	267	109	121	3798
	16.00 – 18.00	3690	290	71	105	4156
	в сторону Нового города					
	7.00 – 9.00	3000	354	108	54	3516
	11.00 – 13.00	3100	262	104	176	3642
16.00 – 18.00	3618	293	78	99	4088	
<b>7 КОМПЛЕКС</b>	в сторону ГЭСа					
	7.00 – 9.00	1333	317	21	17	1688
	11.07 – 12.54	1205	282	9	34	1530
	16.05 – 18.00	1520	382	22	19	1943
	в сторону Нового города					
	7.00 – 9.00	1551	229	36	53	1869
	11.07 – 12.54	1817	212	31	67	2127
16.05 – 18.00	1608	210	50	48	1916	
<b>РАЙСПОЛКОМ</b>	в сторону ГЭСа					
	7.00 – 9.00	1166	202	68	50	1486
	11.30 – 13.30	1025	187	13	89	1314
	16.05 – 17.00	1213	229	56	92	1590
	в сторону Нового города					
	7.00 – 9.00	1536	351	93	21	2001
	11.30 – 13.30	1838	330	48	136	2352
16.05 – 17.00	1183	183	51	91	1508	
<b>АВТЗАВОДСКИЙ</b>	в сторону ГЭСа					
	7.00 – 9.00	1186	220	44	64	1514
	11.30 – 13.30	1324	222	28	79	1653
	16.05 – 17.00	1592	220	63	50	1925
	в сторону Нового города					
	7.00 – 9.00	982	198	46	70	1296
	11.30 – 13.30	1545	181	59	74	1859
16.05 – 17.00	1504	216	35	69	1824	

## ПРИЛОЖЕНИЕ И

### А К Т

о внедрении результатов диссертационного исследования  
Шубенковой Ксении Андреевны

**на тему: «ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОБУСНЫХ ПЕРЕВОЗОК  
С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ»**

МУП «Электротранспорт» настоящим актом удостоверяет, что результаты диссертационного исследования Шубенковой Ксении Андреевны могут быть использованы для совершенствования работы городского общественного транспорта и разработки механизмов и комплексных программ по повышению его эффективности. В том числе, при совершенствовании маршрутной сети и расписания движения, оптимизации подвижного состава на маршрутах и разработке прогнозов влияния тех или иных управленческих воздействий на качество транспортного обслуживания населения.

В целом, разработки и рекомендации, представленные в диссертационной работе Шубенковой Ксении Андреевны, имеют практическую ценность для повышения эффективности работы органов местного самоуправления в сфере организации муниципальных пассажирских перевозок.

Директор



Р.Б. Шамсудинов

**Рисунок И.1 - Акт внедрения результатов исследования  
в работу ООО «Электротранспорт»**



Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ОГРН 1021602841391

НАБЕРЕЖНОЧЕЛНИНСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ)

пр. Сююмбике, 10А, г. Набережные Челны, 423812

телефон/факс (8552) 39-59-72

email: chelny@kpfu.ru

28 МАР 2017 № 13.1.29-13/400

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ:

Директор Набережночелнинского

института КФУ,

профессор

М.М. Ганиев

2017 г



Справка

о внедрении результатов диссертационного исследования  
Шубенковой К.А. «Повышение эффективности автобусных перевозок с учетом особенностей  
улично-дорожной сети»

Результаты диссертационного исследования Шубенковой Ксении Андреевны «Повышение эффективности автобусных перевозок с учетом особенностей улично-дорожной сети» внедрены в учебный процесс Набережночелнинского института (филиала) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет».

В частности, материалы диссертационной работы используются при подготовке студентов по направлениям подготовки «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», «Информационные системы и технологии» и «Технология транспортных процессов» в ряде дисциплин, связанных с организацией перевозочного процесса, управлением транспортными системами и моделированием и интеллектуализацией процессов в транспортных системах.

Заведующий автомобильным отделением,

д.т.н., доцент

Заведующий кафедрой «Сервис транспортных систем»

д.т.н., профессор

Заведующий кафедрой «Эксплуатация автомобильного транспорта»,

д.т.н., доцент

Д.Л. Панкратов

И.В. Макарова

А.Т. Кулаков

003292

**Рисунок И.2 - Акт внедрения результатов работы в учебный  
процесс Набережночелнинского института  
ФГАОУ «Казанский (Приволжский) федеральный университет»**



МВД России

МИНИСТЕРСТВО  
ВНУТРЕННИХ ДЕЛ  
ПО РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН  
(МВД по Республике Татарстан)

ОТДЕЛ МИНИСТЕРСТВА  
ВНУТРЕННИХ ДЕЛ РОССИИ  
ПО ЕЛАБУЖСКОМУ РАЙОНУ

ул. Максима Горького, 93, г. Елабуга, 423600  
тел.: 885557 7-84-14, факс: 7-84-00, 7-84-13

22.03.2017 № 69/33/423

на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

### А К Т

о внедрении результатов диссертационного исследования  
Шубенковой Ксении Андреевны

на тему: «ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОБУСНЫХ  
ПЕРЕВОЗОК С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ  
УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ»

Отделение ГИБДД Отдела МВД России по Елабужскому району настоящим актом удостоверяет, что результаты диссертационного исследования Шубенковой Ксении Андреевны используются в качестве превентивных мер по снижению количества ДТП, происходящих в связи с превышением транспортной нагрузки на участках улично-дорожной сети. В том числе, при организации движения общественного транспорта, совершенствовании маршрутной сети и разработке прогнозов влияния тех или иных управленческих воздействий на безопасность дорожного движения города.

В целом, разработки и рекомендации, представленные в диссертационной работе Шубенковой Ксении Андреевны, имеют практическую ценность для повышения эффективности работы органов местного самоуправления в сфере организации движения общественного транспорта, что повлечет за собой повышение безопасности дорожного движения и экологической безопасности.

Начальник ОГИБДД Отдела МВД России  
по Елабужскому району  
подполковник полиции



И.М. Валиев

**Рисунок И.3 - Акт внедрения результатов исследования  
в работу Отделения ГИБДД отдела МВД России  
по Елабужскому району**

**А К Т**

о внедрении результатов диссертационного исследования  
Шубенковой Ксении Андреевны

**на тему: «ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОБУСНЫХ ПЕРЕВОЗОК  
С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ»**

МУП «Электротранспорт» настоящим актом удостоверяет, что результаты диссертационного исследования Шубенковой Ксении Андреевны могут быть использованы для совершенствования работы городского общественного транспорта и разработки механизмов и комплексных программ по повышению его эффективности. В том числе, при совершенствовании маршрутной сети и расписания движения, оптимизации подвижного состава на маршрутах и разработке прогнозов влияния тех или иных управленческих воздействий на качество транспортного обслуживания населения.

В целом, разработки и рекомендации, представленные в диссертационной работе Шубенковой Ксении Андреевны, имеют практическую ценность для повышения эффективности работы органов местного самоуправления в сфере организации муниципальных пассажирских перевозок.

Директор



Р.Б. Шамсудинов

**Рисунок И.4 - Акт внедрения результатов исследования  
в работу Отделения ГИБДД отдела МВД России  
по Менделеевскому району**