

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ «ДОНСКОЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

На правах рукописи

**Криволапова Ольга Юрьевна**

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО  
ДВИЖЕНИЯ ПРИ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИИ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ**

Специальность 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта

**Диссертация**

на соискание ученой степени кандидата технических наук

**Орёл – 2017**

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>5</b>
<b>Глава 1. АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ РАЗВИТИЯ И ВНЕДРЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ .....</b>	<b>9</b>
1.1 Анализ развития интеллектуальных транспортных систем.....	9
1.2 Архитектура ИТС .....	16
1.3 ИТС услуги .....	19
1.4 Формирование функциональной архитектуры .....	27
1.5 Формирование физической и коммуникационной архитектур .....	29
1.6 Разработка плана внедрения ИТС .....	32
1.7 Анализ спроса на объекты ИТС .....	36
<i>Выводы по главе .....</i>	<i>40</i>
<b>ГЛАВА 2. ПРИНЦИПЫ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ ПРИ ВНЕДРЕНИИ ОБЪЕКТОВ АРХИТЕКТУРЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ .....</b>	<b>41</b>
2.1 Управление рисками при внедрении новых объектов ИТС.....	41
2.2 Оценка функционирования транспортной сети.....	46
2.3 Оценка рисков достижения планируемых показателей эффективности.....	49
2.4 Анализ перераспределения транспортных потоков .....	52
2.5 Проблема транспортного равновесия .....	55
2.6 Алгоритм выявления конкурирующих маршрутов .....	57
2.7 Методологии определения изменений скорости транспортных потоков в зависимости от различных параметров функционирования транспортной сети ...	63
2.8 Методология минимизации значения целевого параметра .....	67

2.9 Методология достижения транспортного равновесия .....	70
<i>Выводы по главе</i> .....	73

### **ГЛАВА 3. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ГОРОДА И НЕОБХОДИМОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ ОБЪЕКТА ИТС ДЛЯ РЕШЕНИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПРОБЛЕМ.....**

3.1 Мониторинг транспортной сети города Ростова-на-Дону .....	75
3.1.1 Методология проведения исследований транспортных потоков .....	75
3.1.2 Показатели пассажироперевозок .....	82
3.2 Управление транспортной системой города .....	91
3.3 Этапы внедрения объекта ИТС («Северный тоннель» г. Ростов-на-Дону) ..	98
3.4 Стратегия внедрения объекта ИТС «Северный тоннель» .....	100
<i>Выводы по главе</i> .....	107

### **ГЛАВА 4. МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНЕДРЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ .....**

4.1 Особенности моделирования улично-дорожной сети на микроуровне при внедрении транспортных коридоров .....	109
4.2 Методика оценки эффективности реализации объектов совершенствования транспортной сети.....	114
4.3 Программное обеспечение Aimsun при моделировании внедрения объектов ИТС	118
4.4 Этапы моделирования объектов ИТС .....	123
4.5 Сравнительный анализ работы транспортной системы до и после внедрения объекта ИТС .....	126
4.5.1 Определение эластичности транспортного спроса .....	126

4.6 Реализации методики оценки влияния компонентов ИТС на перераспределение транспортных потоков .....	132
<i>Выводы по главе</i> .....	140
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	141
<b>Список литературы</b> .....	143

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** Высокий уровень автомобилизации современных городов привёл к усложнению функционирования автомобильной транспортной системы – снижению скорости передвижения автомобилей, регулярным транспортным заторам. Неспособность удовлетворить заданный уровень спроса и качества на автомобильные перевозки отражается на различных сферах экономики как отдельного региона, так и страны в целом. Одним из актуальных способов решения транспортных проблем является внедрение интеллектуальных транспортных систем (ИТС). Эффективная реализация объектов ИТС повышает качество транспортного обслуживания населения, обеспечивает безопасность дорожного движения и перевозок, расширяет возможности автоматизированной системы управления дорожным движением (АСУДД) и транспортной системы по удовлетворению возрастающего спроса на пассажирские и грузовые перевозки, повышает качество выполнения государственных функций в транспортном комплексе региона.

Процесс внедрения объектов ИТС является сложным и трудоёмким. Он требует построения различных архитектур ИТС, четкого определения поставленных задач (потребностей пользователей), составления базы данных.

При внедрении конкретных объектов ИТС, необходимо определить эффективность их реализации. Ключевым способом решения данной задачи является математическое моделирование, посредством которого должна быть получена следующая информация: выявление основных рисков реализации проектов интеллектуальных транспортных систем, повышение уровней мобильности, надежности, безопасности, с учетом текущих и перспективных условий внедрения проекта; инвестирование с учетом краткосрочной и долгосрочной реализаций и функционирования объекта.

Внедрение проекта ИТС требует привлечения средств частных организаций, для которых важнейшую роль играет финансовая эффективность проекта. В данной сфере экономические риски напрямую связаны с технической реализацией проекта и его

показателями, такими как степень реагирования на внедряемые функции ИТС, изменение состояния транспортного потока.

Как правило, внедрение определенных объектов ИТС может значительно повысить эффективность функционирования автомобильного транспорта. Во избежание различных рисков и негативных результатов реализации проектов ИТС, актуальной задачей является новый подход в области перераспределения транспортного потока и прогнозирования последующих изменений в состоянии автомобильного потока.

### **Степень разработанности темы.**

Исследования в целом по интеллектуальным транспортным системам отражены в работах Власова В.М., Горева А.Э., Жанказиева С.В., Зырянова В.В., Кочерги В.Г., Михеевой Т.И. В работах Афанасьева М.Б., Клинковштейна Г.И., Кондратьева В.Д., Коноплянко В.И., Корчагина В.А., Кременец Ю.А., Михайлова А.Ю., Новикова А.Н., Печерского М.П., Пугачёва И.Н., Сильянова В.В. посвящены управлению транспортными потоками и автоматизированной системе управления дорожным движением.

Управление транспортными потоками рассмотрены Верейкиным В.Е., Воробьевым А.И., Кондратьевым В.Д., Косолаповым А.В., Шелковым Ю.Д.

**Объект исследования.** Потоки автомобильного транспорта на улично-дорожной сети (УДС).

**Предмет исследования.** Факторы, влияющие на эффективность внедрения объектов интеллектуальных транспортных систем.

**Целью работы** является повышение эффективности организации дорожного движения при помощи реализации функций ИТС, связанных с задачей перераспределения транспортных потоков.

### **Задачи исследования:**

1. Проведение исследования результатов внедрения объектов интеллектуальных транспортных систем и выявление основных принципов оценки их эффективности.

2. Повышение качества транспортного обслуживания путём уменьшения затрат времени на передвижение по определённым маршрутам.

3. Разработка алгоритма определения уровня чувствительности автомобильных потоков к внедряемым объектам интеллектуальных транспортных систем.

4. Разработка динамической модели и анализ характеристик транспортных потоков, их чувствительности и перераспределения при внедрении объекта интеллектуальных транспортных систем.

#### **Научная новизна:**

- определены принципы эффективного внедрения объектов интеллектуальных транспортных систем при совершенствовании организации дорожного движения и разработан алгоритм оценки рисков получения заданных результатов;
- разработаны математические модели определения чувствительности улично-дорожной сети при реализации мероприятий по организации дорожного движения;
- предложен алгоритм оценки эффективности мероприятий, связанных с перераспределением транспортных потоков на сетевом уровне.

**Методология и методы диссертационного исследования.** Для решения поставленных в диссертационном исследовании задач применялась совокупность теоретических и экспериментальных методов, включающих: теории транспортных потоков, методы математического моделирования, теории случайных процессов, теории вероятности и математической статистики.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Принципы эффективного внедрения объектов ИТС, включающие в себя требования к первичности построения архитектуры интеллектуальных транспортных систем и алгоритма оценки рисков при внедрении интеллектуальных транспортных систем.

2. Модифицированный метод оценки перераспределения транспортных потоков при внедрении объектов ИТС на существующей транспортной сети для повышения эффективности организации дорожного движения.

3. Алгоритм выявления чувствительности транспортного потока к внедрению альтернативных маршрутов на УДС города.

**Степень достоверности.** Достоверность диссертационных исследований подтверждена экспериментально, обеспечивается исследованием опыта в области внедрения объектов ИТС, корректным применением моделирования автомобильных потоков, оценкой адекватности последствий данных мер оптимизации.

**Апробация результатов.** Основные результаты диссертационного исследования докладывались на международном форуме по проблемам науки, техники и образования «International Forum 2011» (г. Москва, 2011г.), на III международной научно-практической конференции «Научная дискуссия: инновации в технических, естественных, математических и гуманитарных науках» (г. Москва, 2012), на 5-й Международной научно-практической конференции «Прогресс транспортных средств и систем – 2013», (г. Волгоград, 2013г.), на международной научно-практической конференции «Строительство – 2011», «Строительство-2014» (г. Ростов-на-Дону), Международной научной конференции VI «Science, Technology and Higher Education» (г. Вествуд, Канада, 2014г.), Двенадцатой международной научно-практической конференции «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах» (г. Санкт-Петербург, 2016г.).

**Публикации.** По теме диссертационного исследования опубликовано 15 работ общим объемом 3 п. л., в том числе шесть печатных работ в изданиях, утвержденных ВАК Минобразования РФ для кандидатских диссертаций.

Результаты работы используются в учебном процессе ФГБОУ ВПО «Ростовский государственный строительный университет» при преподавании дисциплин направления 23.03.01 «Технология транспортных процессов», профили подготовки «Интеллектуальные транспортные системы в дорожном движении».

### **Структура и объем работы**

Диссертация состоит из введения, четырех глав основного текста, заключения, списка сокращений и условных обозначений, словаря терминов и библиографического списка из 140 наименований, в том числе 55 источников на иностранном языке. Основной текст размещен на 155 страницах, включает 17 таблиц, 29 рисунков.



## **ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ РАЗВИТИЯ И ВНЕДРЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ**

### **1.1 Анализ развития интеллектуальных транспортных систем**

Эффективность и безопасность функционирования транспортных сетей современных городов осуществляется путём широкого применения интеллектуальных транспортных систем (ИТС). Транспортная политика всех развитых стран мира уже более 35 лет базируется на разработке и продвижении интеллектуальных транспортных систем и создании единого информационного пространства. Изначально внедрение ИТС требовало решения широкого ряда задач: разработок концепции архитектуры ИТС и глобальной международной стандартизации предоставляемых услуг, привлечение инвестиций, и т.д., что затрудняло развитие отрасли ИТС услуг. Поэтому развитие ИТС происходило от внедрения и использования отдельных сервисов и программ к комплексному интегрированному набору услуг.

**Начало развития отдельных элементов ИТС в Европе** можно отнести к 1981 году, когда в ряде стран (Нидерланды, Франция, Германия, Италия, Великобритания) впервые начали применяться динамические информационные табло. Далее, в 1988 в Лондоне появляется компания Trafficmaster, которая по настоящее время специализируется на выпуске программного обеспечения по предоставлению информации о скорости движения автомобильного потока в режиме онлайн, системы навигации, карты движения транспортных потоков и т.д. В 1989 году на скоростных дорогах Италии начинает применяться Telepass - электронная система, базирующаяся на использовании зарегистрированных автомобилей: оплата за пользование скоростными дорогами, снимается со счета владельца транспортного средства без его участия. В 1991 году во Франции различные радиостанции (107.7) начали предоставлять информацию об автомобильном движении города. К концу 90х в Европе начинают приобретать распространение бортовые компьютеры, информирующие водителя транспортного средства о движении автомобильного транспорта и программы, предоставляющие информацию о времени прохождения заданного маршрута. В начале 2000х во Франции была разработана система оплаты Liber-t, благодаря которой оплата

за пользование автомагистралями (а во Франции они практически все платные) происходит без очереди и без остановки автомобиля. В 2006 году в Берлине создан единый центр управления дорожным движением. Далее и по настоящий день развитие ИТС в Европе направлено на совершенствование технологий передачи и обработки данных автомобильного движения.

**История распространения телематических устройств и будущих компонентов ИТС в США** берет своё начало в 1961 году, когда впервые начал осуществляться мониторинг автомобильного движения благодаря камерам видеонаблюдения (система телевидения замкнутого контура). Затем, в начале 90х, появляются первые тестовые программы контроля дорожного движения, а уже в 1994 году публикуется национальная архитектура ИТС США. С начала 2000х на всей территории США применяется унифицированное управление автомобильным движением.

**Начало применения элементов ИТС в Азиатско-Тихоокеанском регионе** относят к 1963 году с появлением продукта SCATS (Sydney Coordinated Adaptive Traffic System) – системой управления дорожным движением при помощи которого осуществлялось измерение интенсивности движения автомобильного транспорта. В настоящее время данная система позволяет построение маршрута, моделирование перекрестков для повышения пропускной способности и уменьшения количества остановок на маршруте. Система SCATS получила широкое распространение не только по всей Австралии, но и за её пределами, включая Сингапур, Китай, Ирландию, Чили, Бразилию, Южную Африку, США и Катар. В 1971 году в Токио (Япония) появляется единый центр управления автомобильного движения. 1988 год – в Сингапуре разработана и внедрена система координированного регулирования транспортных потоков по городским улицам, при использовании индуктивных детекторов. К середине 2000х в ряде стран (Япония, Корея, Австралия, Сингапур, Китай, Малайзия) функционируют интегрированные национальные интеллектуальные центры управления дорожным движением на автомобильных маршрутах и автострадах.

К настоящему времени транспортные проблемы носят особенно острый характер. Замедление темпов развития экономики, загрязнение окружающей среды,

климатические изменения, всё это вынуждает максимально эффективно использовать имеющиеся ресурсы и повышать конкурентоспособность ИТС.

В качестве примера рассмотрим транспортную политику ряда стран, направленную на внедрение и развитие ИТС.

### **Швеция**

В 2010 году был разработан план по расширению применения ИТС в Швеции, имеющий три основные задачи: развитие сотрудничества между государственным и частным секторами экономики; предоставление консультаций шведскому министерству транспорта по реализации «Мультимодальной стратегии и плана действий применения ИТС»; расширять связи Швеции с другими странами Европы. Для выполнения поставленных задач потребовалось не только тесное сотрудничество между государственным сектором и частными предприятиями, но также и согласование действий между различными органами власти (Министерство транспорта Швеции, авто - транспортные предприятия Швеции, служба гражданской безопасности, управление городского кадастра и регистрации земельных участков, метеорологический институт и др.).

Данный план включал в себя 6 направлений:

#### **а) Инновации в области транспортных систем**

Достигнут прогресс в производстве наиболее эффективных программ для использования ИТС. Тем не менее, в настоящее время ещё существуют пробелы в сфере мультимодального применения. Развитие научной школы и аспирантуры в области ИТС предполагает создание мощной интеллектуальной базы и постоянного развития этого сектора.

#### **б) Данные и инновации**

Совет по ИТС уделял значительное внимание этой области и отмечает многочисленные инициативы, направленные на развитие доступности данных. Часть из этих мер включены в Директиву ИТС Европейского Союза и в шведское

законодательство. Продолжение работы необходимо для того, чтобы определить место ИТС на рынке услуг.

#### в) Транспортные средства и коммуникации

Комитет по ИТС подчеркивает важность продолжения исследований в этой области для постоянного развития ИТС.

#### г) Грузовой транспорт

Создана карта ИТС-услуг, в которой отмечены экологические зоны, терминалы электронной оплаты, динамический контроль доступа к инфраструктуре для транспортных средств, которые отклоняются от стандартных и безопасных парковочных мест.

#### д) Пассажирский транспорт

Меры, принятые в данной сфере, предоставляют пассажирам информацию, системы бронирования и оплаты, системы безопасности. Данные мультимодальных перевозок, входящих в зону применения ИТС, прописаны в шведском законодательстве. Шведское управление транспортом готовит план действий по пассажирской информации в соответствии с недавно разработанной стратегией. Шведская ассоциация общественного транспорта реализует проект по общей платежной системе и активно работает с вопросами безопасности.

#### е) Метрополитен

Основные вопросы в данной сфере: дополнительное финансирование, управление потоками и управление информацией для пассажиров, совершающих мультимодальные поездки.

#### Турция

Основной проблемой, выделенной в Турции, является унификация информации и коммуникативных технологий на всех видах транспортных средств для достижения согласованности движения, безопасности, эффективности, экологичности, создавая, таким образом, «умную» транспортную сеть.

### Цели стратегии:

1. Разработка административных и технических регламентов в соответствии с национальными и международными стандартами для планирования применения и интеграции ИТС по всей стране.
2. Разработка конкурентоспособной турецкой отрасли народного хозяйства ИТС на мировом уровне.
3. Распределение ИТС-услуг по всей стране для повышения безопасности и эффективности дорожного движения.
4. Повышение транспортной доступности с помощью ИТС.
5. Сокращение потребления топлива и выбросов газов в результате движения автомобильного транспорта.

План действий по достижению вышеперечисленных целей состоит из 38 пунктов, выполнение которых равномерно распределено по годам.

### Сингапур

Учитывая специфику государства, с постоянно растущим показателем численности населения и уровня автомобилизации, власти стремятся создать «единое интерактивное сообщество наземного транспорта». Стратегия развития ИТС имеет несколько направлений и задач. Первое направление – разработка и использование инновационных технологий, которые будут применяться в текущих транспортных условиях и при будущих изменениях. Второе направление – привлечение инвестиций от частного сектора. И третье направление заключается в разработке стандартов для обеспечения совместимости между системами и пользователями.

К первой задаче относится информационное обеспечение (сбор, обработка, передача). Различные устройства и системы учета перемещения транспортных средств осуществляют постоянную передачу данных о состоянии транспортного движения на различных маршрутах. В настоящее время ярко выражено стремление к использованию наиболее современных методов сбора данных: мобильные данные на основе определения местоположения, глобальные навигационные спутниковые системы,

видеонаблюдение высокой четкости и т.д. Так же отмечается стремление к использованию минимального количества датчиков с получением максимума данных – расширение операций фиксирования движения. Параллельно с устройствами сбора данных должны развиваться устройства обработки данных. Динамическая обработка данных позволяет заранее определить проблемные зоны транспортного движения. Новые носители, такие как приложения смартфонов, навигационные системы и т.д. позволяют мгновенную передачу информации. Также важную роль играет качество информации о скорости движения транспортных средств, время в пути, ДТП, и т.д. Её визуализация и передача должна быть максимально простой и понятной водителю. Другими аспектами в области информации являются соблюдение конфиденциальности и работа над стандартизацией информации.

Ввиду высокого уровня автомобилизации в Сингапуре особое внимание уделяется защите окружающей среды. Поощряется распространение экологически чистого транспорта, использующего альтернативные виды топлива. К сожалению, на данный момент данный тип транспорта обладает низкой мощностью, высокой стоимостью, также пользователи экологически чистого транспорта сталкиваются с проблемой отсутствия станций зарядки данных транспортных средств. В будущем планируется внедрение не только личного экологически чистого транспорта, но и общественного.

Другой вид транспорта, применяющийся в Сингапуре – транспорт, оснащённый инновационными программами, которые дают информацию об условиях движения на выбранном маршруте, свободных парковочных местах и т.д.

### **Финляндия**

Транспортная политика в Финляндии по внедрению ИТС включает в себя: решение финансовых проблем государства, повышение национальной конкурентоспособности, развитие информационных и коммуникационных технологий.

Программа внедрения ИТС включает в себя следующие направления: финансовую доступность услуг, постоянное их развитие и совершенствование, ширину охвата применения, конфиденциальность данных пользователей, сотрудничество государственного и частного секторов.

В транспортной системе, ориентация на клиента и доступность использования услуг состоят из ряда факторов, наиболее важными из которых являются: мобильность, единство транспортной системы, качество информационных услуг.

Другим направлением транспортной политики Финляндии является ускорение темпов реализации внедрения ИТС. Как относительно молодой сектор промышленности, ИТС услуги часто представлены в пилотных проектах. В будущем, внимание будет постепенно смещаться к реализации и распространению интегрированных систем ИТС.

### **Норвегия**

Первый проект реализации ИТС был запущен в 2002 году, согласно которому ожидалось достижение следующих целей: безопасность в транспортной инфраструктуре, использование потенциала транспортной инфраструктуры, выгоды для пользователей транспортной инфраструктуры. Для их достижения были созданы научные школы ИТС, необходимая архитектура, особым вниманием пользовались разработки приложений.

В 2009 году стратегия подверглась некоторым корректировкам и цели транспортной политики начали иметь следующий вид: сокращение времени поездок, сведение к нулю количество несчастных случаев со смертельным исходом, ограничение выбросов парниковых газов и уменьшения воздействия на окружающую среду, универсальная архитектура транспортной системы.

В настоящее время достижение вышеупомянутых целей осуществляется на всех видах транспорта (автомобильном, железнодорожном, водном и воздушном).

На базе проведенного исследования зарубежного опыта распространения интеллектуальных транспортных систем, можно сделать вывод, что развитие от применения одной услуги ИТС в сложную интегрированную систему невозможно без изначального построения архитектуры ИТС. С её помощью возможно наглядное представление взаимосвязей всех элементов будущих услуг и прогнозирование их развития.

## 1.2 Архитектура ИТС

На основе изучения зарубежного опыта был выделен **принцип первичности построения архитектуры ИТС**. Использование системного подхода, основанного на применении архитектуры ИТС позволяет избежать потенциальные сложности в разработке интеллектуальных транспортных систем. Данный способ позволяет детально прогнозировать реализацию ИТС в начале её жизненного цикла, таким образом, возможно предотвращение негативных последствий и разработка сценариев на случай возникновения опасных ситуаций. Потребность в Архитектуре ИТС была признана в начале 1990-х годов, когда значительно выросло число возможных приложений и услуг ИТС. Первая Архитектура была создана Министерством транспорта США в 1996 году. Вслед за этим в 2000 году была создана Европейская Архитектура ИТС. С момента создания оба подхода к архитектуре ИТС постоянно развиваются, отмечается изменение как объема и содержания услуг ИТС, так и запросов пользователей ИТС.

Архитектура ИТС объединяет в себе все инструменты, решающие проблемы движения транспортных потоков, учитывает, как безопасность на улично-дорожной сети, мобильность транспортных потоков, так и экологические аспекты. Благодаря Архитектуре обеспечивается согласованность работы подсистем управления дорожным движением на любом уровне.

Архитектуру интеллектуальных транспортных систем можно разделить на следующие составляющие:

- опорную, которая включает в себя основные элементы и процессы транспортной системы, её основные целевые характеристики и связь с окружающей средой;
- функциональную, которая определяет отдельные функции элементов, модулей и подсистем, включая связи между ними, в результате чего она дает возможность создания приложений;
- физическую, которая включает в себя устройства, исполняющие отдельные функции, обеспечивающие работу приложений, т.е. установление связей отдельных



элементов, модулей и подсистем в функциональной архитектуре с соответствующими устройствами (объектами);

- коммуникационную, обеспечивающую передачу информации в рамках системы в соответствии с физической архитектурой, определяющую принципы формирования структуры соответствующей информационной подсистемы, включая требования к размещению, кодированию и передаче информации;

- архитектуру модулей, которая охватывает как взаимосвязи между отдельными функциями ИТС, так и функционирование системы в целом.

- организационную, которая устанавливает принципы создания структуры и выбор функций отдельных активных компонентов системы (или уровням управления).

На рисунке 1.1 изображено построение архитектуры ИТС. Далее каждый из этапов будет подробно рассмотрен.

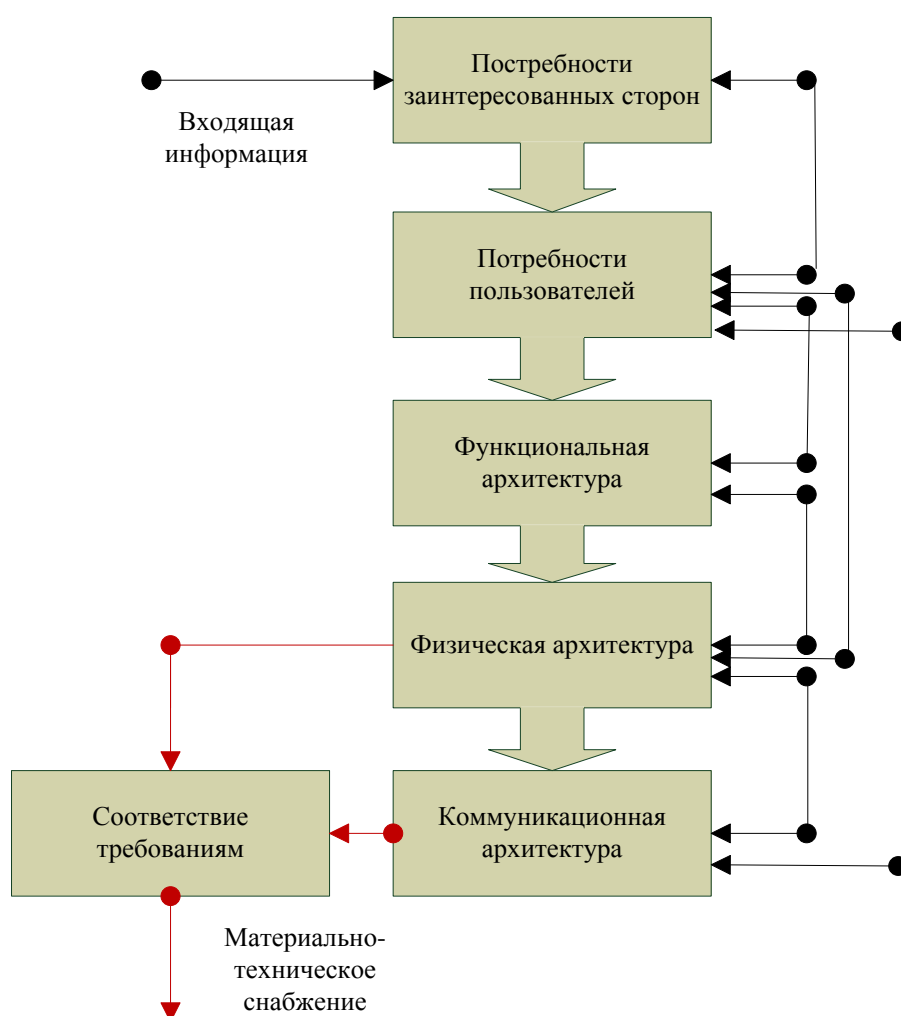


Рисунок 1.1 – Построение Архитектуры ИТС

Основные возможности при построении архитектуры ИТС заключаются в следующем (рис. 1.2):

- группирование различных элементов, что позволяет отслеживать какие-либо их общие показатели и различия в данных;
- выбор набора функциональной архитектуры, который удовлетворяет запросы пользователей, на основе чего происходит дальнейшее создание соответствующий физической архитектуры.

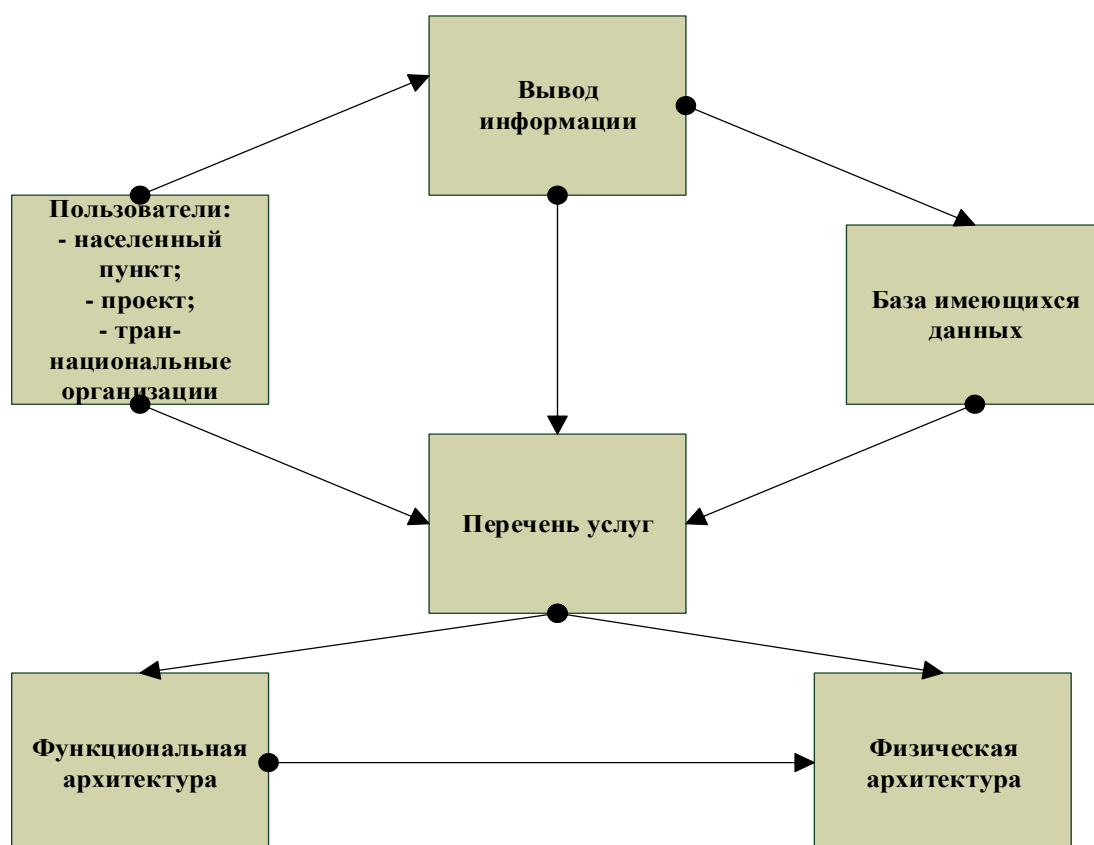


Рисунок 1.2 – Схема построения архитектуры ИТС

### 1.3 ИТС услуги

Интеллектуальные транспортные системы обладают широким спектром услуг и, соответственно, широким спектром пользователей. В конце 1990-х годов в результате исследований был сформирован базовый перечень потребностей пользователей, включающий в себя около 550 основных функций ИТС. Таким образом, при построении архитектуры минимизирована необходимость в добавлении каких-либо новых потребностей пользователей.

Существует четыре класса участников реализации ИТС услуг:

- Заказчики ИТС: (местные) органы власти и дорожные операторы, которые имеют потребность в услугах ИТС для повышения эффективности и безопасности функционирования транспортных сетей. Этот класс также включает в себя операторов общественного и грузового транспорта, где интеллектуальные транспортные повышают эффективность перемещения людей и товаров.

- Пользователи ИТС: конечные пользователи услугами ИТС. Этот класс включает в себя водителей всех классов транспортных средств; менеджеров общественного транспорта и операторов транспортной системы, водителей на мультимодальных перевозках.

- Руководство ИТС: разработчики регламентов и стандартов. К ним относятся местные власти и различные правоохранительные органы.

- Разработчики ИТС: класс, включающий в себя производителей систем, коммуникационных провайдеров и системных администраторов. Например, провайдеры информации о состоянии маршрута.

Перечень запросов пользователей часто оказывается разнородным. Поэтому возникает необходимость классификации, результатом чего является набор сгруппированных потребностей пользователей, с предоставлением информации об их свойствах.

Выделяют следующие необходимые свойства потребностей пользователей:

- Однозначность – запрашиваемая функция должна иметь четкое описание. Например, когда используется слово «информация», должно быть очевидно из контекста, что именно содержится внутри этой информации, в противном случае необходимы примеры.

- Тестируемость – так как потребности пользователей являются основой построения архитектуры ИТС, данные должны быть предоставлены таким образом, чтоб их качество мог проверить любой из разработчиков архитектуры ИТС.

- Контролируемость – возможность отслеживания потребностей пользователей в архитектуре ИТС.

- Сингулярность – для наибольшей эффективности развития услуг ИТС, удовлетворяющих как можно большее количество потребностей пользователей, необходимо разделять запросы на отдельные группы, не зависимые друг от друга.

- Уникальность – каждому отдельному пользователю (запросу) присваивать свой ID для большего удобства поиска конкретной услуги в общем списке.

Чтобы соответствовать этим свойствам, каждая потребность должна быть записана следующим образом:

Пример 1 - система должна обеспечивать информацией о маршруте водителей определенных участков транспортной сети в указанном направлении (маршрут и навигация 6.4.0.1).

Пример 2 – система должна иметь функцию предупреждения при изменении маршрута, ошибочном повороте и т.д. (6.4.0.4).

Пример 3 - система должна обеспечивать использование портативного оборудования для указания маршрута (6.4.2.4).

В таблице 1.1 представлены основные группы запросов пользователей.

Таблица 1.1 - Группы потребностей пользователей ИТС

№ п/п	Категория услуги	Наименование услуги
1		Предварительная информация о маршруте
2		Информирование в поездке

3	<b>Информация о поездке</b>	Информирование в общественном транспорте
4		Услуга личного информирования
5		Навигация
6	<b>Управление дорожным движением</b>	Планирование движения транспорта
7		Контроль движения транспорта
8		Управление дорожно-транспортными сшествиями (ДТП)
9		Управление транспортным спросом
10		Регулирования транспортных потоков
11		Обслуживание инфраструктуры
12	<b>Транспортное средство</b>	Улучшение обзора
13		Автоматизация операций транспортного средства
14		Системы предотвращения дорожно-транспортных сшествий
15		Предотвращение боковых столкновений
16		Инструкции безопасности
17		Ограничения при ДТП
23	<b>Управление работой общественного транспорта</b>	Управление работой общественного транспорта
24		Управление спросом на общественный транспорт
25		Распределение полномочий управления ественным транспортом
26	<b>ДТП</b>	Правила управления ДТП и обеспечение личной пасности
27		Управление ДТП на различных видах транспорта
28		Система уведомления о ДТП, сбор информации об ных участках транспортной сети
29	<b>Электронные платежи</b>	Система осуществления электронной оплаты г

30	<b>Безопасность</b>	Безопасность на общественном транспорте
31		Повышение уровня безопасности на опасных участках транспортной сети
32		Интеллектуальные маршруты и развязки на спортивных сетях

В следующей таблице – 1.2 структурно показана база данных, включающую в себя группы, услуги и подразделы архитектуры потребностей пользователей. Группа 1 не включена в таблицу, т.к. она имеет свойства и показатели, не имеющие отношения к потребностям пользователей.

Таблица 1.2 – База данных потребностей пользователей

Группа	Группа, Услуга, Заголовок подраздела
<b>2</b>  <b>Обслуживание и поддержка ИТС</b>	Планирование развития инфраструктуры и обслуживания
	Планирование транспортной поддержки
	Информационный менеджмент
	Планирование
	Оценка
	Отчетность
	Управление обслуживанием инфраструктуры
	Базовые услуги
	Контракты
<b>3</b>  <b>Контроль функционирования ИТС</b>	Контроль исполнения законов
	Правила движения и безопасности трафика
	Цели
	Сбор данных
	Финансовые сделки

<b>4</b> <b>Финансовый контроль системы</b>	Электронные финансовые платежи
	Цели
	Распределение доходов
	Сделка
	Реализация
<b>5</b> <b>Управление системой при возникновении ЧС</b>	Аварийные службы
	Уведомление о чрезвычайных ситуациях (ЧС) и личная безопасность
	Угон транспортных средств
	Управление транспортным средством при ЧС
	Базовые услуги
	Опасные ситуации и уведомления о происшествии
	Управление происшествиями
	Планирование
<b>6</b> <b>Навигация и маршрутизация</b>	Информация о поездке и навигация
	Предварительная информация
	Выбор маршрута
	Управление информацией
	Информация в пути
	Варианты изменения маршрута
	Управление информацией
	Услуги личного информирования
	Управление информацией
	Дорожное движение, дорожно-транспортные происшествия (ДТП) и управление спросом
	Контроль движения транспорта
	Мониторинг

<p style="text-align: center;"><b>7</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Управление ДТП</b></p>	Планирование
	Центр контроля перемещения транспортных средств
	Контроль перемещения транспортных потоков
	Управление сложными ситуациями
	Составление матриц корреспонденций
	Контроль скорости транспортных потоков
	Коммуникации дорога-автомобиль
	Адаптивное регулирование дорожного движения
	Контроль пешеходной части
	Контроль парковок
	Опасные участки дорог
	Управление происшествиями
	Службы безопасности
	Управление информацией
	Отчетность
	Управление ситуацией после ДТП
	Управление ситуацией до ДТП
	Управление спросом
	Управление тарифами
	Контроль парковок
	Взаимодействие между автомобилями
	Повышение уровня безопасности опасных участков дорог
	«Умные» транспортные узлы и маршруты
	«Умные» транспортные системы
	Автоматизированные операции транспортных средств



8 АСУДД	Цели
	Предотвращение столкновения транспортных средств
	Безопасность тротуаров
	Коммуникации на малых расстояниях
	Контроль скорости
	Поддержка
	Предотвращение прямого столкновения
	Предотвращение столкновения
	Оказание помощи
	Боковое столкновение
	Безопасности движения на тротуаре
	Оказание помощи
	Обеспечение безопасности
	Автоматизированная парковка
	Мониторинг окружающей среды
	Учет данных о происшествиях
	Информация о поведении транспортных потоков
	Информация о транспортных средствах
	Сценарии ограничения действий происшествий
	Базовые услуги
9	Управление грузовыми транспортными средствами
	Автоматизированная система безопасности на дорогах
	Мониторинг безопасности коммерческих транспортных средств на дороге

<b>Управление грузовым транспортном</b>	Управление грузовым транспортом
	Управлением парком грузовых автомобилей
	Контроль транспортного средства, оборудования, водителя и груза
	Распределение грузового транспорта
	Обслуживание интермодальных перевозок груза
<b>10</b> <b>Управление общественным транспортом</b>	Управление общественным транспортом
	Планирование
	Мониторинг
	Управление ДТП
	Контроль информации
	Коммуникации
	Чувствительность спроса
	Коммуникации
	Навигация
	Отчетность
	Взаимодействие общественного транспорта
	Информирование во время поездки
	Взаимодействия пассажиров
	Безопасность работы общественного транспорта

### **1.4 Формирование функциональной архитектуры**

Функциональная архитектура (ее так же называют логической) показывает необходимые функции для удовлетворения запросов пользователей. Она выстраивается в виде диаграммы потока данных, которая содержит функции, приложения, услуги, базы данных, а также данные, передаваемые между ними. Каждая составляющая имеет собственное описание, которое отражает, какую именно функцию она выполняет.

По завершении составления функциональной архитектуры, выделяется место каждой функции и хранилищу данных в подсистеме или в пределах модуля, который является частью подсистемы.

Построение функциональной архитектуры представлено на рисунке 1.3.

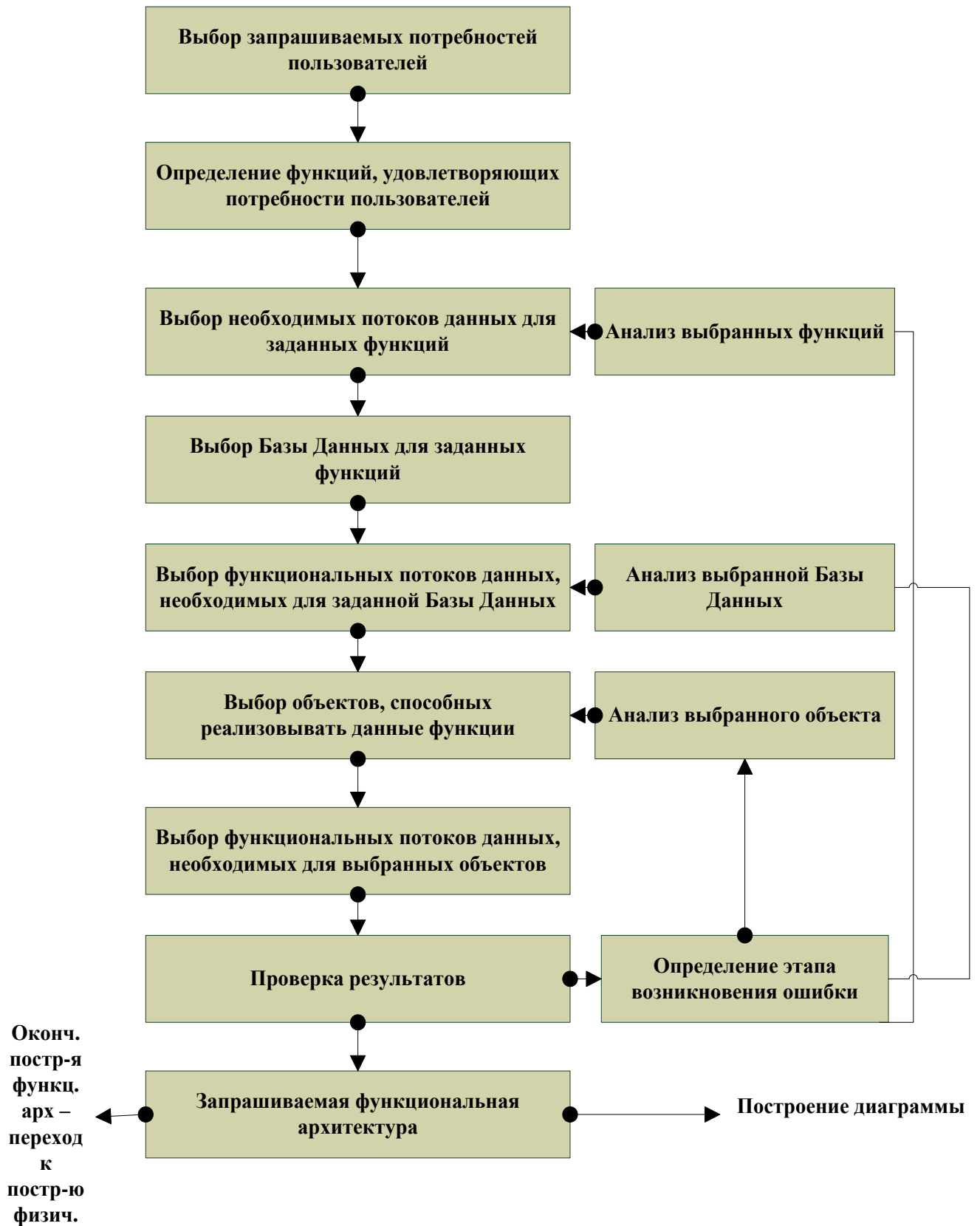


Рисунок 1.3 – Построение функциональной архитектуры

### **1.5 Формирование физической и коммуникационной архитектур**

Ещё одна составляющая архитектуры ИТС – физическая архитектура. Её формирование состоит из следующих шагов:

- выбор функциональной структуры в качестве основы для процесса создания физической архитектуры;
- определение необходимых подсистем и их расположение;
- выбор функций и данных для подсистем;
- при необходимости создание модулей в рамках подсистем;
- определение функций и данных для модулей в подсистемах;
- подготовка сведений о содержании физической архитектуры.

В программном обеспечении, осуществляющем услуги ИТС, имеется инструмент, с помощью которого из общего перечня выбирается необходимая услуга (инструмент выбора). Таким образом, запускаются физические потоки данных между подсистемами. Данным запросам присваивается номер, который при необходимости может быть изменен в конкретное название.

Распределение функций и данных для подсистем (и модулей) показывает:

- находятся ли функциональные потоки данных в пределах подсистемы (или модуля);
- могут ли функциональные потоки данных передаваться от одной подсистемы к другой или от одного модуля к другому.

Так как подсистемы расположены отдельно друг от друга (например, в центре управления дорожным движением, в самом автомобиле и т.д.), то необходимо создание соответствующих коммуникаций с помощью детального анализа каждого физического потока данных. Этот анализ показывает возможно ли использование данных для осуществления запроса, применимо ли использование существующего канала для связи и, в случае необходимости, выявляет новый канал связи.

По завершении построения архитектуры ИТС она может быть использована в качестве основы для решения следующих проблем: создание проектов ИТС, подбор технических средств реализации услуг ИТС, дальнейшее развитие ИТС, прогнозирование экономической эффективности реализации проектов ИТС, анализ возможных рисков при эксплуатации объектов ИТС.

Все элементы архитектуры ИТС и их взаимосвязи, можно просматривать в интерактивном режиме с помощью стандартного просмотра HTML страниц.

Программное обеспечение, с помощью которого реализуются услуги ИТС поддерживается инструментом списка данных о потоках информации между всеми элементами архитектуры. Данный инструмент применяется для выбора заданных запросов пользователей, затем инструмент передаёт запросы в те части функциональной архитектуры, которые смогут удовлетворить заданные потребности. Но не всегда возможно удовлетворение всех потребностей (полностью или частично). В целях обеспечения поддержки возможно создание и добавление дополнительных потребностей пользователей и, следовательно, элементов функциональной архитектуры, с помощью инструмента выбора.

Так как предоставление информации требует проверки соответствия запроса и осуществляемой услуги, данный инструмент, вероятно, выдаст некоторые логические несоответствия в результате изначального выбора потребностей пользователей и элементов функциональной архитектуры. Возможно изменение выбора услуги, путём включения дополнительных элементов, или удалением некоторых из уже выбранных.

Как только функциональная архитектура придёт в необходимое соответствие с запросом, её можно использовать в качестве основы для одной и более физических архитектур. Это совершается путём выделения функций и данных в отдельных подсистемах и, при необходимости, в модулях.

После завершения построения физической архитектуры, один из отчётов инструмента списка данных о потоках информации между всеми элементами архитектуры может быть использован в качестве основы для анализа физического

потока данных. Это приводит к созданию коммуникационной архитектуры, которая покажет детали необходимых связей между каждой подсистемой, модулем и объектом.

Таким образом, инструмент списка услуг выполняет большую часть работы, фиксируя принятые решения. Данный инструмент позволяет создать множество физических архитектур из одной функциональной, что позволяет отследить преимущества и недостатки различных конфигураций компонентов.

При необходимости, возможно добавление или изменение данных архитектуры ИТС. Это последовательный процесс, представленный на рисунке 1.4.

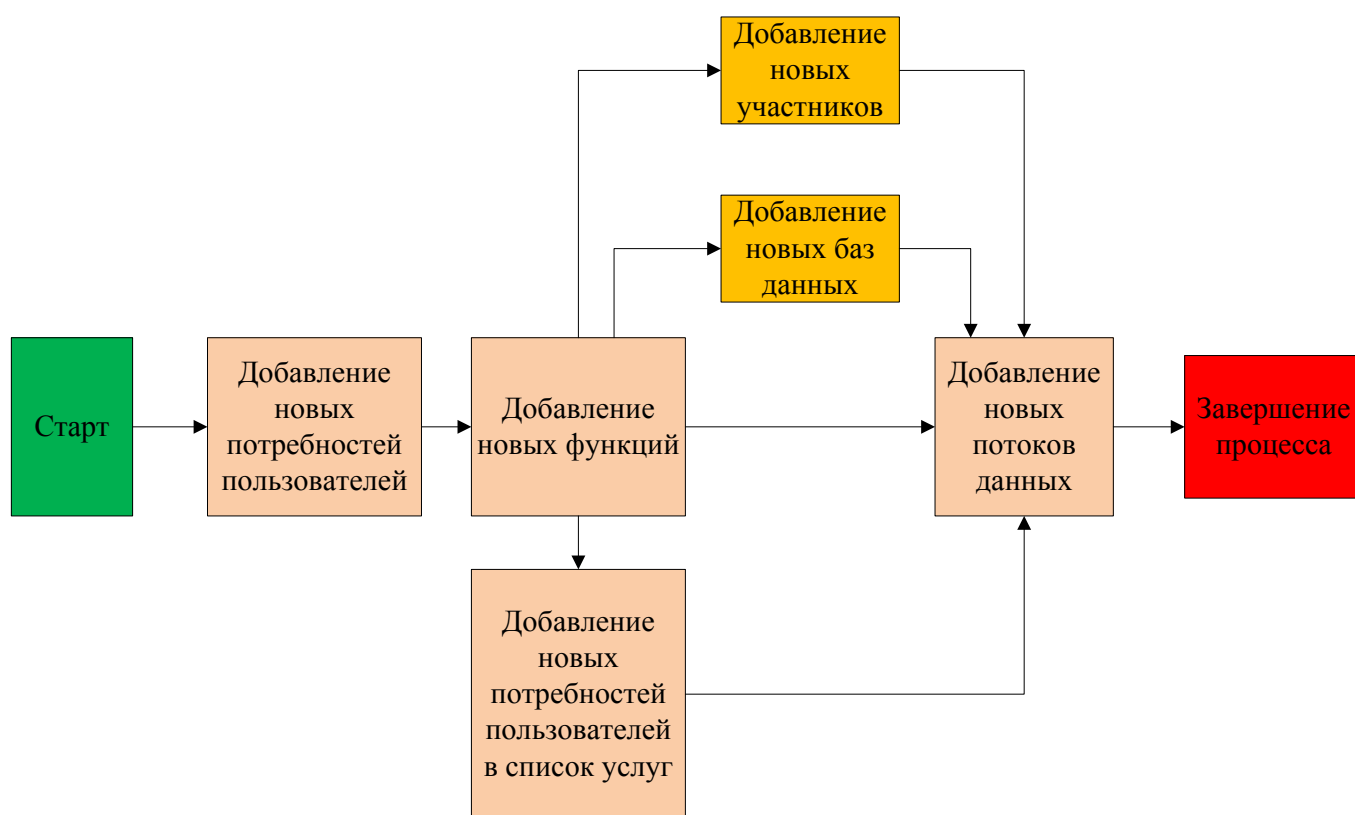


Рисунок 1.4 – Процесс внесения изменений в архитектуру ИТС

## 1.6 Разработка плана внедрения ИТС

Создание модели ИТС состоит из следующих пяти стадий:

1. Создание списка потребностей пользователей.
2. Создание архитектуры, которая будет удовлетворять эти потребности.
3. Создание отдельных частей ИТС, которые затем интегрируются вместе, формируя таким образом полную архитектуру ИТС.
4. Анализ, проверка и утверждение всех компонентов ИТС.

Каждый процесс характеризуется как частными функциями, так и параметрами, которые принимают требования к входной и выходной информации, а также к способу обработки информации. К требованиям к входной информации отдельных процессов относятся: частота квантизации входной информации, определение интерфейсов входной информации, требования к передаче входной информации от датчиков и т.д. К требованиям к обработке информации в рамках процесса относятся, в частности, защищенность и надежность данных в процессах обработок, свойства используемых алгоритмов и т.д. К требованиям к выходной информации относятся в первую очередь, частота квантизации выходной информации, определение интерфейса выходной информации, задержка во времени между происшествием и получением выходной информации и т.д. При внедрении интеллектуальных транспортных систем важным моментом является **системный подход к проектированию объектов ИТС**. Интеграция отдельных услуг ИТС в сложную интегрированную систему – трудоёмкий процесс, затрагивающий различных участников внедрения и эксплуатации объекта: органы власти, системных администраторов, программистов, центры управления данными и т.д. Далее, в таблице 1.3. представлено, как меняется управление системой, оптимизация ИТС и взаимодействие с пользователями ИТС услуг от уровня 1, где предоставляется единственная услуга ИТС, до уровня 5, где ИТС представлена сложной интегрированной системой.



Таблица 1.3 – Классификация интеллектуальных транспортных систем

	<b>Уровень №1 Единственная услуга</b>	<b>Уровень №2 Взаимосвязанные услуги</b>	<b>Уровень №3 Частично интегрированные системы</b>	<b>Уровень №4 Интегрированные системы</b>	<b>Уровень №5 Оптимизация интегрированных систем</b>
<b>Планирование и управление</b>	Планирование услуги осуществляется на базе существующих систем	Планирование и управления несколько ограничены	Управление осуществляется на всех уровнях	Мультимодальное планирование, управление динамическим спросом услуг	Региональное мультимодальное планирование, управление колебания спроса
<b>Оптимизация функционирования транспортной сети</b>	Ограниченный доступ к данным	Сбор и анализ данных основных магистралей, управление ДТП осуществляется индивидуальными настройками	Сбор данных в режиме реального времени, внедрение автоматизированных транспортных сетей и систем реагирования на ДТП	Подробный анализ данных в режиме реального времени, автоматизированные системы по предотвращению ДТП	Расширенный сбор данных в режиме реального времени, их интеграция и анализ, оптимизация реагирования и предотвращения ДТП
<b>Интерфейс</b>	Ограниченное информирование, приём наличных платежей	Приём наличных платежей, статичное планирование	Электронные платежи, планирование мультимодальных поездок, автоматическое реагирование на ДТП	Информационные услуги во время поездки	Планирование мультимодальных поездок, личный аккаунт каждого пользователя

Для надежного функционирования транспортных интеллектуальных приложений следует обеспечить синхронизацию между частными процессами, а именно:

- кодовая синхронизация, которая требует наличия определенного интерфейса между отдельными процессами так, чтобы имелась возможность совместно использовать и передавать заданные параметры информации, а также функционально связывать их между собой;
- временная синхронизация, которая требует приведения частной информации к единой шкале времени так, чтобы можно было сравнивать и обрабатывать информацию, относящуюся к определенному моменту времени;
- пространственная синхронизация, которая требует, чтобы информация была отнесена к единой общей точке пространства (характерно для местоположения транспортных средств или товара при мультимодальных перевозках).

Приложения интеллектуальных транспортных систем используют выходы отдельных частных процессов, которые синхронизированы во времени, по коду и в пространстве. К приложениям ИТС относятся, например, поддержка транспортного планирования, информация для водителей легковых автомобилей, электронный сбор оплаты за проезд на автомагистралях, управление общественным транспортом, управление перевозками грузовыми транспортными средствами и т.д.

## 1.7 Анализ спроса на объекты ИТС

Для анализа спроса на объекты ИТС, участникам проекта необходимо рассмотреть риски относительно функционирования транспортной сети в целом. Экономические показатели и плотность населения (факторы, влияющие на спрос) предоставляются в матрицах корреспонденций. Распределение транспортных потоков обусловлено структурой и условиями транспортной сети. Стоит отметить, что данные функционирования транспортной сети являются переменными показателями. Динамичное изменение спроса на определенные транспортные узлы зависит от реализации объектов ИТС.

Рассмотрим внедрение объекта ИТС на примере реализации проектов платных дорог. Когда к существующей транспортной сети добавляется платная дорога, то, естественно, происходят значительные изменения в распределении транспортного потока. Водители могут пользоваться платными дорогами как полностью, так и частично, а могут вообще не пользоваться. Работа платных дорог полностью зависит от платежей пользователей и информационной инфраструктуры, т.к. недостаточное информирование об объектах ИТС значительно снижает спрос на них. В ходе изучения принятия решений пользовании платных дорог, с учетом отправной точки маршрута, фактора времени, расстояния не было выведено ожидаемых закономерностей, и эффективность реализации проекта и изменения в транспортной сети чаще всего остаются непредсказуемыми.

В качестве решения этой проблемы была разработана методология анализа спроса, которая даёт объективную оценку изменений в структуре транспортной сети на экономическую эффективность существующих и внедряемых проектов платных дорог. Данная методология включает в себя следующие действия:

- определение факторов риска, от которых зависит данный проект;
- выявление основных конкурирующих маршрутов;
- анализ транспортной сети при реализации подобных проектов;
- развитие системы принятия решений.

На фазе *определения факторов риска*, от которых зависит данный проект, исследовательская группа определяет стратегические цели проекта: финансовая прибыль, снижение уровня транспортных заторов, повышение безопасности на транспортных сетях, соблюдение экологических норм.

После составления приведенной выше таблицы, основное внимание уделяется прибыли от проекта, т.к. этот параметр имеет наибольшее значение для инвесторов. Отметим, что чем выше стоимость пользования платными дорогами, тем выше уровень риска.

*Выявление основных конкурирующих маршрутов* включает в себя анализ распределения транспортных потоков до внедрения объекта ИТС. В то время как многие исследования проектов платных дорог основное внимание направляют на условия транспортной сети и выбор маршрута, оценку целесообразности внедрения объекта, важный аспект анализа транспортной сети, чаще всего пренебрегается. Этот параметр является одним из важнейших при финансировании проекта. В данном контексте конкурирующие дороги выявляются путем определения, какая из них наиболее эффективно сможет повлиять на транспортные потоки сети. Согласно схематичному анализу и этому показателю, методология основывается на выявлении всех возможных вариантов реализации проекта путем моделирования, затем, исследовав результаты, определяется проект, наиболее позитивно влияющий на транспортные потоки.

*Анализ транспортной сети при реализации подобных проектов* основывается на оценке воздействия внедрения объектов ИТС в условиях существующей транспортной сети и последующих структурных изменений.

Последним компонентом анализа является *развитие системы принятия решений*, он заключается в моделировании проекта, что позволит оценить воздействие проекта на транспортную сеть в целом и на доходы от его реализации.

Традиционная оценка транспортной сети состоит из четырех последовательных этапов, при которых моделируются транспортные потоки всей сети (рисунок 1.5).

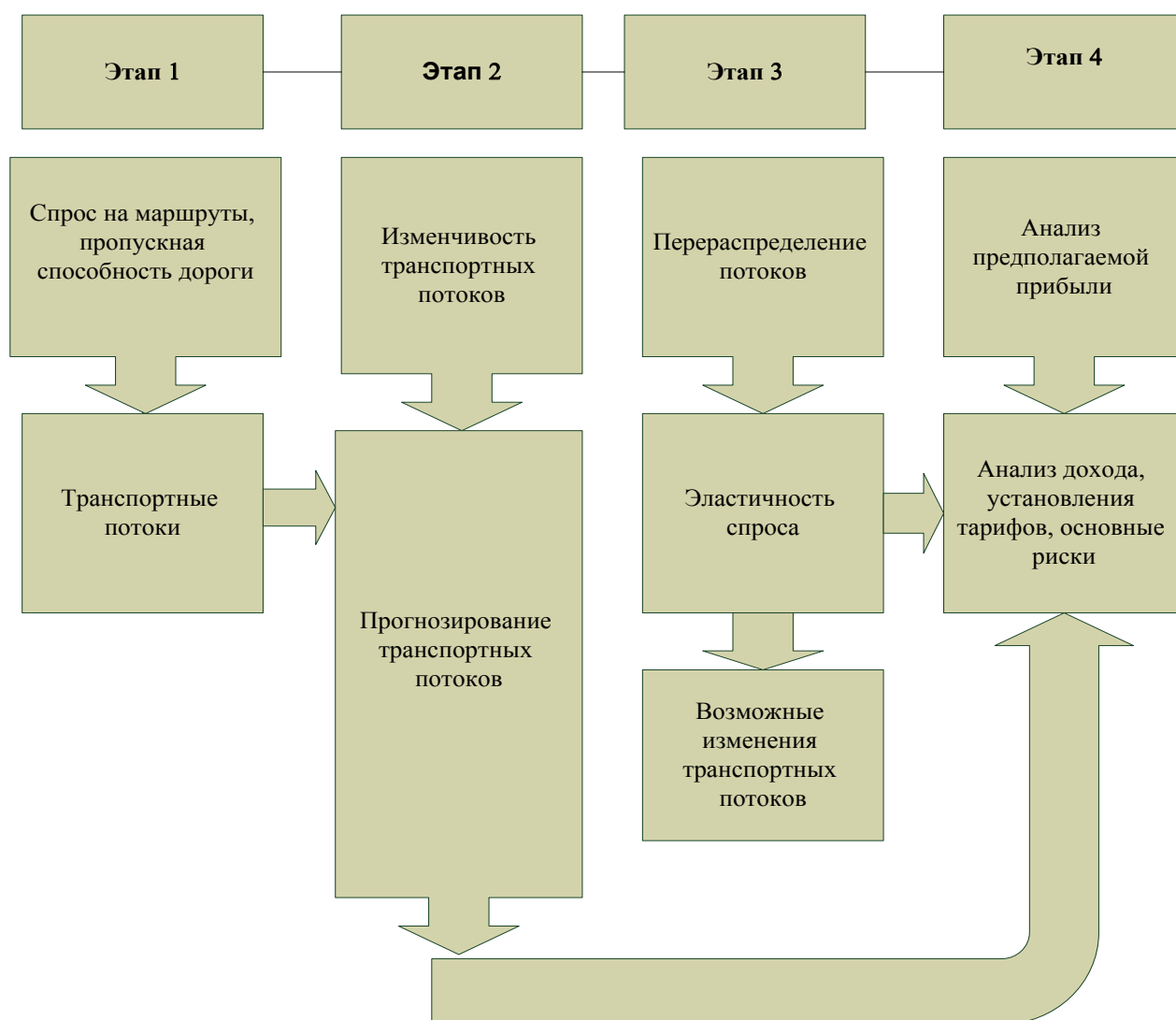


Рисунок 1.5 – Схема оценки транспортной сети

На первом этапе анализа дается оценка топологии транспортной сети, спроса на определенные маршрута (например, матрица корреспонденций).

На втором этапе делаются прогнозы возможных изменений поведения транспортной сети при реализации проекта. При помощи программ моделирования и построения графиков транспортных заторов, анализируется текущая ситуация на транспортной сети, затем при помощи тех же инструментов анализируется изменение потоков транспорта.

На третьем этапе анализируются и сравниваются конкурирующие маршруты. Суть данного этапа, прежде всего, заключается в изучении, как именно повлияет перераспределение транспортных потоков на существующие маршруты.

На четвёртом этапе всё внимание фокусируется на изменениях транспортного движения, вызванного реализацией проекта. На данном этапе осуществляется более точная оценка финансовых рисков. Ожидается, что проект позитивно повлияет на транспортный поток, что повысит доход от проекта, тем самым снизятся финансовые риски.

Прежде чем предлагать конкретные проекты, необходимо представлять – не только к чему приведёт их реализация, но и необходимо ли внедрение проектов вообще. Одним из решений этого вопроса является математическое моделирование.

Среди всего разнообразия математических моделей, практически применяемых на сегодняшний день для анализа транспортных сетей городов и регионов, можно выделить три основные группы моделей:

- прогнозные модели;
- имитационные модели;
- оптимизационные модели.

Все математические модели функционирования транспортной сети основываются на большом количестве исходных данных, таких как: дифференцированная по районам численность населения, среднее время передвижения, число мест осуществления труда и др. Первым этапом построения модели является формализация параметров, характеризующих существующее состояние транспортной сети. На втором – расчет изменения спроса при внедрении проекта.

Подводя итоги, стоит отметить, что помимо **первичности построения архитектуры ИТС и системного подхода к проектированию ИТС**, ключевым способом снижения различных рисков реализации проектов ИТС является **моделирование последствий внедрения объектов**, которое более подробно будет рассмотрено в последующих главах.

***Выводы по главе:***

1. Наиболее эффективным способом для решения проблем функционирования транспортной системы (таких как снижение скорости передвижения автомобилей, регулярные транспортные заторы, многочисленные дорожно-транспортные происшествия) является внедрение интеллектуальных транспортных систем. Транспортная политика многих стран направлена на распространение и интеграцию интеллектуальных транспортных систем в единое информационное пространство.

2. Анализ зарубежного опыта позволил выявить основные принципы успешной реализации проектов интеллектуальных транспортных систем. Принцип первичности построения архитектуры ИТС - использование системного подхода, позволяет избежать потенциальные сложности в разработке интеллектуальных транспортных систем. Благодаря Архитектуре обеспечивается согласованность работы подсистем управления дорожным движением на любом уровне. Архитектура ИТС объединяет в себе все инструменты, решающие проблемы движения транспортных потоков. Благодаря Архитектуре обеспечивается согласованность работы подсистем управления дорожным движением на любом уровне.

3. Помимо первичности построения архитектуры ИТС для повышения эффективности внедрения объектов, также применяется принцип системного подхода при проектировании объектов ИТС - каждая отдельная функцию ИТС после реализации объединяется в единую интегрированную информационную систему на транспорте.

4. Выделен принцип применения моделирования последствий реализации проектов ИТС. Этот метод позволяет произвести наиболее точный прогноз сценариев развития функционирования объекта ИТС, выявление различных рисков и способы их смягчения.

## ГЛАВА 2. ПРИНЦИПЫ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ ПРИ ВНЕДРЕНИИ ОБЪЕКТОВ АРХИТЕКТУРЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

### 2.1 Управление рисками при внедрении новых объектов ИТС

Управление рисками при внедрении объектов интеллектуальных транспортных систем (включая разработку планов по предотвращению рисков и составление программ смягчения их последствий) является одним из важнейших этапов ИТС. Система управления рисками необходима для выявления, группировки и анализа основных рисков в ИТС, а также для разработки сценариев по смягчению последствий наиболее вероятных рисков (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Оценка показателей внедрения объектов интеллектуальных транспортных систем

Результат разработки ИТС	1994г.	2004г.	2006г.	2009г.
Проектные показатели достигнуты	16%	29%	35%	32%
Проектные показатели достигнуты частично	53%	53%	46%	44%
Проектные показатели не достигнуты	31%	18%	19%	24%

Поэтому целесообразно включать в архитектуру ИТС этапы оценки рисков:

**Первый этап:** планирование реализации объекта ИТС. Включает в себя действия, направленные на устранение риска и минимизацию последствий его воздействия: оценку угрозы; анализ рисков и обработку риска. Зачастую ошибки на данном этапе ведут к необратимым негативным последствиям. Например, при разработке проекта Даллас Гринуэй (США) по подсчетам специалистов рост спроса на данный маршрут предполагался на 14% за первые шесть лет. Исходная оценка – 34 000 транспортных



средств в сутки, оказалась слишком оптимистичной, фактически средняя чуточная интенсивность составила 11 500 транспортных средств, что привело к масштабным финансовым убыткам проекта.

**Второй этап:** отбор рисков. Невозможно управлять рисками, пока они четко не определены. Данный этап предполагает идентификацию рисков для определения реальных угроз. К ним могут относиться: сбой передачи информации, повышение стоимости предоставляемых услуг, нарушения уровня безопасности автомобильного движения, социальная неустойчивость общества, отставание развития данного региона, влияние на окружающую среду.

**Третий этап:** анализ рисков. После того как определены все возможные риски данного проекта необходим их детальный анализ, который предназначен для выявления наиболее вероятных и опасных рисков для дальнейшей работы с ними.

**Четвёртый этап:** работа с рисками. Включает в себя меры, необходимые для борьбы с выявленной проблемой при оценке анализа рисков. Одним из способов предупреждения рисков может быть онлайн управление, которое потребует обеспечения магистралей средствами мониторинга и создания команды высококвалифицированных операторов. Целью онлайн управления является повышение эффективности и качества функционирования ИТС.

**Пятый этап:** выбор стратегий смягчения. Основан на классификации рисков, включенных в базу данных в соответствии с условиями, при которых они могут возникнуть. Разработка стратегий управления инцидентами должна привести к уменьшению затрат времени для оказания помощи потерпевшим. Для этого необходимо разработать средства онлайн управления, основанные на комплексном мониторинге сети, что сократит использование дополнительных средств и вмешательство оператора. Эти средства также должны включать различные сценарии происшествий, с учетом мест и мер реагирования.

**Шестой этап:** построение сценариев смягчения последствий рискованных ситуаций. Выделяют 4 наиболее важных элемента для построения сценария смягчения последствий:

- временные рамки;
- сотрудничество государственного и частного секторов;
- основные тенденции развития ИТС;
- территориальные особенности.

Одним из методов группировки сценариев является разделение рисков на зависимые от временного промежутка и независимые. После этой начальной классификации следует выявить, когда ИТС (или только конкретный сервис ИТС), полностью поддерживаются органами власти, или же когда только частный сектор участвует в разработке и эксплуатации ИТС.

Процесс анализа рисков при внедрении интеллектуальных транспортных систем изображен на рисунке 2.1.

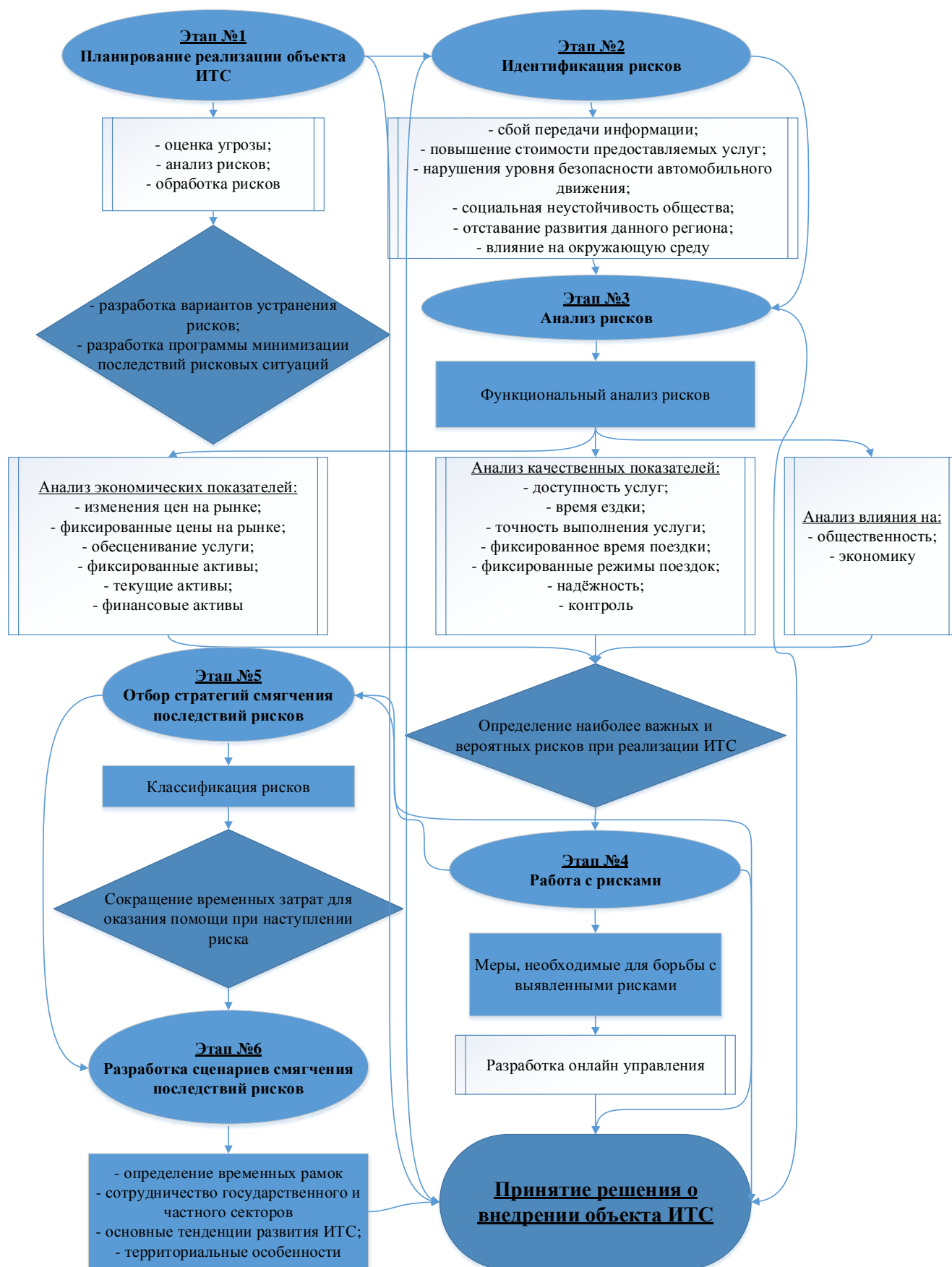


Рисунок 2.1 Оценка рисков при внедрении интеллектуальных транспортных систем

Использование нескольких источников данных, позволит повысить эффективность данной системы. Но множество источников данных не должно затруднять работу системы, их стоит использовать в качестве способа расширения информации и привлечения большего количества пользователей. Привлечение персональных пользователей позволяет центрам управления магистралями получать больше данных, на основе которых они смогут составить информацию о движении. Участники движения, в свою очередь, могут получать доступ к информации о состоянии на магистралях. Решение организационных вопросов, связанных с необходимостью сотрудничества, а также распределением ответственности между различными операторами, которые обычно действуют независимо, позволит расширить сеть обмена данными. Так же привлечение большего количества источников данных повысит конкурентоспособность ИТС.

## 2.2 Оценка функционирования транспортной сети

Перевозки – важнейшая услуга транспортной отрасли производства. Как и продукт любой другой отрасли, перевозки оцениваются соотношением цена-качество. Уровень качества транспортной услуги можно оценить при помощи показателей безопасности, времени, и других параметров. Влияние качества услуги на поведение транспортных потоков – основополагающая характеристика транспортной отрасли. Объекты интеллектуальных транспортных систем в значительной степени способны повысить качество предоставляемых транспортных услуг. Далее на примере альтернативного платного маршрута рассмотрим, от чего зависит перераспределение транспортных потоков при внедрении объектов ИТС.

Потребность в выборе определенных маршрутов зависит от собственных приоритетов пользователей транспортной сети. Но при ухудшении условий транспортного движения, частых заторовых ситуаций на определенных маршрутах, спрос на них будет снижаться, а пользователи начнут искать альтернативные варианты маршрута. Таким образом, каждый пользователь делает свой выбор маршрута индивидуально, но, в то же время, его выбор может повлиять на поведение других участников поездки.

Предположим, что транспортная сеть, состоит из набора транспортных узлов  $N$  и прямых каналов связи  $A$ . Пусть  $N_j$  обозначают подмножество  $j$  узлов, где  $p_j$  ( $j=1, \dots, J$ ) – плата за пользования определенными маршрутами. Определение временных и денежных затрат для данных каналов связи осуществляется следующим образом:

$$C = t_l * v_l + \frac{p_l}{v_l} \quad (2.1)$$

где:

$C$  – общие денежно-временные затраты на платном маршруте;

$l$  – выбранный платный маршрут;

$t_l$  – время прохождения платного маршрута;

$v_l$  – денежно-временные затраты пользователя (руб./мин.);

$p_1$  – плата за пользование маршрутом.

Данное уравнение показывает, что пользование платными дорогами влияет на показатели времени и стоимости поездки. При пользовании бесплатными дорогами снижается показатель стоимости поездки, но возрастает показатель временных затрат.

Для каждой категории участников движения существует порог чувствительности, поэтому необходимо рассматривать варианты с различной величиной изменения затрат на поездку:

$$p - (c + \Delta c) \leq p_w, \quad (2.2)$$

где  $\Delta c$  – изменение затрат на поездку по сравнению с существующими условиями;

$p_w$  – допустимый уровень выгоды от выполнения цели поездки.

Определенный уровень критического значения  $\Delta c$  может привлечь или, наоборот, оттолкнуть некоторых участников движения от использования конкретных вариантов поездки. Таким образом, при определенном уровне  $\Delta c$  возможны следующие варианты:

- повышение затрат на поездку на величину  $\Delta c$  не вызывает у участников движения желания изменить что-либо в привычном маршруте;
- повышение затрат на поездку на величину  $\Delta c$  приводит к тому, что некоторые пользователи изменяют маршрут;
- повышение затрат на поездку на величину  $\Delta c$  приводит к тому, что определенная категория пользователей изменяет время поездки;
- повышение затрат на поездку на величину  $\Delta c$  приводит к тому, что определенная категория пользователей отказывается от поездки.

Внедрение альтернативных маршрутов является одним из способов решения проблем функционирования транспортной сети. Тщательное моделирование, полностью отражающее особенности транспортных потоков на уровне всего города – наиболее важный этап при разработке и внедрении объектов архитектуры ИТС. Подобное моделирование приведет к принятию наиболее эффективных решений,

выявлению основных рисков, связанных с внедрением объектов и, выявит наиболее важный показатель для привлечения инвесторов – финансовую эффективность проекта.

### **2.3 Оценка рисков достижения планируемых показателей эффективности**

Частный сектор принимает всё большее участие в работе транспортной инфраструктуры. Ранее объекты ИТС, например, платные дороги, финансировались государственным бюджетом, но в настоящее время спрос на подобные проекты настолько высок, что средств государственного бюджета становится недостаточно. Для решения данной проблемы необходимо привлекать частных инвесторов. При этом частным лицам, для участия в подобных проектах приходится прибегать к банковским кредитам, а определенные финансовые риски значительно снижают их заинтересованность, усложняют взаимоотношения участников проекта. Необходима новая методология планирования функционирования транспортной сети, при которой особенное внимание будет уделяться финансовому риску. Этот метод оценки транспортной сети основывается на анализе воздействия изменений в структуре транспортных потоков на доход от проектов ИТС.

Анализ и прогноз спроса на перевозки является неотъемлемой частью развития проектов ИТС. Исходя из этого прогноза, проект ИТС разрабатывается согласно особенностям будущего транспортного движения. Кроме того, от этой оценки зависит финансовая структура проекта. Окупаемость проекта рассчитывается на основе спроса и установленного тарифа. На практике многие проекты платных дорог сталкиваются с финансовыми проблемами из-за погрешностей в прогнозировании спроса. Проведенные исследования, при которых анализировалась работа 210 проектов транспортной инфраструктуры, подтвердили, что в половине случаев погрешности в прогнозировании спроса составили более чем 20%. Например, участок трассы М11 от МКАД до Солнечногорска (15-й – 58-й км), начавший своё функционирование 23 ноября 2015 года. Стоимость проезда по участку трассы от МКАД до Солнечногорска установлена в рамках концессионного соглашения с Северо-Западной концессионной компанией, акционерами которой являются французская Vinci Concessions и транспортно-инфраструктурная группа «Мостотрест». В настоящее время полная стоимость разового проезда одной легковой машины или мотоцикла от Москвы до аэропорта Шереметьево составляет от 100 до 250 руб. (в зависимости от дня недели и



времени суток), от МКАД до Зеленограда — 150–350 руб., от МКАД до Солнечногорска — 200–500 руб. Для грузового транспорта тарифы в два-три раза выше. Предельно высокие тарифы значительно снижают ожидаемый спрос автомобилистов, которые предпочитают бесплатный альтернативный маршрут, повышая тем самым уровень транспортных заторов на Ленинградском шоссе. Данная ситуация вызывает жесткую критику пользователей и властей.

Из-за подобных возможных ошибок в расчетах многие страны продумывают программы по увеличению спроса на подобные проекты. Такие ошибки так же являются стимулом для развития новых и эффективных компьютерных программ транспортного моделирования и подготовки специалистов.

Ключевым моментом при прогнозировании движения транспортных потоков является стохастическое перемещение транспорта ( $X(t)$ ,  $t \geq 0$ ), со следующими свойствами:

- Каждое увеличение показателя  $X(t+s) - X(t)$  влияет на средний показатель  $t$  (время) при фиксированных других показателях;
- Для каждой пары интервалов времени  $[t_1, t_2]$ ,  $[t_3, t_4]$ , где  $t_1 < t_2 \leq t_3 < t_4$ , увеличение  $X(t_4) - X(t_3)$  и  $X(t_2) - X(t_1)$  независимы и имеют нормальное распределение. Отметим, что это же будет применяться, при  $n$  отдельных временных промежутков, где  $n$  является положительным целым числом.

- $X(0) = 0$  и  $X(t)$  непрерывна

Где:

$X(t)$  – время прохождения маршрута;

$x+t$  – увеличение времени прохождения маршрута в условиях стохастического перемещения транспортных потоков.

Ограничения при стохастическом движении автомобилей при слишком большом разбросе значений параметром, могут иметь отрицательные значения, что неприменимо при моделировании спроса/предложения на данном участке транспортной сети.

Предполагая, что транспортные потоки имеют стохастический характер, моделирование транспортного спроса и предложения будет иметь случайные величины.

Прогнозируемые транспортные потоки на внедряемом объекте могут быть смоделированы с учетом распределения известных различных ожидаемых показателей и дисперсией. Кроме того, при моделировании спроса на пользование платной дорогой предполагается, что:

- Интенсивность транспортных потоков на объекте постоянно увеличивается.
- Транспортный спрос на предполагаемом объекте зависит только от показателей транспортных потоков в данный момент времени.

Низкие или высокие показатели количества прошедшего транспорта на внедряемом проекте так же зависят от роста или спада в экономике. Таким образом, транспортные потоки на платной дороге могут меняться периодически из-за внешних факторов, которые находятся вне контроля участников проекта.

Ежегодный доход равен годовому количеству транспорта, воспользовавшегося данным платным объектом.

Так же необходимо учитывать параметры, которые влияют на доход: ежегодный транспортный поток на платных объектах ИТС, ожидаемый рост трафика, коэффициент неустойчивости и коэффициент платы.

Аналитические исследования по экономическим вопросам внедрения платных объектов ИТС показали, что подобные объекты являются высокорентабельными, а при правильной работе с различными показателями (тип транспортного средства, стоимость и время поездки) возможна максимизации прибыли.

Проведенные исследования платных маршрутов показали большую разницу в прибыли и качестве платных и бесплатных дорог. Так же важным моментом является то, что эффективный платный маршрут зачастую может негативно повлиять на работу транспортной сети в целом. Наибольшая эффективность работы транспортной сети может быть достигнута путём соглашений между частными компаниями и государственными учреждениями, работа сообща позволит снизить транспортные заторы и прочие проблемы в работе транспортной сети города.

## 2.4 Анализ перераспределения транспортных потоков

Многие составляющие транспортных услуг не фиксируются, т.к. они напрямую зависят от поведения водителей. Например, две точки транспортной сети могут соединяться различными маршрутами: если большинство пользователей начнет перемещаться по тому маршруту сети, который имеет наиболее позитивные показатели – возрастёт время ожидания общественного транспорта, увеличится время перевозки, снизится качество услуги и т.д. Прогнозировать поведение пользователей крайне сложно, т.к. некоторые из них согласятся тратить больше времени на прохождение данного маршрута, другие изменят свой маршрут, а третьи откажутся от поездки. Подобная ситуация может быть проанализирована при помощи двух функций, которые показывают, как уровень качества услуги повлияет на спрос и как спрос влияет на качество услуги.

В данной ситуации эти функции так же должны учитывать структуру транспортной сети и её показатели.

Улично-дорожная сеть состоит из набора определенных точек и линий, соединяющих их. Зачастую каждая пара точек соединяется более, чем одной линией (рисунок 2.3).

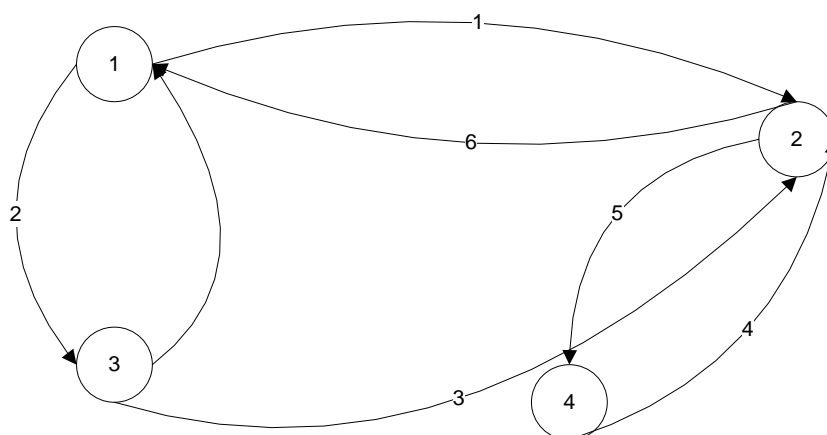


Рисунок 2.3 Участок транспортной сети

Выбор каждого маршрута зависит от многих показателей: время, стоимость, дополнительные услуги. Таким образом, между маршрутами возникает определенная конкуренция.

При анализе работы общественного транспорта маршрут рассматривается как набор остановок и соединяющие их участки транспортной сети, он обычно характеризуется показателем «время в пути», но также необходимо учитывать, что пассажиры тратят время на ожидание транспортного средства и на подход к остановочному пункту (рисунок 2.4):

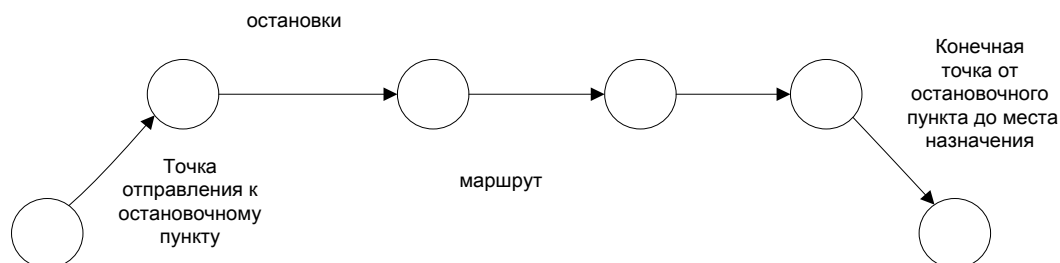


Рисунок 2.4 Маршрут с точки зрения пассажиров

Следует принять во внимание, что некоторые маршруты могут пересекаться, могут быть взаимозаменяемыми и т.д. Выбор зависит от стоимости поездки и близости остановки.

При транспортном планировании вся городская сеть делится на зоны. Размер каждой зоны может быть от одного квартала до целого города в зависимости от заданных параметров, как и количество зон. Каждой зоне присваивается «центроид» (геометрический центр каждой зоны). Вся городская транспортная сеть включает в себя множество перекрёстков, автобусных остановок и т.д., но центроид является точкой возникновения транспортных потоков. После определения центроида возможно построение матриц корреспонденций – транспортных потоков между центроидами.

Для примера рассмотрим небольшую транспортную зону (рисунок 2.5):

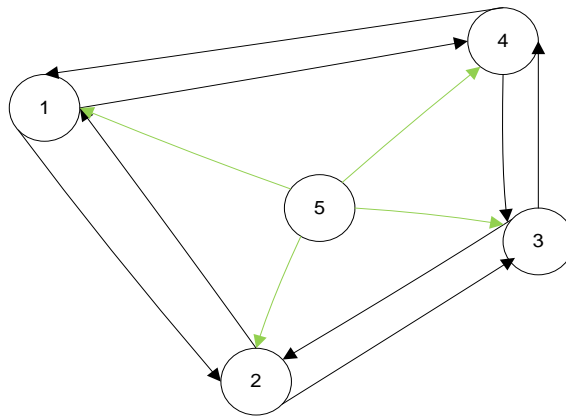


Рисунок 2.5 Транспортная зона

Данная транспортная зона имеет двухстороннее движение. Точка в середине - центроид, именно он является отправной точкой транспортного потока данной зоны. Линии, соединяющие центроид с остальными участками маршрута, могут измеряться временем, которое затрачивается «пешком», временем ожидания транспортного средства и т.д. Использование данных о транспортных потоках между центроидами разных транспортных зон необходимо при составлении матриц корреспонденций. Для анализа необходимы наиболее важные магистрали города, те участки транспортной сети, которые имеют наибольшее влияние на распределение транспортных потоков.

## 2.5 Проблема транспортного равновесия

Предположим, что известно количество автомобилей, перемещающихся из одной транспортной зоны в другую. Так же предположим, что эти зоны соединены несколькими маршрутами. Наиболее короткий путь является более привлекательным для водителей, но повышение спроса на нём вызовет повышение времени прохождения данного маршрута. Из чего следует, что некоторые из водителей выберут альтернативный маршрут. Распределение транспортных потоков, выбор маршрута, соединяющего разные транспортные зоны, являются проблемой транспортного равновесия. Для этого необходимо анализировать транспортную сеть в целом, а не отдельные её проблемные участки. В качестве решения этой проблемы предполагается выявление закономерности, по которой водители выбирают тот или иной маршрут. Выбор кратчайшего пути не всегда означает минимальную затрату времени. В качестве решения проблемы предполагается возможность снижения времени прохождения маршрута.

Рассмотрим одну из методологий перераспределения автомобилей в условиях конкурирующих маршрутов. На рисунке 2.6 представлена транспортная сеть, спрос на перевозки, которой  $C = 6000$  автомобилей. Время свободного перемещения транспортного средства на маршруте 1 равно  $t_1 = 15$  мин., пропускная способность  $v_1 = 1500$  автомобилей/ед. времени. На втором маршруте  $t_2 = 30$  мин.,  $v_2 = 3000$ . Для дальнейшего выявления эффективности каждого маршрута воспользуемся параметрами,  $\alpha = 0,15$ ;  $\beta = 4$ .

$$t = t_f(1 + \alpha(v/c)^\beta) \quad (2.4)$$

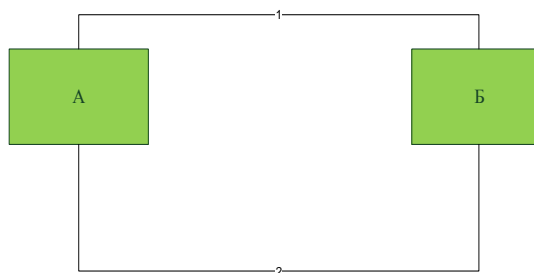


Рисунок 2.6 Альтернативные маршруты

Приведение перераспределение транспортных потоков к транспортному равновесию заключается в том, чтобы сравнить время прохождения на первом и втором маршрутах при полном удовлетворении транспортного спроса:

$$t_1 v_1 = t_2 v_2$$

$$v_1 + v_2 = C = 6000$$

Решив эти два уравнения, получаем значения:  $v_1 = 2652$ ,  $v_2 = 3348$  (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Перераспределение транспортных потоков между двумя альтернативными маршрутами

Маршрут №1					
<b>v</b>	<b>c</b>	<b>β</b>	<b>α</b>	<b>t0</b>	<b>t</b>
2000	1500	4	0,15	15	22,11
3500	1500	4	0,15	15	81,69
1750	1500	4	0,15	15	19,17
1600	1500	4	0,15	15	17,91
2050	1500	4	0,15	15	22,85
500	1500	4	0,15	15	15,03
<b>2652</b>	<b>1500</b>	<b>4</b>	<b>0,15</b>	<b>15</b>	<b>36,98</b>
Маршрут №2					
<b>v</b>	<b>c</b>	<b>β</b>	<b>α</b>	<b>t0</b>	<b>t</b>
1750	3000	4	0,15	30	30,52
3500	3000	4	0,15	30	38,34
4500	3000	4	0,15	30	52,78
3100	3000	4	0,15	30	35,13
4000	3000	4	0,15	30	44,22
1500	3000	4	0,15	30	30,28
<b>3348</b>	<b>3000</b>	<b>4</b>	<b>0,15</b>	<b>30</b>	<b>36,98</b>

При рассмотрении более сложной транспортной системы, время маршрута рассчитывается путем сложения времени всех составляющих отрезков маршрута. При повышении пропускной способности отдельных участков маршрута общее время на поездку снижается, что привлекает транспортные потоки и заставляет конкурировать между собой различные участки транспортной сети. Для более полного анализа воспользуемся показателями корреляции и ковариантности.

## 2.6 Алгоритм выявления конкурирующих маршрутов

Ковариантность и корреляция позволяют измерить соотношение между двумя случайными величинами. Они предоставляют информацию о возможных изменениях при взаимодействии двух величин. Рассмотрим две случайные величины  $X$  и  $Y$  с соответствующими значениями  $E(X) = \mu_x$  и  $E(Y) = \mu_y$  и дисперсией (отклонением от среднего)  $Var(X) = \sigma_x^2$  и  $Var(Y) = \sigma_y^2$ . Ковариантность  $X$  и  $Y$  вычисляется следующим образом:

$$Cov(X, Y) = E[(X - \mu_x) * (Y - \mu_y)] \quad (2.5)$$

Эта формула действительна и  $Cov(X, Y)$  будет конечной при условии, что  $\sigma_x^2 < \infty$  и  $\sigma_y^2 < \infty$ .  $Cov(X, Y)$  может быть положительной, отрицательной и равной нулю. При больших значениях  $X$  и  $Y$ , так же как и при маленьких значениях обоих показателей, ковариантность будет положительной. При больших значениях  $X$  и маленьких  $Y$  и наоборот – ковариантность будет иметь отрицательный показатель.

Если  $0 < \sigma_x^2 < \infty$  и  $0 < \sigma_y^2 < \infty$ , то корреляция будет выглядеть следующим образом:

$$\rho(X, Y) = \frac{Cov(X, Y)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (2.6)$$

Важно отметить, что если  $X$  и  $Y$  независимые случайные величины с  $0 < \sigma_x^2 < \infty$  и  $0 < \sigma_y^2 < \infty$  соответственно, то  $Cov(X, Y) = \rho(X, Y) = 0$ .

Значение  $\rho(X, Y)$  дает показатель степени связи показателей  $X$  и  $Y$ . При  $n$  количестве наблюдений значений  $X$  и  $Y$ , простой корреляционный коэффициент возможно рассчитать по формуле:

$$\rho(X, Y) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) * (y_i - \bar{y})}{(n-1) S_x S_y} \quad (2.7)$$

где  $S_x$  и  $S_y$  стандартное отклонение  $X$  и  $Y$  соответственно.



Далее рассмотрим влияние значений случайных величин на показатели маршрута и его спрос.

Для примера возьмем показатель  $Z$  ( $Z \sim N(0,1)$ ), показатель  $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ , который можно представить в виде формулы:  $X = \mu + \sigma Z$ . В некоторых случаях, например при различных уровнях спроса, необходимо построение вектора показателей  $X = (X_1, X_2, X_3 \dots X_n)^T$  при нормальном распределении, где все компоненты могут быть не взаимосвязаны между собой. Пространственный вектор нормального распределения с главным вектором  $\mu = (\mu_1, \mu_2, \mu_3 \dots \mu_n)^T$  и матрицей ковариантности  $M_{(i,j)}$ , где  $\mu_{ij} = \mu_{ji} = \text{Cov}(X_i, X_j)$ , может быть представлен в виде функции:

$$f(X) = (2\pi)^{-n/2} |M|^{-1/2} \exp\left(-\frac{(X-\mu)^T M^{-1} (X-\mu)}{2}\right) \quad (2.8)$$

Важно отметить, что матрица ковариантности  $M$  симметрична, т.е.  $M^T = M$  и её элементы по диагонали имеют значения больше нуля (т.е.  $\mu_{ij} > 0$ ).

Следующий алгоритм может быть использован при определении необходимого вектора нормального распределения  $X = (X_1, X_2, X_3 \dots X_p)^T$ :

Сперва предположим значения  $Z_1, Z_2, Z_3 \dots Z_p$  принадлежащих  $N(0,1)$ . Эти значения могут быть представлены в виде вектора  $Z = (Z_1, Z_2, Z_3 \dots Z_p)^T$ .

Далее вычислим  $X = \mu + CZ$ , где  $C$  – матрица размером  $p \times p$ , уровень которой является ниже чем  $M = CC^T$ .

Элементы  $C$  можно рассчитать следующим образом:

$$C_{ij} = \sqrt{(\sigma_{ij} - M_{m=1}^{i-1} c_{im}^2)} \quad (2.9)$$

$$C_{ij} = (\sigma_{ij} - M_{m=1}^{i-1} c_{im}^2 \cdot c_{jm}) / c_{ii} \quad (j > i) \quad (2.10)$$

Далее определим конкурирующие маршруты, исходя из следующих параметров:

На входе:

- транспортная сеть и её характеристики (различные показатели маршрутов, времени поездки и т.д.);
- матрицы корреспонденций;
- маршруты, представляющие интерес ( $i$ );
- показатели параметра  $N$  для характеристики маршрута  $i$ ;
- варианты изменения спроса.

На выходе:

- Показатели непосредственно конкурирующих маршрутов.

Данная методология строится на статистической взаимосвязи между показателями маршрутов ( $i$ ) и другими маршрутами ( $k$ ) и далее помогает наиболее точно рассчитать спрос на внедряемые объекты совершенствования транспортной сети и последующие изменения в её работе. Конкурирующие маршруты выявляются в 3 этапа. Рассмотрим их поподробнее.

На первом этапе составляются корреляционные таблицы. Сначала необходимо составить матрицы корреспонденций, из которых будет видно общее количество возможных маршрутов. Затем из этой матрицы выбираются маршруты, имеющие одинаковые временные и стоимостные затраты. Далее составляется вектор показателей  $L$  маршрутов транспортной сети:

$$V^* = [v_1^{(j)}, v_2^{(j)}, \dots, v_L^{(j)}]^T \quad (2.11)$$

Отметим, что:  $V_l^j \geq 0$  ( $l = 1, \dots, L$ ).

Получаем прямой положительный вектор потоков маршрута ( $V^{+*(j)}$ ), который в дальнейшем применим для анализа наиболее важных отрезков транспортного потока. Отметим так же, что данный вектор  $V^{+*(j)}$  включает в себя лишь те маршруты  $l$ , которые имеют показатель  $v_l^{(j)} > 0$ , которые обозначаются  $v_l^{+(j)}$ .

Далее составляется матрица  $V^{+*(j)} = \Delta^{(j)} \times h^j$ , где  $\Delta^{(j)}$  - матрица  $m_{(j)} \times n_{(j)}$ , где  $n_{(j)}$  - количество маршрутов и  $h^j$  - вектор  $n_{(j)} \times 1$  транспортных потоков. Затем строится

матрица корреспонденций тех участков транспортной сети, которые показывают процентное соотношение спроса –  $B^j$ ,  $T = B^j \times h^j$ , где  $T$  – вектор  $p \times 1$ , который показывает пары матриц корреспонденций и  $B^j$  – матрица  $p \times n_{(j)}$ . Теперь определяется наиболее эффективный маршрут  $h^{*(j)}$  при помощи алгоритма равновесия.

И в завершении первого этапа выявляется зависимость между возможностями одного маршрута ( $i$ ) и показателями другого ( $k$ ). И зависимость между возможностями маршрута  $i$  и наиболее эффективного участка транспортной сети  $q$ . На основе полученных данных можно составить таблицу для более наглядного сравнения.

Теперь переходим ко второму этапу, который заключается в анализе зависимостей различных маршрутов. Для каждого участка транспортной сети  $q$  определяем возможные показатели спроса  $W$ .

Получим  $\text{Max}_{w=1, \dots, w} [(P^{(W)} \text{ Зависимость между маршрутом } i \text{ и } q)]$  и  $\text{Min}_{w=1, \dots, w} [(P^{(W)} \text{ Зависимость между маршрутом } i \text{ и } q)]$  – т.е. максимальную и минимальную степень зависимости показателей маршрута  $i$  от наиболее эффективного участка транспортной сети  $q$ .

Вычислим процентное соотношение между сценариями, где был найден показатель  $P^{(W)} \text{ Зависимость между маршрутом } i \text{ и } q$  и который оказался а) неопределенным б) в интервале  $[-1; -0,5]$  в) в интервале  $(-0,5; 0,5)$  г) в интервале  $[0,5; 1]$ .

Вычислим корреляционный коэффициент  $Z$  для показателя зависимости между маршрутом  $i$  и  $q$ :

$$Z_{P^{(W)} \text{ Зависимость между маршрутом } i \text{ и } q} = \frac{\sum_{w=1}^w g_w * P^{(W)}}{W} \quad (2.12)$$

Где  $g_w = \begin{cases} 1 & \text{если } P^{(W)} \text{ определен для сценария } w \\ 0 & \text{во всех остальных случаях} \end{cases}$

Далее для каждого маршрута  $k$ , который есть в прогнозировании спроса  $W$  определяем следующие показатели:

- Максимальную и минимальную степень зависимости маршрута  $i$  от показателей маршрута  $k$ ;
- Вычисляем процентное соотношение между сценариями, где был найден показатель  $P^{(W)}$  *Зависимость между маршрутом  $i$  и  $k$*  а) неопределенным б) в интервале  $[-1; -0,5]$  в) в интервале  $(-0,5; 0,5)$  г) в интервале  $[0,5; 1]$ ;
- Определяем корреляционный коэффициент  $Z$  для зависимости показателей  $I$  от  $k$ :

$$Z_{P^{(W)} \text{Зависимость между маршрутом } i \text{ и } k} = \frac{\sum_{w=1}^W y_w * P^{(W)}}{W} \quad (2.13)$$

Где  $y_w = \begin{cases} 1 & \text{если } P^{(W)} \text{ определен для сценария } w \\ 0 & \text{во всех остальных случаях} \end{cases}$

И, наконец, на третьем этапе анализа, мы можем определить конкурирующие участки транспортной сети и маршруты. К конкурирующим относятся те маршруты/участки транспортной сети, которые принадлежат отрезку  $-1 \leq P^{(W)} \leq -0,5$ , т.е. имеют существенное негативное влияние на распределение транспортных потоков между ними (рисунок 2.7).

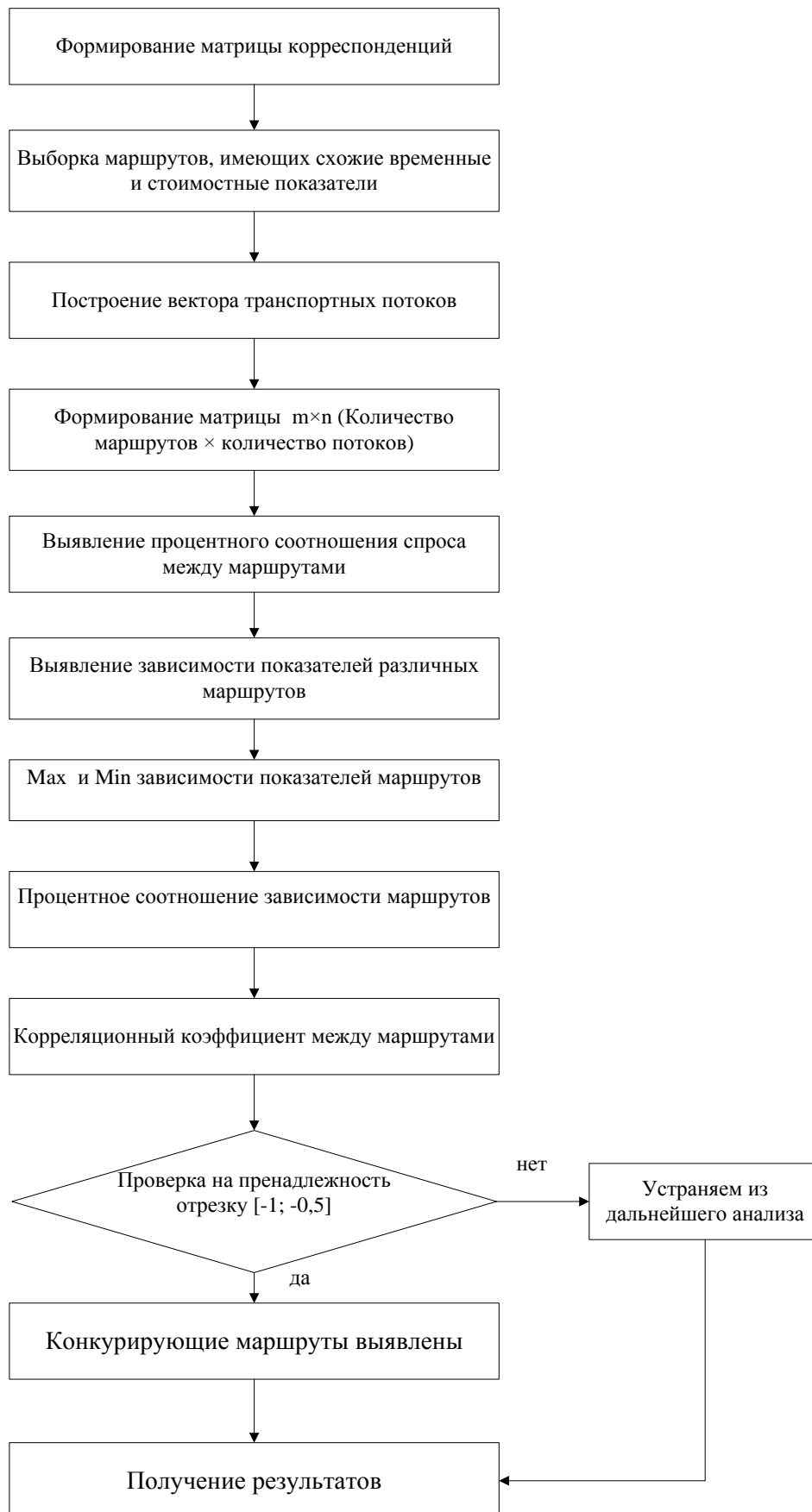


Рисунок 2.7 Алгоритм выявления конкурирующих маршрутов

## **2.7 Методологии определения изменений скорости транспортных потоков в зависимости от различных параметров функционирования транспортной сети**

При анализе функционирования транспортной сети применяются различные методы определения необходимых параметров, но предпочтение отдаётся функциям работы транспортной сети и функции транспортных заторов. Эти функции показывают время и стоимость прохождения маршрута. Функция транспортных заторов может быть представлена показателями скорости на заданном маршруте  $u = f(\theta, v)$ , где  $u$  – скорость на маршруте с заданным объемом перевозок,  $v$  и  $\theta$  – векторы параметров характеристик маршрутов. Построение функции начинается с конечной скорости транспортного средства на данном маршруте  $u_0$ , которая уменьшается при увеличении спроса на данный маршрут.

Для расчетов различных показателей эффективности функционирования транспортной сети, необходимо рассчитать скорость перемещения транспортных средств, от чего зависит выбор того или иного маршрута.

Далее, в формулах будут применяться следующие обозначения:

$u$  – скорость при заданной интенсивности движения транспортных средств;

$v$  – интенсивность движения транспортных средств;

$u_0$  – скорость сводного транспортного потока;

$c$  – пропускная способность данного маршрута;

$t$  – время прохождения маршрута в единицу расстояния маршрута с заданным объемом транспортных средств  $v$ ;

$t_0$  – время прохождения заданного маршрута в условиях скорости свободного перемещения транспортных средств;

$x$  – отношения загруженности транспортной сети к её пропускной способности;

$T$  – период анализа.

$\alpha, \beta$  – параметры калибровки.

Коэффициент  $\alpha$  (часто это значение равняется 0,15) – отношение затрачиваемого времени на единицу расстояния в условиях перемещения свободного потока, параметр  $\beta$  ( $\geq 4$ ) – показатель быстроты достижения скорости перемещения свободного потока и её снижения при перегрузки транспортной сети. Чем выше показатель  $\beta$ , тем выше вероятность транспортного затора на заданном маршруте. Найти скорость в заданных условиях интенсивности дорожного движения можно по следующей формуле:

$$u = \frac{u_0}{[1 + \alpha(x)^\beta]} \quad (2.14)$$

$$\frac{du}{dx} = \frac{\alpha \beta u_0 x^{\beta-1}}{(1 + \alpha x^\beta)^2} \quad (2.15)$$

Пример. Пусть маршрут имеет пропускную способность 1686 авт./час, скорость свободного потока – 64 км/ч,  $\alpha = 0,263$ ,  $\beta = 6,869$ . На момент анализа данного маршрута интенсивность движения транспортных средств составляет 1891 авт./час. В данных условиях скорость перемещения на маршруте снизится до 57 км/ч. (таблица 2.3).

Таблица 2.3 – Показатели изменения скорости в зависимости от изменения интенсивности движения транспортных потоков

Пропускная способность	Текущая интенсивность транспортного движения	Скорость свободного потока	$\alpha$	$\beta$	$x$	$u$ (текущая скорость)
1686	1891	64,67	0,263	6,869	1,12159	40,97059368
2027	2384	66,79	0,263	6,869	1,176122	37,07502232
1418	1632	60,537	0,263	6,869	1,150917	35,80665378
1887	2108	71,131	0,263	6,869	1,117117	45,51541534
1722	2435	64,324	0,263	6,869	1,414053	16,74570452
1878	1916	71,441	0,263	6,869	1,020234	54,87873969

Модель замедления движения Дэвидсона, получившая широкое распространение в экономических анализах, так же может быть модифицирована и применена при анализе условий транспортного движения на заданном маршруте. В таком случае, формула

изменения скорости движения транспортных потоков будет выглядеть следующим образом:

$$u = \begin{cases} \frac{u_0}{1 + \frac{Jx}{(1-x)}}, \text{ если } x \leq \mu \text{ (i)} \\ \frac{u_0}{1 + \frac{J\mu}{(1-\mu)} + \frac{J(x-\mu)}{(1-\mu^2)}}, \text{ если } x > \mu \text{ (ii)} \end{cases} \quad (2.16)$$

где J,  $\mu$  параметры калибровки

$\mu$  - уровень загруженности транспортной сети, фиксирует конечную точку функции  $x$  (обычно в пределах 0,85-0,95);

J – параметр, учитывающий теп местности.

Рассчитаем изменения скорости  $u$  используя предыдущие исходные данные с помощью **модели Дэвидсона**:

#### 2.4 - Показатели изменения скорости при использовании модели Дэвидсона

Пропускная способность	Текущая интенсивность транспортного движения	Скорость свободного потока	$x$	J	$\mu$	$u$
1568	1950	65	1,24362	0,009	0,95	<b>29,17361276</b>
1195	1684	66	1,40921	0,0092	0,949	<b>23,57998601</b>
2050	2532	60	1,23512	0,0099	0,951	<b>25,38440736</b>
1991	2128	70	1,06881	0,008	0,94	<b>49,58992724</b>
1633	2000	65	1,22474	0,0099	0,952	<b>27,44609544</b>
1655	1980	68	1,19637	0,0099	0,94	<b>36,5565806</b>

Так же при анализе скорости движения автомобилей на маршрутах применяется функция Акселика, по которой значение  $u$  рассчитывается следующим образом:

$$u = \frac{u_0}{(1 + 0,25u_0 \left[ (x-1) + \sqrt{(x-1)^2 + 8\tau \frac{x}{u_0 c}} \right])} \quad (2.17)$$



где:

$\tau$  – параметр вынужденных остановок транспортных средств ввиду высокой интенсивности движения транспортных потоков. Низкие показатели данного параметра используются на магистралях со светофорным регулированием, высокие – на магистралях и скоростных дорогах без светофорного регулирования.

Данная методология расчёта скорости имеет преимущества при планировании регулирования дорожным движением имея более точные показатели скорости в заданных условиях на скоростных магистралях. Используя исходные данные, рассчитаем значение  $u$  (таблица 2.5):

Таблица 2.5 - Показатели изменения скорости при применении функции Акселика

<b>Пропускная способность</b>	<b>Интенсивность транспортного движения</b>	<b>Скорость свободного потока</b>	<b><math>x</math></b>	<b><math>\tau</math></b>	<b><math>u</math></b>
1568	1300	65	0,82908	0,1	<b>64,97989901</b>
1195	1684	66	1,40921	0,001	<b>4,550541445</b>
2050	2532	60	1,23512	0,11	<b>7,449769557</b>
1991	2128	70	1,06881	0,08	<b>20,53411293</b>
1633	2000	65	1,22474	0,1	<b>7,827199196</b>
1655	1980	68	1,19637	0,08	<b>8,857590172</b>

Рассмотренные выше методологии позволяют прогнозироваться изменения в поведении транспортных потоков при планировании внедрения интеллектуальных транспортных систем.

## 2.8 Методология минимизации значения целевого параметра

При планировании поездки крайне важна оптимизация маршрута, т.к. практически всегда есть возможности снизить затраты на поездку. Снижение значений выбранных затрат (время/стоимость поездки) на каждом участке маршрута возможно при разделении всего пути на отрезки таким образом, чтобы можно было выбирать лишь те, на которых затраты минимальны.

Представим функцию  $z(x)$  которая описывает заданный маршрут. При решении проблемы снижения значения целевого параметра, необходимо выбрать те показатели  $I$  ( $x_1, x_2 \dots x_I$ ) (пропускная способность, время свободного перемещения транспортного потока и т.д.), которые непосредственно влияют на функцию  $z(x_1, x_2 \dots x_I)$ , которая подчиняется определенным условиям.

Уравнение снижения значения целевого параметра может быть записано следующим образом:

$$\min z(x)$$

при условии

$$g_J(x) \geq b_J; J = 1, \dots, J \quad (2.18)$$

Результатом данного метода будет набор показателей  $x^*$  которые понижают значение функции  $z(x)$ :

$$\begin{aligned} z(x^*) &\leq z(x) \text{ для заданных значений } x \\ g_J(x^*) &\geq b_J, \forall J \in f \end{aligned} \quad (2.19)$$

где  $f$  – набор условий  $(1, 2, \dots, J)$ . Условие  $z(x^*) \leq z(x)$  выдаёт значения  $x$  при которых функция принимает минимальные показатели.

Необходимым условием дифференцируемой функции  $z(x)$  имеющей минимальный показатель в точке  $x=x^*$ , является производная  $z(x)$ , которая в точке  $x^*$  принимает значение 0:

$$\frac{dz(x^*)}{dx} = 0 \quad (2.20)$$

Данное условие является условием первого порядка. Как показано на рисунке ниже данного условия недостаточно для обеспечения в точке  $x^*$  минимального значения заданной функции. На данном рисунке  $dz(x)/dx=0$  для 4 значений  $x$ :  $x=a$ ,  $x=b$ ,  $x=c$  и  $x=d$ . Отметим, что  $x=a$  и  $x=d$  являются локальным минимумом (т.е. максимально сводят участки функции к её минимуму),  $x=b$  является точкой сгиба кривой,  $x=c$  – локальный максимум функции.  $x=a$  является не только локальным минимумом, но и точкой минимума всей функции, другими словами, значения функции  $z(x)$  в точке  $x^*$  ниже, чем во всех остальных точках, например, чем в локальном минимуме  $x=d$  (рисунок 2.8).

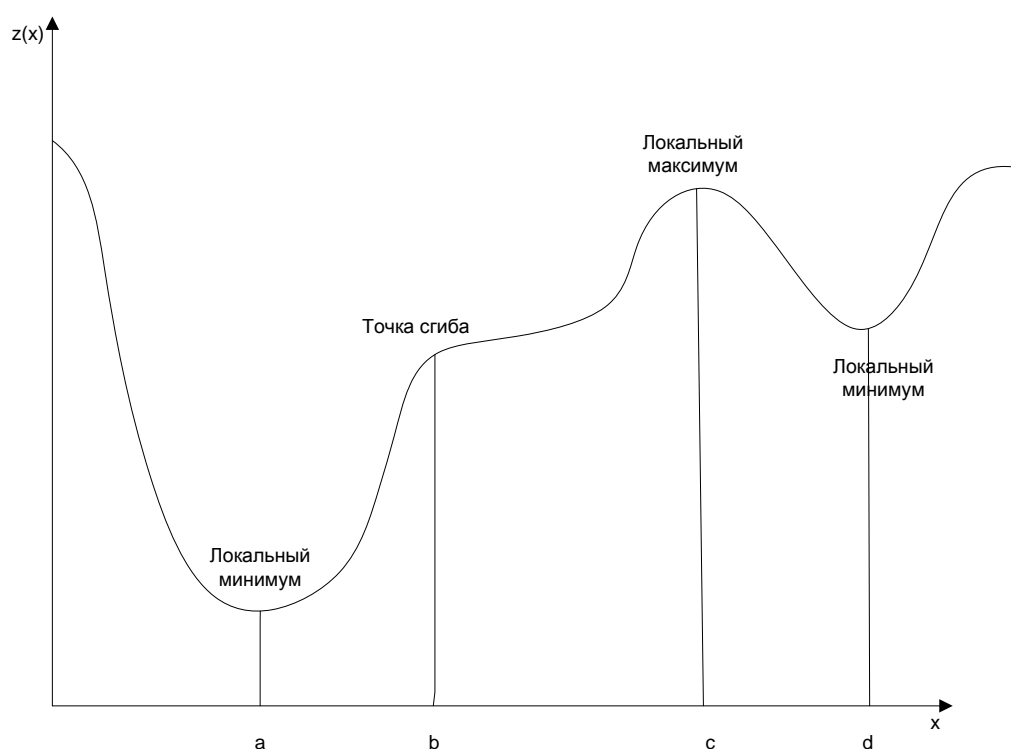


Рисунок 2.8 Точки функции  $z(x)$

Достаточным условием для точек локального минимума является выпуклость функции. Данное условие выполняется при:

$$z[\theta x_1 + (1 - \theta)x_2] < \theta z(x_1) + (1 - \theta)z(x_2) \quad (2.21)$$

для любых точек  $x_1$  и  $x_2$  при любом значении  $\theta$ , где  $0 < \theta < 1$ .

Функция  $z(x)$  выпуклая в точке  $x_1$  при условии:

$$z(x_1) + \frac{dz(x_1)}{dx}(x_2 - x_1) < z(x_2) \quad (2.22)$$

При любых значениях  $x_2$  не равных  $x_1$ .

Стоит отметить, что если функция включает в себя более 1 локального минимума, то зачастую сложно определить какая из точек является точкой минимума всей функции. Так же бывают ситуации, когда функция не имеет 1 уникального минимального значения.

Этот общий подход часто используется в операционном исследовании, в случаях, в которых легче снизить значения целевого параметра, чем решить ряд условий непосредственно.

## 2.9 Методология достижения транспортного равновесия

Проблемой равновесия спроса-предложения является поиск такой интенсивности транспортного потока ( $x$ ), которая удовлетворяла бы всех пользователей данным маршрутом. Эта интенсивность может быть определена по формуле:

$$\min z(x) = \sum_a \int_0^{x_a} t_a(w) dw \quad (2.23)$$

согласно

$$kfkrs = qrs, s \quad (2.24)$$

$$f_k^{rs} \geq 0 \quad \forall k, r, s \quad (2.25)$$

$$x_a = \sum_r \sum_s \sum_k f_k^{rs} \delta_{a,k}^{rs} \quad \forall a \quad (2.26)$$

Где:

$f_k^{rs}$  – поток на участке  $k$ , соединяющий 2 различные точки маршрута  $r$ - $s$

$\delta_{a,k}^{rs}$  - переменный показатель:

$$\delta_{a,k}^{rs} = \begin{cases} 1, & \text{если маршрут } a \text{ является частью участка } k, \text{ соединяющего матрицу корреспонденций} \\ 0 & \text{— во всех остальных случаях} \end{cases}$$

Формула (9) учитывает взаимодействие потоков на различных уровнях, т.е.  $x=x(f)$ .

Частная производная потока взаимосвязей может быть определена следующим образом:

$$\frac{\partial x_a(f)}{\partial f_l^{mn}} = \frac{\partial}{\partial f_l^{mn}} \sum_r \sum_s \sum_k f_k^{rs} \delta_{a,k}^{rs} = \delta_{a,1}^{rs} \quad (2.27)$$

$\frac{\partial x_a(f)}{\partial f_l^{mn}} = 0$ , если  $r$ - $s \neq m$ - $n$  или  $k \neq l$ . Данное уравнение предполагает, что производная

транспортного потока равна 1, если он принадлежит маршруту, соединяющему выбранные транспортные зоны, и 0 в противном случае.

Рассмотрим транспортную сеть, имеющую несколько маршрутов соединяющих между собой 2 транспортные зоны с заданным временным показателем:

$$t_1 = 2 + x_1$$

$$t_2 = 1 + 2x_2$$

Транспортный поток между заданными зонами имеет следующее значение:

$$x_1 + x_2 = 5$$

Условие равновесия в данном примере может быть записано следующим образом:

$$t_1 \leq t_2, \text{ если } x_1 > 0 \text{ и } t_1 \geq t_2, \text{ если } x_2 > 0$$

В данном примере предположим, что водителям доступны оба пути, равновесие которых достигается при  $t_1 = t_2$ .

Для решения задачи равновесия спроса-предложения необходимо найти 4 параметра, а именно:  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $t_1$ ,  $t_2$ . Решением такого уравнения являются следующие показатели:  $x_1 = 3$  (показатель транспортного потока)  $x_2 = 2$  (показатель транспортного потока),  $t_1 = t_2 = 5$  (показатели времени).

Результатом поставленной задачи будет решение уравнения снижения значения целевого параметра:

$$\min z(x) = \int_0^{x_1} (2 + \omega) d\omega + \int_0^{x_2} (1 + 2\omega) d\omega \quad (2.28)$$

При условии:  $x_1 + x_2 = 5$ ;  $x_1, x_2 \geq 0$ .

Для того чтобы представить данное уравнение снижающим значения целевого параметра, функция  $x_2 = 5 - x_1$  может быть представлена следующим образом:

$$\min z(x_1) = \int_0^{x_1} (2 + \omega) d\omega + \int_0^{5-x_1} (1 + 2\omega) d\omega \quad (2.28.1)$$

При условии:  $x_1 \geq 0$ ;  $5 - x_1 \geq 0$  (24.2)

Подставим заданные значения:

$$z(x_1) = 1,5x_1^2 - 9x_1 + 30$$

Данная функция достигает своего минимума в точке  $x^* = 3$ , где  $dz(x_1)/dx_1 = 0$ . Это решение соответствует всем заданным условиям (24.2), понижение целевого показателя выполняется.

Вычисление значений, понижающих целевой показатель, является эффективным методом решения проблемы транспортного равновесия. В уравнении используются показатели транспортных потоков, решением такого уравнения является полученный

показатель времени, потраченного на прохождение маршрута и, как следствие, выбор наиболее эффективного маршрута (по времени и расстоянию) от пункта отправления до пункта назначения. Уравнение может быть составлено следующим образом:

$$\min z(x) = \sum_a x_a t_a(x_a) \quad (2.29)$$

где:

$$\sum_k f_k^{rs} = q_{rs} \quad \forall r, s \quad (2.29.1)$$

$$f_k^{rs} \geq 0 ; \quad \forall k, r, s \quad (2.29.2)$$

Формула 25 является формулой оптимизации, согласно которой водители могут корректировать свой маршрут для снижения временных затрат. Транспортный поток может измеряться соотношением общих затрат времени на прохождение какого-либо маршрута и минимально возможных.

Стоит отметить, что в тех случаях, когда не учитывается транспортный затор, уравнение равновесия и уравнение оптимизации работы участка транспортной сети дают одинаковые результаты. Представить транспортную сеть, где  $t_a(x_a) = t'_a$ . Т.е. время прохождения каждого маршрута не является функцией транспортного потока данного маршрута. В этом случае, уравнение оптимизации будет выглядеть следующим образом:

$$z(x) = \sum_a x_a t'_a \quad (2.30)$$

Уравнение равновесия:

$$z(x) = \sum_a \int_0^{x_a} t'_a dw = \sum_a x_a t'_a \quad (2.31)$$

Снижение значений целевого показателя – более простая задача, чем решение проблем равновесия или оптимизации работы участка транспортной сети, т.к. в этом случае время поездки не рассматривается как функция транспортного потока (при решении уравнений равновесия и оптимизации показатель  $t_a$  меняется в зависимости от значений  $x_a$ ). Для снижения значений целевого параметра необходимо найти такой показатель транспортного потока, при котором на основе данных матриц корреспонденций снижается время поездки на всей транспортной сети. Решение этой

задачи заключается в том, чтобы учитывать только те отрезки транспортной сети, соединяющие матрицы корреспонденций, которые имеют минимальные показатели временных затрат (остальные не рассматриваются). Результатом решения этой задачи будет равновесие (каждый водитель будет пользоваться только теми маршрутами, которые являются оптимальными для него) и снижение общего времени прохождения маршрутов в данной транспортной сети.

Транспортная сеть считается не перегруженной в тех случаях, когда характеристика транспортного потока имеет низкие показатели стоимости и времени прохождения маршрута. Показатель времени при таких условиях будет минимальным, так же как и наклон функции транспортных потоков. В этом случае функции равновесия и оптимизации будут иметь схожие показатели, т.к. дополнительные транспортные потоки не будут влиять на время поездки. Такая ситуация схожа с условиями фиксированного показателя времени прохождения маршрута.

Чем больше увеличивается транспортный поток между транспортными зонами, тем более разнородными становятся уравнения равновесия и оптимизации. Высокие показатели транспортного потока означают, что некоторые маршруты становятся перегруженными, а показатель времени достигает свое максимальное значение.

### ***Выводы по главе***

1. Предложена методика оценки рисков реализации объектов ИТС, осуществляющаяся в 6 этапов: 1. Планирование реализации объекта ИТС; 2. Отбор рисков. Идентификация рисков для определения реальных угроз. 3. Анализ рисков. После того как определены все возможные риски данного проекта необходим их детальный анализ, который предназначен для выявления наиболее вероятных и опасных рисков для дальнейшей работы с ними; 4. Работа с рисками. Включает в себя меры, необходимые для борьбы с выявленной проблемой при оценке анализа рисков. 5. Выбор стратегий смягчения. Основан на классификации рисков, включенных в базу данных в



соответствии с условиями, при которых они могут возникнуть; 6. Построение сценариев смягчения последствий рискованных ситуаций.

2. Разработан алгоритм выявления конкурирующих маршрутов в условиях, когда к существующей транспортной сети добавляются объекты альтернативных платных дорог, проанализирован принцип перераспределения транспортных потоков.

3. Модифицированы функции Акселика и Дэвидсона для определения зависимости скорости транспортных потоков на анализируемом маршруте от различных параметров транспортной сети. Выбор функции (Акселика или Дэвидсона) зависит от заданных условий движения.

### **ГЛАВА 3. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ГОРОДА И НЕОБХОДИМОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ ОБЪЕКТА ИТС ДЛЯ РЕШЕНИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПРОБЛЕМ**

#### **3.1 Мониторинг транспортной сети города Ростова-на-Дону**

##### **3.1.1 Методология проведения исследований транспортных потоков**

Для оценки эффективности внедрения ИТС необходимо анализировать параметры транспортных потоков в зоне влияния объекта в сравнении с исходной ситуацией. Основным методом при решении этой задачи является моделирование дорожного движения. Объектом моделирования в данной работе является один из наиболее сложных, с точки зрения организации дорожного движения, участок транспортной сети города Ростова-на-Дону – проспект Нагибина. Прежде чем приступить к моделированию объекта, необходимы сбор и анализ данных о текущих параметрах транспортной сети.

Анализ мирового опыта в области обследования параметров дорожного движения выявил, что наиболее эффективным является выборочный метод обследования, согласно которому производится обследование отдельных частей объекта, с целью получения данных, которые можно распространить на всю генеральную совокупность. Российские исследователи в области дорожного движения, дают следующие параметры времени обследования дорожного движения в зависимости от его интенсивности (табл. 3.2):

Таблица 3.1 – Рекомендованные временные рамки обследования дорожного движения в зависимости от его интенсивности

ФИО исследователя	Рекомендованное время для заданной интенсивности дорожного движения		
1. Вальц В.К. [...]	> 800 авт/ч	800 авт/ч – 1200 авт/ч	< 1200 авт/ч
	30 мин	12 мин	6 мин
2. Ваксман С.А. [...]	> 500 авт/ч	500 авт/ч – 1000 авт/ч	< 1000 авт/ч
	30 мин	12 мин	6 мин
3. Шелков Д.Ю. [...]	Любой уровень интенсивности		
	30 мин		

При обследовании УДС необходимо определить минимальное необходимое количество наблюдений при обследовании транспортных потоков. Рассмотрим один из существующих методов:

На первом шаге определяется уровень доверительной вероятности, т.е. надёжности исследования ( $B_i = 0,9 - 0,999$ ). При подготовки окончательной документации по проведенному обследованию применялся высший предел значения  $B_i$ . На втором шаге, выбранному значению  $B_i$  определяется показатель надежности, который находится  $t_i = f(B_i)$  (таблица 3.1)

Таблица 3.1 – Расчет показателей надежности

$B_i$	0,90	0,95	0,99	0,999
$t_i$	1,645	1,960	2,576	3,291

Показатель  $t_i$  показывает границы участка попадания значений  $B_i$  и количество средних квадратичных отклонений вправо и влево от среднего значения. По многим

наблюдениям было установлено, что данные границы чаще всего находятся в пределах  $\pm 3$  от среднего значения.

При исследовании характеристик транспортных потоков обычно используют данные обследований, полученные с надежностью 0,90–0,95, т.е. ошибка не будет составлять более 10%

Минимально необходимое число наблюдений рассчитывает следующим образом:

$$n = \frac{t_i^2 * \sigma^2}{\Delta^2} \quad (3.1)$$

где:

$\Delta$  – максимально допустимая ошибка

Например, на анализируемом участке максимальная длительность ездки составляет 70 минут, а минимальная – 30 минут, степень достоверности проводимых исследований

$B_i = 0,99$ ,  $t_i = 2,576$ , точность измерения длительности ездки автотранспортных средств – 5 мин., определить необходимое число наблюдений. Сначала находим размах показателя  $R = 70 - 30 = 40$  мин., затем находится показатель  $\sigma = R/6 = 40/6 \approx 6,5$  мин. Количество наблюдений равняется:

$$n = \frac{2,576^2 * 6,5^2}{5^2} \approx 11$$

Мониторинг характеристик транспортных потоков на УДС г. Ростова-на-Дону выполняется систематически на протяжении 11 лет. У города сформирована база данных, включающая в себя показатели интенсивности движения и состав транспортного потока на магистральных участках УДС. Мониторинг характеристик транспортных выполняется методами натурных наблюдений с использованием наблюдателей и автоматизированных средств учета.

Также одним из важнейших показателей функционирования транспортной сети, является количество остановок транспортных средств при прохождении определенного маршрута. Данный показатель можно найти по следующей формуле:

$$t_{\Delta} = \int_{l_1}^{l_n} \left[ \frac{1}{v_{\phi}(l)} - \frac{1}{v_p(l)} \right] d \quad (3.2)$$

где:

$t_{\Delta}$  – количество остановок на анализируемом отрезке транспортной сети;

$v_{\phi}$ ,  $v_p$  – фактическая и принятая расчетная скорости соответственно;

$d$  – анализируемый отрезок транспортной сети.

После нахождения данного показателя, есть возможность рассчитать общие потери времени ( $T_{\Delta}$ ) на прохождение анализируемого маршрута:

$$T_{\Delta} = N_A * t_{\Delta} * T \quad (3.3)$$

где:

$N_A$  – интенсивность транспортных потоков на маршруте,

$T$  – продолжительность наблюдения.

Применение плавающих автомобилей между начальными и конечными пунктами анализируемого участка, может дать точные данные о времени прохождения данного маршрута. При высоком разбросе показателей, необходимо большое количество заездов плавающих автомобилей. Для получения наиболее точных показателей задается небольшой интервал времени и высокая частота заездов плавающих автомобилей. В таблице 3.2 приведено количество заездов плавающих автомобилей в зависимости от разброса скорости движения автомобилей.

Таблица 3.2 «Количество заездов плавающих автомобилей в зависимости от разброса скорости движения автомобилей»

Коэффициент вариации времени поездки	Число заездов плавающих автомобилей		
	90% уровень доверительной вероятности и ошибка $\pm 10\%$	95% уровень доверительной вероятности и ошибка $\pm 10\%$	95% уровень доверительной вероятности и ошибка $\pm 5\%$
10	3	4	15
12	5	6	22
14	7	8	30
16	9	10	39
18	11	12	50
20	14	15	61

Для проведения обследования транспортной сети города Ростова-на-Дону были использованы исходные данные, полученные при анализе следующих документов:

- Генеральный план города Ростова-на-Дону (корректировка), выполненного по заданию комитета по архитектуре и градостроительству г. Ростова-на-Дону;
- Стратегический план социально-экономического развития города Ростова-на-Дону на период до 2025 года;
- Комплексная схема организации дорожного движения г. Ростова-на-Дону;
- Комплексная транспортная схема г. Ростова-на-Дону.

Характеристики транспортных потоков были взяты из данных наблюдений 2013-2014гг. (рисунки 3.1, 3.2).



Рисунок 3.1 – Фактические значения объемов движения в центральной части города Ростова-на-Дону

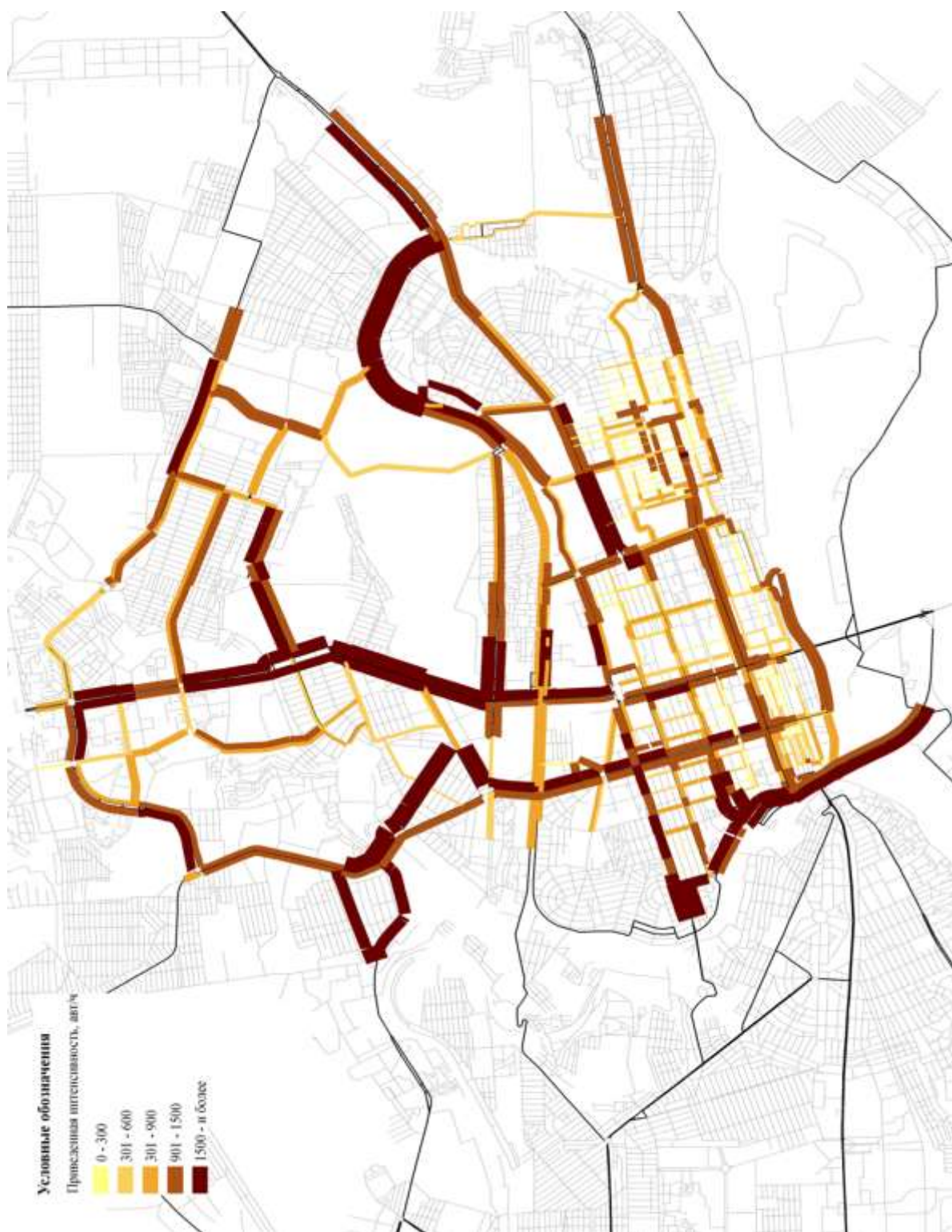


Рисунок 3.2 – Эпюра фактических объемов движения на магистральной УДС города Ростова-на-Дону

Далее будут более подробно рассмотрены характеристики транспортных потоков г. Ростова-на-Дону, полученные перечисленными выше методами.



### 3.1.2 Показатели пассажироперевозок

Город Ростов-на-Дону основан в 1749 году в качестве крепости, в настоящее время является крупнейшим деловым, индустриальным и культурным центром. Ростов-на-Дону представляет собой Южные торговые ворота России и узел Южно-Российской развитой интермодальной системы транспортных магистралей: водных артерий, сети железных, автомобильных дорог, трубопроводов и службы авиаперевозок, с населением более 1 млн. человек. Ростов-на-Дону обеспечивает связь регионов России (в том числе Южного Федерального округа) с внешнеэкономическими партнерами, формируя ключевые позиции в развивающейся транспортной системе Юга страны. Развитие экономики города тесно взаимосвязано с развитием дорожно-транспортной системы. Учитывая постоянный рост численности населения и, соответственно, количества автомобилей – данное направление является приоритетным.

Территория города Ростова-на-Дону в настоящее время составляет 355,0 км, в том числе застроенная – 155,0 км<sup>2</sup> (без аэродромов).

Численность постоянного населения города составляет 1114 тыс. чел.

Количество рабочих и учебных мест (мест приложения труда) в городе составляет в настоящее время 642,5 тыс. чел., в период 2000-2009 год количество мест приложения труда увеличилось на 145,0 тыс. (на 30%).

Расчетное значение радиуса расселения населения и размещения мест приложения труда относительно центра города в настоящее время составляет порядка 5,7 км, радиуса размещения мест приложения труда – 4,0 км.

Расчетная средняя дальность поездки жителя города в настоящее время составляет около 4,5 км и может быть уточнена по результатам обследований передвижений жителей (корреспонденций).

Анализ расселения населения относительно размещения мест приложения труда по городу показал (таблица 3.2):

1. 73% от общей численности населения проживает в периферийной и срединной зонах города, в центральной части – 27%;

2. 50% от общего количества мест приложения труда сосредоточено в центральной части города, что создает в центре избыток мест приложения труда – 170,0 тыс. мест и приводит к формированию значительных центростремительных пассажирских потоков с трудовыми целями в центральную часть города;

3. В целом по городу наблюдается избыток мест приложения труда - 111,0 тыс. мест, в связи, с чем в Ростов-на-Дону из ростовской области на работу прибывает порядка 24% от общего количества мест.

Таблица 3.2 – Показатели развития города Ростова-на-Дону

№ п/п	Показатели	Ед. изм.	Данные
<b>1</b>	Годовой пассажирооборот	млн. пасс.	<b>705</b>
	Личный легковой транспорт	млн. пасс.	<b>240</b>
	Общественный транспорт	млн. пасс.	<b>465</b>
<b>2</b>	Средняя дальность поездки	км	<b>6,4</b>
	Личный легковой транспорт	км	<b>8,5</b>
	Общественный транспорт	км	<b>5,3</b>
<b>3</b>	Уровень автомобилизации	ед./1 тыс.жит	<b>358</b>
<b>4</b>	Время поездки на городском пассажирском транспорте	мин.	<b>45-55</b>

Средняя дальность поездки пассажиров по видам транспорта составляет:

- трамвай – 1,86 км, троллейбус – 2,44 км, автобус – 4,32 км, автобус, работающих в режиме маршрутных такси – 6,3 км, средняя по ГПТ – 4,5 км;

- по железной дороге в пригородно-городском сообщении (по территории города) – порядка 59,0 км;

Коэффициент пересадочности между видами наземного городского пассажирского транспорта составляет 1,1 - принят по выданным исходным данным – Генеральный план, разработанный Российским НИ и П Урбанистики

Маршрутная сеть НГПТ представлена 152 маршрутами, в том числе:

- автобуса – 139 маршрутов;
- троллейбуса – 9 маршрутов;
- трамвая – 4 маршрута.

Протяженность маршрутной сети (приводится по выданным данным Департамента транспорта г. Ростова-на-Дону) составляет 3756,0 км (100%), в т.ч.:

- автобуса – 3503,5 км (93%) – данные по 124 маршрутам;
- троллейбуса 190,0 км (5%);
- трамвая 62,7 км (2%).

Средняя расчетная плотность линий ГПТ составляет 1,8 км/км<sup>2</sup> застроенной территории (длина сети НГПТ с учетом совмещения определена расчетным путем в связи с отсутствием исходных данных), что находится в пределах нормативных значений СНиП 2.07.01-89, п.6.28 (1,5-2,5 км/км<sup>2</sup>).

В настоящий момент в городе существует ряд дорожно-транспортных проблем, тормозящих его развитие. Стремительное повышение уровня автомобилизации в г. Ростове-на-Дону и неспособность дорожной сети осуществлять необходимый оборот транспортных потоков, приводит к огромным экономическим издержкам. По сравнению с 2000г., уровень автомобилизации в г. Ростове-на-Дону составил 53,7 %. Транзитные потоки транспорта лишь усугубляют неблагоприятную ситуацию в городе.

Центральный район Ростова-на-Дону характеризуется высокими показателями загруженности, что негативно сказывается на распределении транспортных потоков по всему городу и коммуникациями между центром и остальными районами города. Скорость сообщения на маршрутах автобуса и троллейбуса составляет в среднем 15,0-

17,0 км/час, но скорость сообщения северного/западного районов города с центральной частью значительно ниже этого показателя.

Движение более 100 машин в час в одном направлении на маршрутах ГПТ наблюдаются на 20% участках ГПТ – это основные магистрали города:

- улица Вавилова – Ул. Шеболдаева – Проспект Буденовский;

- проспекты Космонавтов – Нагибина - Ворошиловский;

- проспект Королева – ул. Армянская – ул. Вятская;

- проспект Шолохова;

- проспект Стачки;

- улица Текучева;

- основные улицы центра – Ул. Большая Садовая, участки проспектов Ворошиловский, Буденовский, улица 20-я линия.

На отдельных участках УДС – Пр-ты Космонавтов – Нагибина – Ворошиловский; пр. Буденновский; Ул. Большая Садовая; проспект Стачки; ул. Текучева в часы «пик» частоты достигают 170,0 - 400,0 машин в час в одном направлении. Такие высокие показатели вызвали большие проблемы, связанные с посадкой-высадкой пассажиров на остановочных пунктах, пропускной способностью остановочных пунктов города.

Проведенный анализ данных о пассажирских потоках на основных магистралях, соединяющих различные районы города Ростова-на-Дону с центральной частью в часы пик (мониторинг транспортной сети, натурные наблюдения) выдал следующие результаты:

*в северной части города:*

- проспект Космонавтов на участке от ул. Орбитальная до ул. Капустина – 6,0-7,0 тыс. чел.; по параллельной с ним улице Добровольского – 3,0- 4,0 тыс. чел.;

- по ул. Плиева – 6,0-7,0 тыс. чел., проспекту Нагибина на участке от пл. Советской конституции до ул. Нансена – 7,0-11,0 тыс. чел.;

*в северо-восточной и восточной частях города:*

- на улицах Армянская – Вятская – 4,0-6,3 тыс.чел.;

- на проспекте Шолохова на участке от Театрального проспекта до ул.

Селиванова, в т.ч. на подъезде к автовокзалу (пл. Октября), в каждом направлении – 6,0-11,0 тыс.чел.;

*в центральной части города:*

- на Буденовском проспекте на участке от улицы Текучева до Центрального рынка и речного вокзала – 6,5-13,6 тыс. чел.;

- на Большой Садовой ул. – 3,0-3,5 тыс. чел.;

- по ул. Красноармейская – 2,5-3,5 тыс. чел.;

*в западной части города:*

- на проспекте Стачки – 2,5-4,2 тыс. чел.;

- на ул. Доватора в районе пересечения с ул. Малиновского – 3,0-10,5 тыс. чел.; на ул. Малиновского – 4,5-6,0 тыс. чел.

Город Ростов-на-Дону имеет международное значение, находясь на пересечении транспортного коридора «Север – Юг», использует все виды сообщения в направлении Хельсинки – Санкт-Петербург – Москва – Ростов-на-Дону – Новороссийск, связывает страны Европы с восточными районами России и Дальним Востоком. Являясь городом – магистралью, Ростов-на-Дону имеет выход к автодорогам федерального значения: восточному, южному и левобережному подходам в автодороге М4 «Дон», левобережному участку «Западного обхода», автодороге Ростов-Таганрог, автодороге М23 Ростов – Новошахтинск. Вход на перечисленные дороги обеспечивают: проспект Шолохова, ул. Малиновского, проспект 40-летия Победы, Таганрогская ул., Ворошиловский проспект, Особенная ул. – ул. Вавилова. Так же стоит упомянуть, что в черте города имеется 3 значимых автодорожных моста через р. Дон: Ворошиловский мост, мост на Западном обходе города и Аксайский мост по трассе автодороги «Дон». Общий объем перевозок грузов внешним транспортом в Ростовском узле за год

составляет около 22 млн. тонн (в три раза меньше, чем в Москве), в том числе на железнодорожном - около 8,1 млн. тонн (в пять раз меньше, чем в Москве), на водном - 6,6 млн. тонн (в 1,4 раза меньше, чем в Москве), на воздушном – 0,005 млн. тонн (в 6 раз меньше, чем в Москве), на автомобильном – 7,2 млн. тонн (в два раза меньше, чем в Москве). При соотношении численности населения Ростова-на-Дону и Москвы (примерно 1:10), приведенные показатели объемов перевозок грузов и пассажиров внешним транспортом Ростовского узла свидетельствуют о высоком уровне использования его в транспортном обслуживании региона.

В настоящее время схема магистралей Ростова-на-Дону сформирована не полностью. Участки сети, имеющие исторический характер формирования, отличаются небольшой шириной и узкими проезжими частями. Часть направлений, в первую очередь в районах, построенных в советское время, имеет современные параметры.

В центральной части города ширина улиц составляет 15-20 метров, в других районах – 15-25. В настоящее время протяженность улично-дорожной сети составляет 1165 км, в том числе магистральных улиц – 272 км, улиц местного значения – 893 км. Плотность улично-дорожной сети по отношению к освоенной территории составляет 7,5 км/кв.км, магистральных улиц – 1,56 км/кв.км.

Как показал анализ результатов обследования РГСУ, участками магистралей, которые работают на пределе пропускной способности, являются: проспект Шолохова, Таганрогская ул., ул. Малиновского, ул. Вятская, ул. Стахановского, Днепропетровская ул., Особенная ул. Магистралями, исчерпавшими запас пропускной способности, являются: проспект Стачки, Ворошиловский проспект, Буденновский проспект, ул. Станиславского, Тургеневская ул., Социалистическая ул. Красноармейская ул., Театральный проспект, ул. Менжинского, ул. Нансена, Зоологическая ул., Троллейбусная ул.

Транспортными узлами, работающими на пределе пропускной способности являются Днепропетровская ул. – ул. Панфиловцев, ул. Таганрогская – ул. Малиновского, ул. Таганрогская – ул. Оганова, ул. Малиновского – ул. Доватора, ул. Малиновского – проспект Стачки, проспект Королева – ул. Вавилова, проспект

Королева – проспект Космонавтов, проспект Королева – ул. Добровольского, ул. Армянская – ул. Штахановского, Днепропетровская ул. – проспект Шолохова, Троллейбусная ул. – ул. Страны Советов, Троллейбусная ул. – ул. Менжинского, проспект Шолохова – проспект – Сельмаш, проспект Шолохова – ул. 1-й Конной Армии, Ворошиловский проспект – ул. Варфоломеева, пл. 2-й Пятилетки.

Транспортными узлами, исчерпавшими запас пропускной способности, являются: проспект Космонавтов – ул. Волкова, Комсомольская пл., ул. Менжинского – ул. 1-й Конной Армии, Театральный проспект – Красноармейская, ул., Театральный проспект – проспект Шолохова, проспект Стачки – проспект Сиверса, а также ул. Станиславского – Буденновский проспект, Тургеневская ул. – Ворошиловский проспект, Социалистическая ул. – Богатыновский спуск, проспект Ленина – проспект Михаила Нагибина.

По данным обследования можно сделать вывод, что около 44% сети города, преимущественно общегородского значения, является перегруженной транспортными потоками ( $0,85 \leq K_z \leq 1,0$ ), т.е. основные магистрали не всегда могут справиться с существующим транспортным потоком.

К самыми широкими магистралями города относятся: проспекты Буденновский, Ворошиловский, Михаила Нагибина, улицы Стадионная, Шеболдаева, 339 Стрелковой Дивизии, участки проспекта Космонавтов, проспекта Королева, ул. Малиновского, ул. Портовая, проспекта Стачки, проспекта 40-летия Победы, имеющие по 3 полосы движения в каждом направлении. А улицы Белорусская, Вятская, Доватора, Еременко, Зорге, Зоологическая, Мечникова, Мясникова, Сарьяна, Нансена, Портовая, проспект Стачки, ул. 50-летия Ростсельмаша, напротив, имеют однополосное движение, они являются «узкими местами» улично-дорожной сети, затрудняют движение. Так же «узкими местами» являются транспортные сооружения на пересечениях улично-дорожной сети с железными дорогами, реками и ручьями. Всего в городе 39 мостов и путепроводов. Так же стоит отметить, что ширина далеко не всех проезжих частей города соответствует нормам. Таким образом, транспортная система не отвечает

потребностям города, не справляясь с существующими объемами транспортных потоков.

Из всего вышеперечисленного, можно сделать вывод, что наиболее проблемной зоной города Ростова-на-Дону является направление «Север – Юг». Интенсивность движения на данном участке составляет 90 тыс. автомобилей в сутки, в то время как средняя интенсивность движения в городе составляет 53 тыс./сут. При этом количество автомобилей в городе вообще, и транспортная нагрузка в этом направлении в частности, продолжает увеличиваться темпами, опережающими развитие транспортной системы. Основные магистрали города перегружены транспортными потоками, не могут обеспечить город транспортными связями с высокими скоростями движения. Так же отсутствуют магистрали, как в обход центра города, так и в обход города в целом, в силу чего центр города перегружен потоками транспорта, не связанного с его обслуживанием: доля транзитного движения через центр достигает 30-40%, через город – 4 %. Дефицит магистралей составляет порядка 90-95 км, в том числе магистралей общегородского значения – 22,4 км, магистралей районного значения – 72,8 км.

Проблемы в транспортной системе города могут снизить темпы социально-экономического развития как города Ростова-на-Дону, так и Ростовской области.

В сложившихся условиях для обеспечения высокого уровня развития города Ростова-на-Дону, как столицы Федерального округа, необходимо проведение мероприятий по улучшению работы транспортной сети.

Основная транспортная нагрузка в этом направлении приходится на транспортную магистраль – пр. М. Нагибина. Данная транспортная магистраль имеет пересечения со множеством улиц, интенсивное пешеходное движение, большое количество мест приложения труда. Интенсивность движения на пр. М. Нагибина составляет 76-80 тыс. авт/сут. Коэффициент загрузки магистрали составляет - 0,8, что значительно превышает допустимое значение. Таким образом, пропускная способность магистрали не справляется с существующими объемами транспортных потоков, особенно в зимний период. Как результат, на данном отрезке транспортной сети возникают продолжительные транспортные заторы, особенно в часы «пик». Как показали



наблюдения пр. М. Нагибина, данная магистраль является наиболее аварийной в городе Ростове – на – Дону.

Решением такой проблемы может быть поиск возможного увеличения пропускной способности данных участков улично-дорожной сети. Выбор варианта развития магистралей является одним из приоритетных направлений, рассматриваемых как на стадии Генерального Плана, так и на стадии Схемы комплексного развития транспорта. Согласно Генеральному Плану Ростова-на-Дону по развитию территории города, целями развития улично-дорожной сети, как части городской транспортной системы, являются: обеспечение необходимой пропускной способностью, удовлетворение потребностей пассажиров и городского хозяйства в быстрых, безопасных и удобных сообщениях между различными районами города. Но также стоит отметить, что невозможно обеспечить непрерывное движение автомобилей с расчетной скоростью за счет расширения проезжей части, при существующей застройке вдоль дорог. Таким образом, выходом из данной проблемы может стать внедрение объектов интеллектуальных транспортных систем.

### **3.2 Управление транспортной системой города**

В современном мире около 74% населения проживает в городах, что в свою очередь говорит о высоком значении транспортной системы как связующего элемента. Транспортные системы классифицируются по различным признакам: территориальным, видам транспорта и т.д. Суть исследований в области транспортных систем заключается в выделении взаимосвязей и взаимодействий работы дорожной сети города и водителей, направлены на постоянное повышение качества работы городской транспортной сети. Мониторинг, анализ существующей ситуации на транспортной сети города, выявление и решение транспортных проблем, управление движением транспорта – объекты исследований в области развития транспортных систем и технических инноваций.

Рассмотрим систему управления работы городского транспорта (рисунок 3.3). Все данные о состоянии транспортной сети поступают в единый центр управления, откуда идёт дальнейшее принятие оперативных решений, реагирование на дорожно-транспортные происшествия, своевременное информирование водителей и пассажиров о каких-либо изменениях на определенных участках дорог, предоставление дополнительных услуг и т.д.



Рисунок 3.3 – Система управления движением транспорта в городах

Управление городскими транспортными потоками является сложным и трудоемким процессом. В современном мире происходит активное развитие инновационных технологий в этой области – Интеллектуальных транспортных систем, при помощи которых, весь процесс становится более точным и эффективным. Отдельные элементы внедрены и применяются в отечественной практике, но по их использования наша страна значительно отстаёт от многих зарубежных стран. Благодаря подобным системам возможен сбор данных в режиме реального времени, быстрое реагирование на дорожно-транспортные происшествия, их прогнозирование и предотвращение; моделирование изменения работы транспортной сети и перераспределение транспортных потоков, разработка планов по улучшению работы транспортной сети (рисунок 3.4).

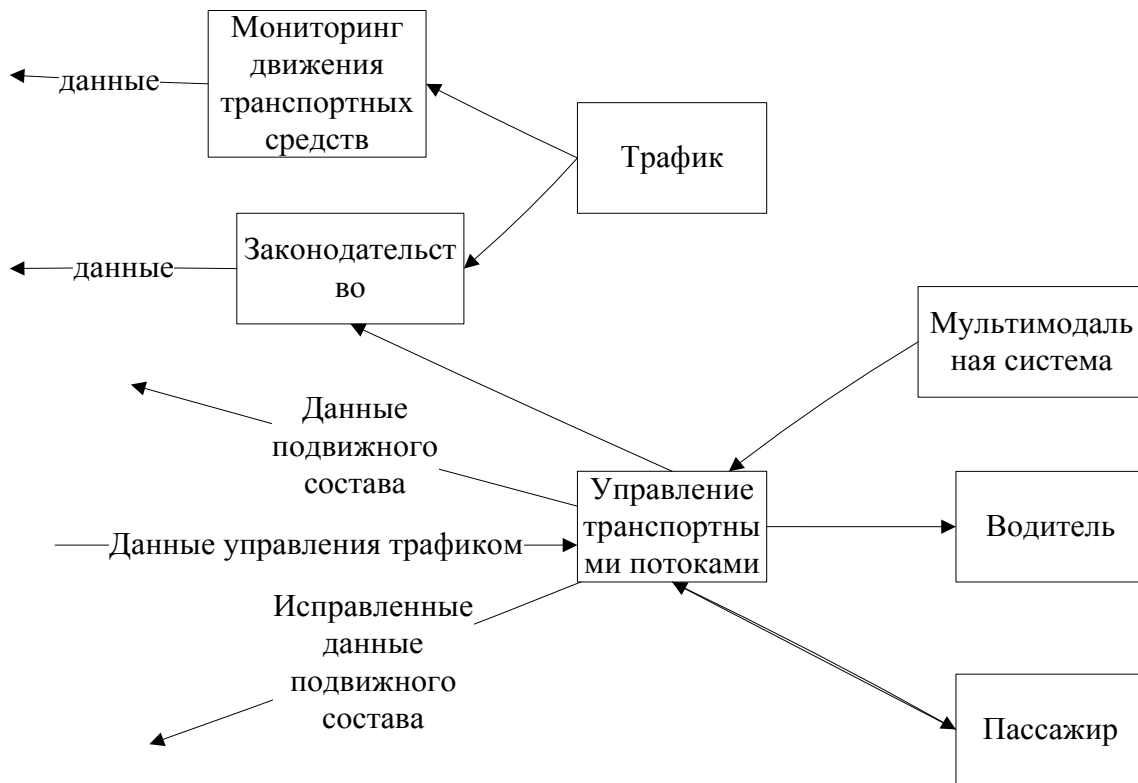


Рисунок 3.4 Система управления транспортными потоками: модули подсистемы «на дороге»

Рассмотрим, как происходит управление транспортными потоками более детально. Вся поступающая информация распределяется по модулям, отвечающими за определенные данные. Связь между такими модулями осуществляется оператором, таким образом, различные модули соединяются в единую информационную систему управления, обеспеченную эффективным обменом данными, что позволяет быстрое реагирование на различные дорожно-транспортные происшествия, планирование поездок и т.д. (рисунок 3.5):

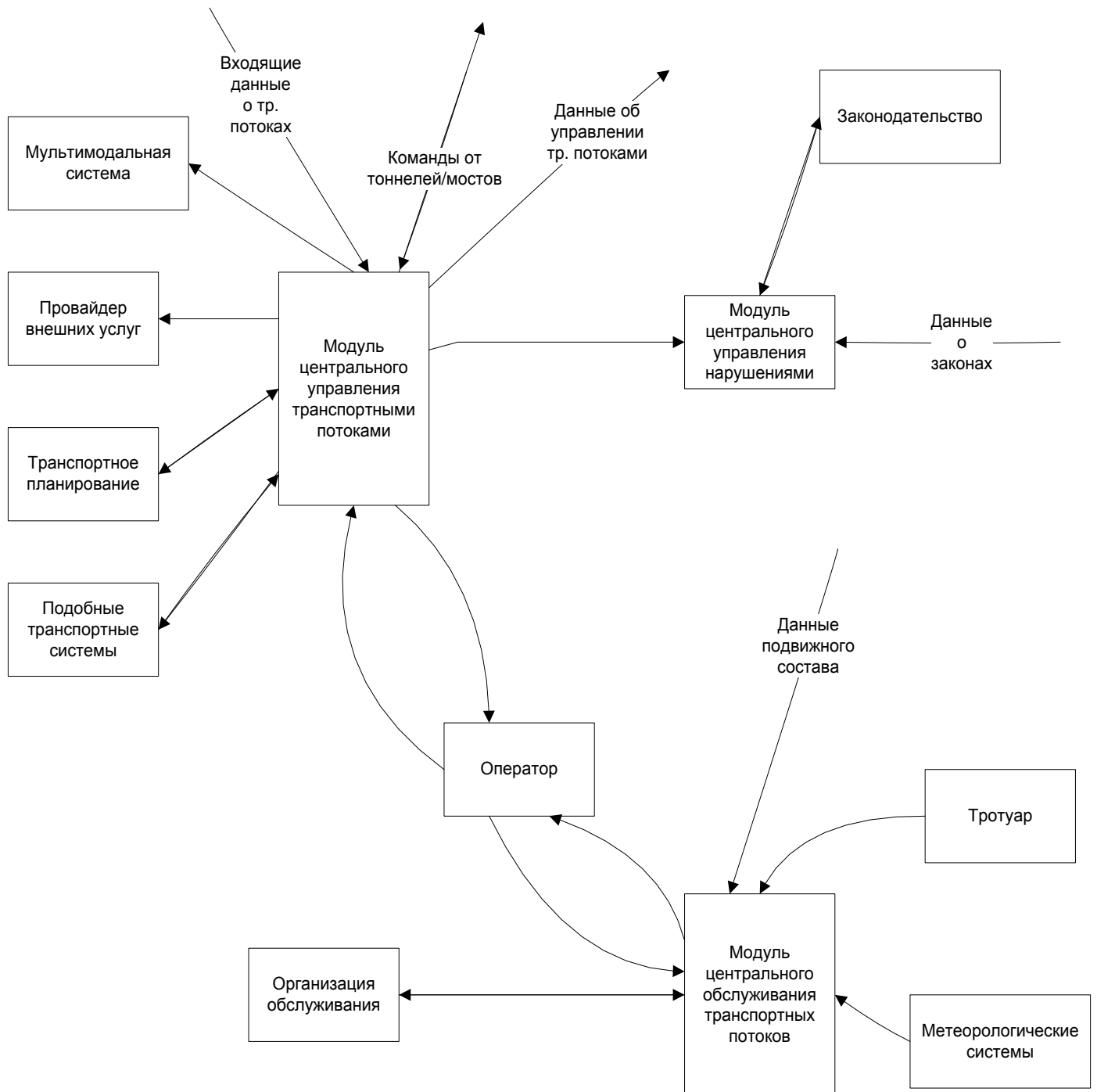


Рисунок 3.5 Система управления транспортными потоками: модули центральной подсистемы

Объекты интеллектуальных транспортных систем должны выполнять следующие группы функций:

- планирование работы инфраструктуры – эта группа включает в себя долгосрочное планирование, моделирование и отчеты работы транспортной сети;
- законное регулирование – разработка различных правил и ограничений работы транспортной сети;
- финансовое регулирование – установка тарифов на оказание различных услуг ИТС;
- управление дорожно-транспортными происшествиями – эта группа включает в себя разработку систем повышения уровня безопасности транспортной сети, управление особенно опасными участками дорог, предотвращение хищения транспортных средств и т.д.;
- информация о поездке и навигация – предоставление как предварительной информации, так и в процессе поездки, включая изменения в планах маршрута;
- управление трафиком, спросом и ДТП – включает в себя мониторинг, планирование, анализ потоков транспортных средств, установку допустимых скоростей, определение парковочных мест, контроль установления тарифов;
- интеллектуальные транспортные средства – включает в себя различное оборудование, осуществляющее контроль скорости и ДТП, повышение уровня обзора транспортной сети, системы оповещения и т.д.;
- управление грузовым транспортом – включает в себя сбор данных, подготовку регулирующей документации, планирование, мониторинг, отчетность, безопасность транспортного средства;
- управление общественным транспортом – осуществляет контроль спроса, безопасность пассажиров, информирование в поездке.

Рассмотрим перечисленные выше функции схематично на примере управления скоростным режимом городских транспортных потоков и управление магистралями города (рисунки 3.6, 3.7):

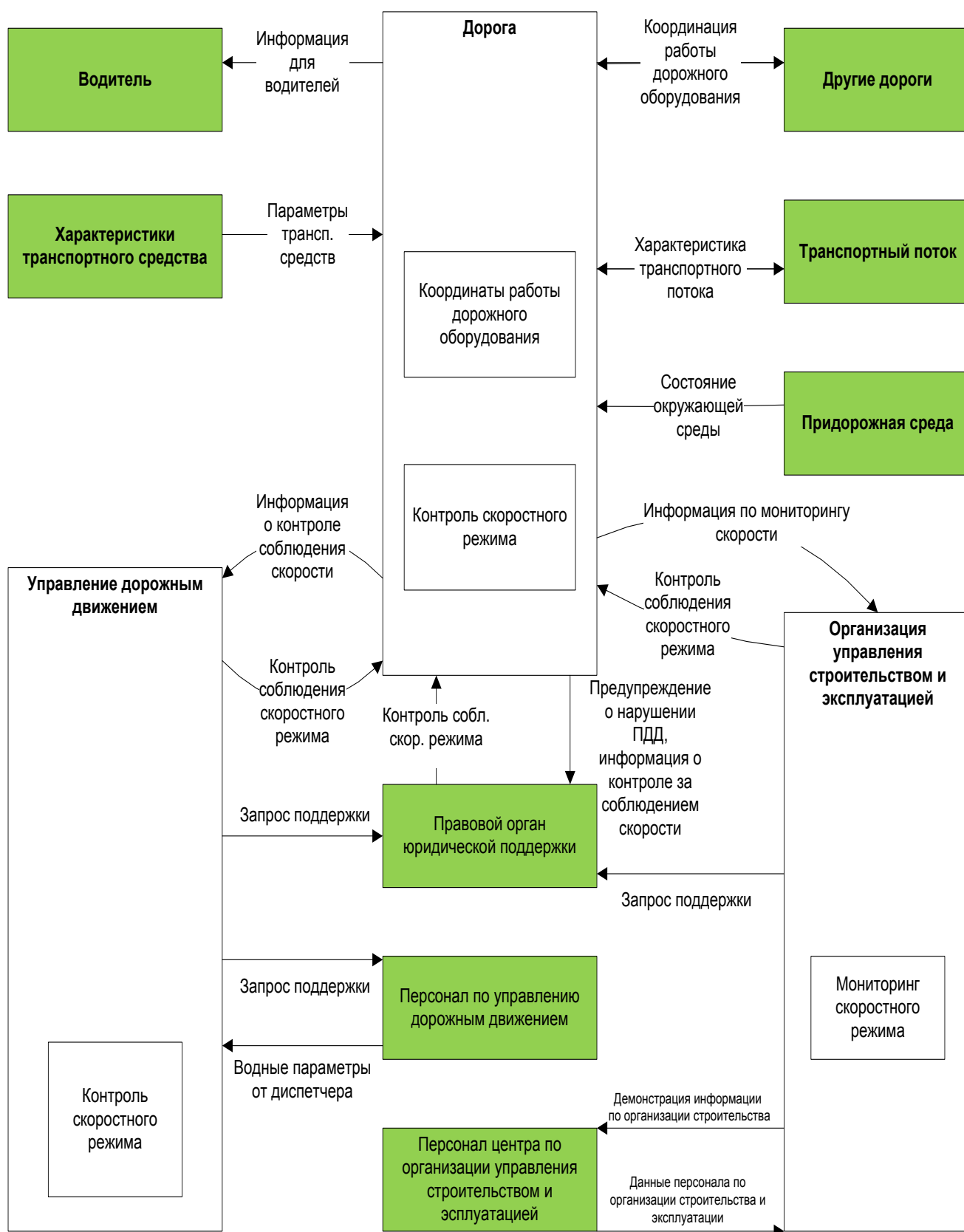


Рисунок 3.6 Мониторинг скоростного режима

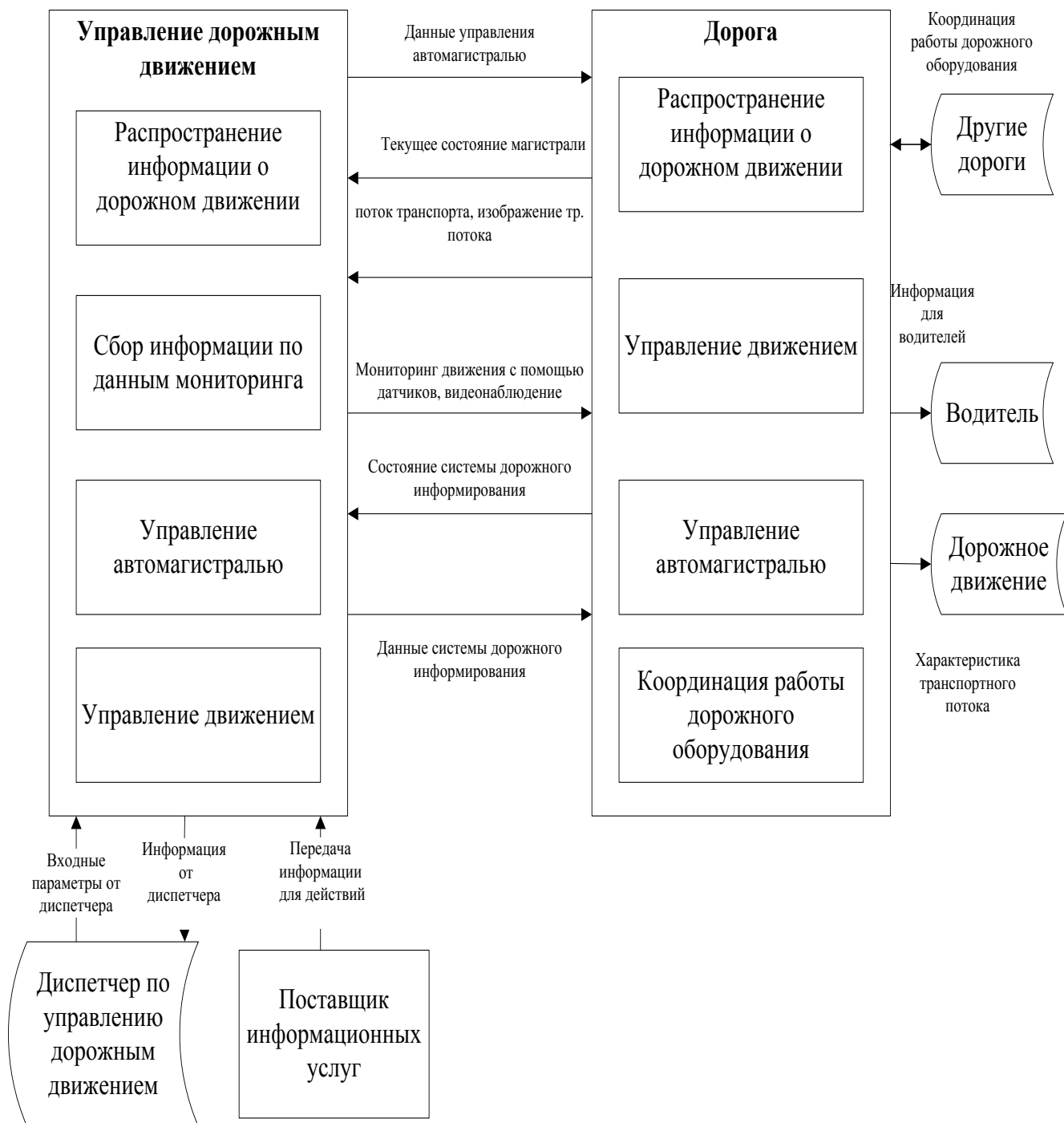


Рисунок 3.7 Управление автомагистралями города



### **3.3 Этапы внедрения объекта ИТС («Северный тоннель» г. Ростов-на-Дону)**

Город Ростов-на-Дону имеет большое значение в рамках страны, являясь связующим звеном по многим внутренним и зарубежным направлениям. В городе Ростове-на-Дону имеются: речной порт, пять направлений железных дорог, транспортные магистрали федерального значения, международные транспортные коридоры, аэропорт - транспортная система города Ростова-на-Дону осуществляет 1/3 грузооборота Российской Федерации. Таким образом, решение транспортных проблем в городе Ростове-на-Дону имеет государственное значение.

Для прогнозирования спроса, влияния на работу транспортной сети и оценки целесообразности реализации нового объекта ИТС («Северный тоннель»), на примере города Ростова-на-Дону, необходимо решение следующих задач:

- Анализ существующего состояния транспортной сети г. Ростова-на-Дону;
- Прогнозирование развития транспортной системы г. Ростова-на-Дону по намеченному направлению;
- Корректировка существующего состояния дорожно-транспортной системы:
  - определение территорий и границ влияния объекта «Северный тоннель»;
  - разработка и комплексная оценка вариантов использования «Северного тоннеля» для обеспечения пассажирских перевозок, выбор оптимального варианта;
  - разработка предложений по обеспечению взаимосвязи дорожных участков для наиболее качественного обслуживания населения города.

Для решения перечисленных задач, были проведены следующие исследовательские работы:

- анализ и выводы по социально-экономическим, градостроительным, транспортно-планировочным показателям и характеристикам развития города на основе данных различных транспортных предприятий, социальных опросов населения и т.д.;

- исследование транспортной сети г. Ростова-на-Дону с целью определения состава, размера и скорости транспортного потока, пропускной способности различных участков транспортной сети, выявление наиболее проблемных участков (транспортные заторы, дорожно-транспортные происшествия)

- составление матриц корреспонденций на основе обработки материалов Избирательных участков (с целью определения расселения трудового населения относительно мест приложения труда), проведения анкетного обследования жителей города;

- сравнительный анализ г. Ростова-на-Дону с различными городами мира, имеющими схожую транспортную структуру;

- разработка предложений по развитию транспортной системы города на расчетный срок, организации дорожного движения и взаимодействию участков транспортной сети;

- моделирование изменения работы транспортной сети при помощи программного обеспечения Aimsun, выводы о целесообразности объекта.

### **3.4 Стратегия внедрения объекта ИТС «Северный тоннель»**

Имея огромное значение в рамках страны, Ростов-на-Дону является важным интеллектуальным, экономическим, научным и политическим центром страны, поэтому сложившаяся сложная транспортная ситуация в городе Ростове-на-Дону требует решения для формирования такой транспортной системы, которая бы способствовала процветанию города. Развитие транспортной системы должно быть направлено на создание такой улично-дорожной сети, которая бы удовлетворяла существующие объемы транспортных потоков, соответствовала установленным нормативам показателей качества. Так же для того, чтобы транспортная система соответствовала постоянно растущему уровню автомобилизации, необходимо равномерное распределение населения и мест приложения труда.

В настоящее время мероприятия по совершенствованию транспортной системы города Ростова-на-Дону основываются на уже принятых к исполнению городских планах, целевых программах, других решениях в области транспорта и включают в себя нижеследующее:

- комплексное взаимосвязанное развитие всех видов пассажирского транспорта с сохранением приоритета в развитии массовых видов городского пассажирского транспорта;
- развитие системы магистральной улично-дорожной сети, обеспечивающей высокую пропускную способность и реализацию скоростных наземных транспортных связей;
- создание системы скоростного внеуличного транспорта, как основы транспортной системы города, в первую очередь метрополитена, модернизация железных дорог в городском и пригородно-городском сообщении, как факторов, сдерживающих использование личного автомобиля для городских поездок;
- обеспечение эффективного взаимодействия систем городского, пригородного и внешнего транспорта, общественного и индивидуального транспорта;

- повышение уровня развития транспортных связей между Ростовом-на-Дону и населенными пунктами агломерации, зонами отдыха Ростовской области;
- совершенствование системы управления городским пассажирским транспортом, использование достижений научно-технического прогресса.

Как уже упоминалось выше, главной проблемой Ростова-на-Дону является затрудненное сообщение между центром и Северным жилым массивом - малая пропускная способность отдельных участков улично-дорожной среды негативно сказывается на движении транспортных потоков между этими районами. В качестве решения данной проблемы, альтернативы существующим магистралям в направлении «Юг – Север» и для разгрузки пр. Нагибина предлагается внедрение проекта – платного транспортного тоннеля «Северный тоннель».

Тоннель будет иметь следующее расположение: от пл. Химиков (пр. Театральный) – центральный деловой район города до ул. Фурмановской – Северный жилой массив, минуя под землей «Безымянную балку», ул. Врубловую, «Вертолетное поле», параллельно существующему проспекту М. Нагибина. Благодаря данному проекту появится прямой выход из районов исторического центра города в район пос. Автосборочный, ул. Тибетской, ул. Фурмановской и основных магистралей северного и северо-восточного направления (рисунки 3.8, 3.9).

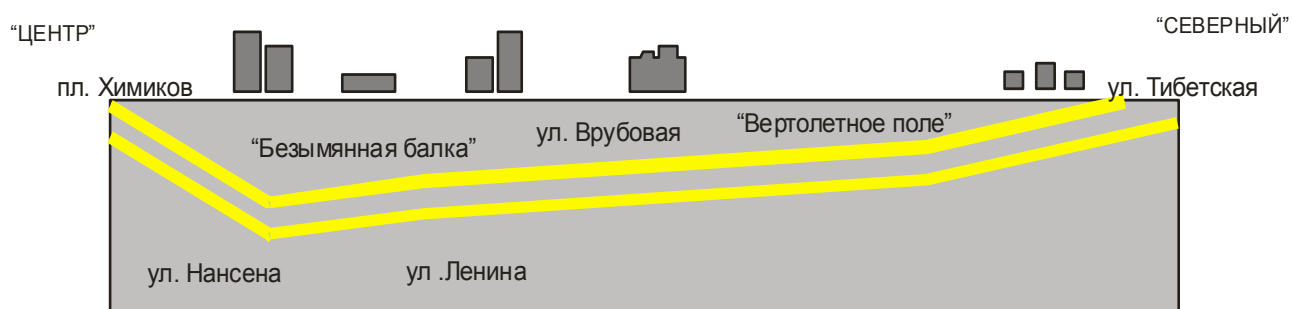


Рисунок 3.8 – Расположение проекта «Северный тоннель»



Рисунок 3.9 – Схема прохождения «Северный тоннеля»



Планируется, что объект «Северный тоннель» будет иметь следующие технические характеристики (таблица 3.3):

Таблица 3.3 – Характеристики внедряемого объекта

Характеристика	Единица измерения	Показатель
Протяженность тоннеля	км	около 2,5
Число полос движения	полосы	4
Пропускная способность тоннеля	авт./сут.	60 000
Расчетная скорость	км/ч	60-80
Ориентировочная стоимость реализации проекта (10% стоимости –разработка ПСД)	млрд. руб.	8,5
Ориентировочный срок реализации проекта	лет	6-7

Строительство платного автомобильного тоннеля предусматривает:

- создание альтернативной автомобильной магистрали;
- значительное увеличение пропускной способности улично-дорожной сети в центральной части;
- повышение пропускной способности и безопасности международного транспортного коридора «Юг-Север»;
- перенос транзитного движения, проходящего по уличной сети центрального делового района за его пределы;
- повышение транспортной доступности Северного жилого массива;

- сокращение времени поездки в 6 раз по направлению Центр - Северный жилой массив по сравнению с использованием существующих альтернативных автомобильных магистралей

- снижение себестоимости перевозок и уровня транспортных издержек для грузоотправителей;

- оптимизация бюджетных расходов на этапе строительства объекта за счет привлечения внебюджетных источников финансирования;

- оптимизация бюджетных расходов на этапе эксплуатации объекта за счет переложения на концессионера всех расходов по содержанию и эксплуатации автомобильного тоннеля;

- увеличение доходов бюджетов всех уровней за счет формирования дополнительных налоговых поступлений на этапах строительства и эксплуатации объекта;

- снижение уровня негативного воздействия (вредные выбросы, шум) на окружающую среду за счет разгрузки уличной сети наиболее загруженных транспортных магистралей города, а также переноса части автомобильного транспорта под землю.

- возможность увеличения доходов местного бюджета путем получения прибыли в виде фиксированного процента платежей, подлежащих обязательной выплате Концеденту, в случае получения Концессионером сверхприбыли от платной эксплуатации тоннеля.

Учитывая, особую значимость реализации данного проекта, а также развития дорожно-транспортной инфраструктуры г. Ростова-на-Дону, и международного транспортного коридора «Север-Юг», администрация г. Ростова-на-Дону выступила инициатором реализации инвестиционного проекта на проектирование, строительство, и эксплуатацию автомобильного тоннеля «Северный тоннель», используя механизм государственно-частного партнерства, путем заключения с инвестором концессионного соглашения.

Отбор инвесторов планируется осуществлять в форме открытого инвестиционного конкурса.

Для определения потребительского спроса на услуги платного пользования «Северным тоннелем» и расчета тарифа за проезд транспортного средства, МУ «Департамент автомобильных дорог и организации дорожного движения» г. Ростова-на-Дону на сайте Администрации города провел социологическое исследование «Определение потребительского спроса на услуги платного проезда по транспортному тоннелю «Северный тоннель» в створе пр. Театрального - ул. Фурмановской», в котором приняли участие более 1000 респондентов. Полученные результаты: 86,7% опрошенных располагают легковым автомобилем, 50% из которых ежедневно проезжают в данном направлении. Большинство респондентов (52,6%) считают целесообразным для ускорения (завершения) строительства привлечение в дорожное строительство частного капитала при условии, что построенные дороги будут платными, 10% из которых отдадут приоритет, привлечению российского частного капитала. Число респондентов готовых вносить плату за проезд составило - 61,6 % (50 % - не более 30р.; 9,4 % - не более 50р.; 1,7% - не более 80р.), что превышает число респондентов не готовых пользоваться услугами платного проезда - 38,4%. Следует отметить, что ежедневно пользоваться платной автомобильной дорогой готовы лишь 18,7 % (в будние дни 22,4%, только в выходные дни 5,5%, не более 1-го раза в неделю - 11,8%, не более 1-го раза в месяц - 5,8%). Наиболее приемлемой формой оплаты за проезд большинство опрошенных считает использование электронных смарт-карт (рисунок 3.10).



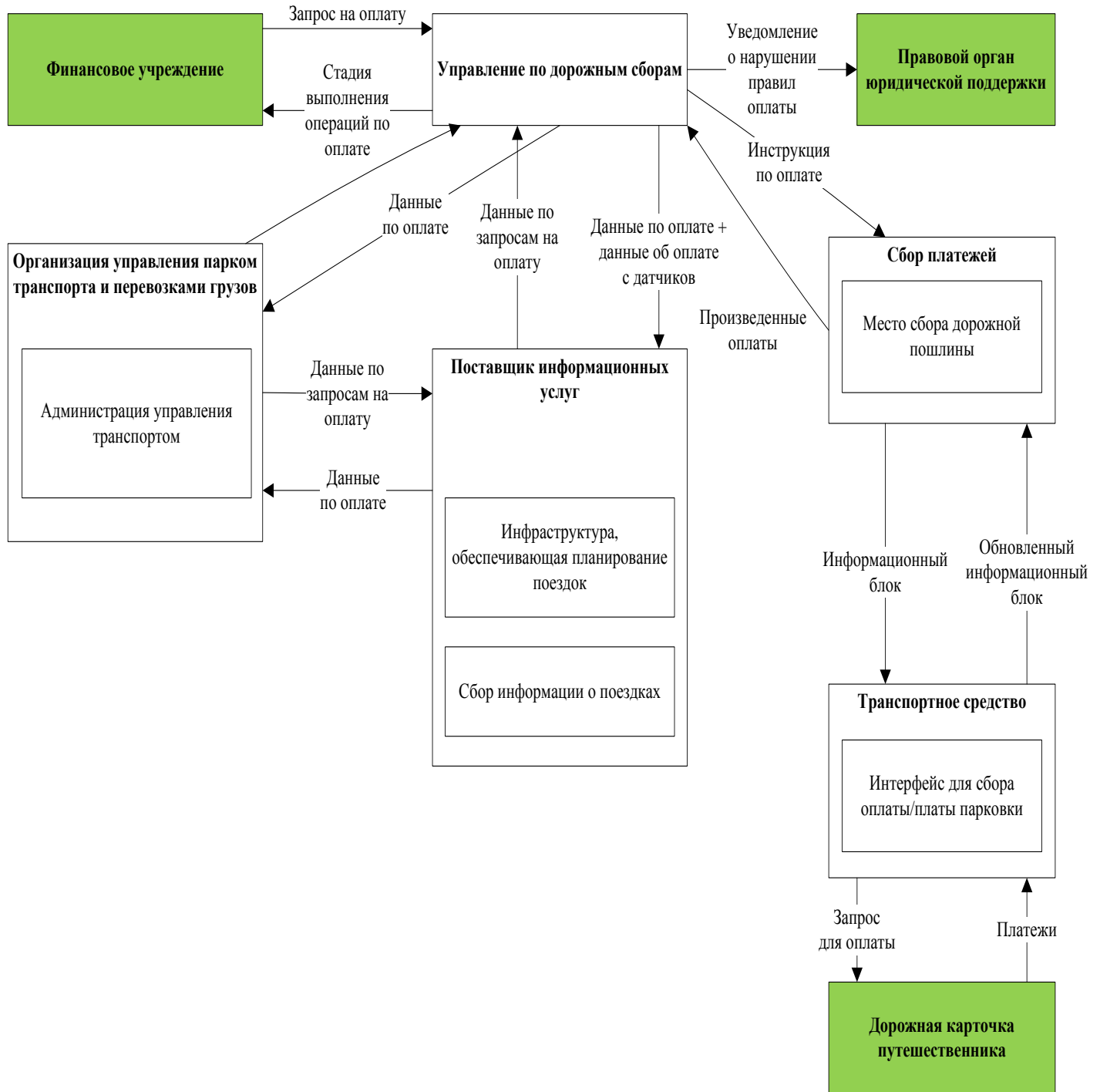


Рисунок 3.10 – Электронная оплата сборов за проезд

Аналитические исследования по экономическим вопросам внедрения платных объектов показали, что подобные объекты являются высокорентабельными, а при правильной работе с различными показателями: тип транспортного средства, стоимость и время поездки, возможна максимизации прибыли.

При исследовании платных маршрутов отмечалась большая разница в прибыли и качестве платных и бесплатных дорог. Так же важным моментом является то, что эффективный платный маршрут зачастую может негативно повлиять на работу транспортной сети в целом. Наибольшая эффективность работы транспортной сети может быть достигнута путём соглашений между частными компаниями и государственными учреждениями, работа сообща позволит снизить транспортные заторы и прочие проблемы в работе транспортной сети города.

***Выводы по главе:***

1. Решением проблемы транспортных заторов на перегруженных участках транспортной сети может быть поиск возможного увеличения пропускной способности участков улично-дорожной сети. Целями развития улично-дорожной сети, как части городской транспортной системы, являются: обеспечение необходимой пропускной способностью, удовлетворение потребностей пассажиров и городского хозяйства в быстрых, безопасных и удобных сообщениях между различными районами города. Стоит отметить, что во многих случаях невозможно обеспечить непрерывное движение автомобилей с расчетной скоростью за счет расширения проезжей части, при существующей застройке вдоль дорог. Таким образом, выходом из данной проблемы может стать внедрение объектов интеллектуальных транспортных систем.

2. Для прогнозирования спроса, влияния на функционирование транспортной сети и оценки целесообразности реализации нового объекта ИТС необходимо решение следующих задач: анализ существующего состояния транспортной сети; прогнозирование развития транспортной системы по намеченному направлению; корректировка существующего состояния дорожно-транспортной системы; определение территорий и границ влияния объекта; разработка и комплексная оценка вариантов использования объекта ИТС для обеспечения пассажирских перевозок, выбор оптимального варианта; разработка предложений по обеспечению взаимосвязи дорожных участков для наиболее качественного обслуживания населения города.

3. Управление транспортными потоками при помощи интеллектуальных транспортных систем осуществляется следующим образом: вся поступающая

информация распределяется по модулям, отвечающими за определенные данные, связь между такими модулями осуществляется оператором, таким образом, различные модули соединяются в единую информационную систему управления, обеспеченную эффективным обменом данными, что позволяет быстрое реагирование на различные дорожно-транспортные происшествия, планирование поездок и т.д.

## **ГЛАВА 4. МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНЕДРЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ**

### **1.1 Особенности моделирования улично-дорожной сети на микроуровне при внедрении транспортных коридоров**

В современном мире стремительного развития новейших технологий, многие разработки в области программного обеспечения, направлены на создание различных программ транспортного моделирования. Подобные программы являются инструментом, при помощи которого возможен поиск оптимального решения существующих транспортных проблем и выбора наиболее эффективного развития существующей транспортной системы.

Интеллектуальные транспортные системы выполняют широкий спектр задач по повышению эффективности функционирования транспортной системы, но одной из самых значимых является моделирование, на основе которого предлагается возможное улучшение работы транспортной сети и прогнозирование дорожно-транспортных ситуаций. В качестве примера реализации объектов ИТС и оптимизации функционирования транспортной сети, рассмотрим транспортные коридоры.

К транспортным коридорам относятся объекты, при помощи которых пользователи могут перемещаться с максимально допустимой скоростью, избегая транспортных заторов. Пользование подобными объектами осуществляется за определенную плату по установленным тарифам. Система управления транспортным коридором должна выглядеть следующим образом (рисунок 4.1):



Рисунок 4.1 – Цикл управления транспортным коридором

На практике зачастую возникает ситуация, при которой невозможно оптимальное управление ситуацией на транспортном коридоре (рисунок 4. 2).



Рисунок 4.2 – Проблемы в управлении транспортным коридором

Существует множество проблем и причин ошибок в цикле обмена данными между различными центрами управления транспортным коридором. Основные требования к показателям текущего состояния транспортного коридора - всеобъемлемость, четкая установка критериев показателей, фокусировка как на конечной цели – поездке, так и на побочной – транспортных заторах; к базе данных - мониторинг,

систематизированный анализ данных; к моделям - учёт разнородных данных, отбор источников данных при создании экспериментальной модели.

При моделировании транспортных коридоров необходимо учитывать следующее: временную приостановку получения данных от водителей, особенности разных типов подвижного состава, несколько вариантов развития ситуаций в транспортном коридоре, широкий территориальный охват и т.д.

Моделирование транспортных коридоров может осуществляться на трёх различных уровнях (микро, мезо и макро). Рассмотрим подробно микромоделирование. Как правило, оно осуществляется в условиях городской транспортной сети. Контроль распределения транспортных средств осуществляется поэтапно, далее на базе полученных данных, разрабатываются необходимые схемы их движения. Затем при помощи имитационных моделей транспортный спрос приводится в равновесие, т.е. осуществление распределение потоков наиболее оптимальным образом (снижение показателей временных затрат и т.д.). Одним из плюсов моделирования на микроуровне является возможность динамического анализа не только конкретного на городском уровне, но и на региональном. Сравним модели транспортного спроса и имитационные модели на микроуровне (таблица 4.1):

Таблица 4.1 – Сравнение моделей транспортного спроса и имитационных моделей на микроуровне

	<b>Модель транспортного спроса</b>	<b>Имитационная модель</b>
<b>Территория</b>	Региональная транспортная сеть/городская транспортная сеть	Небольшие отрезки транспортной сети
<b>Спрос</b>	Статические матрицы корреспонденций	Динамические матрицы корреспонденций
<b>Контроль движения транспортных средств</b>	Не требуются данные о географическом положении транспортных средств	Необходимы схемы движения и точные параметры транспортных средств

<b>Анализ</b>	Равновесие спроса зависит от объема задержек транспортных средств	Имитационная модель базируется на информации о движениях автомобилей личного пользования
<b>Достоинства</b>	Возможность анализа в процессе движения транспортных средств	Возможен анализ движения транспортных средств в режиме реального времени (транспортные заторы, светофорные сигналы и т.д.)
<b>Недостатки</b>	Нечувствительны к операционным стратегиям	Территориально ограничены из-за высокой трудоемкости и калибровки

Выбор уровня моделирования напрямую зависит от размера транспортного коридора. Главным достоинством макро моделирования является точный анализ передвижения транспортных средств на региональных транспортных сетях. Моделирование на мезо уровне наиболее эффективно при анализе информации о водителях, проблемных зонах транспортной сети и установки тарифов. Микро моделирование специализируется на анализе и контроле движения транспортных средств (светофорное регулирование и т.д.).

Полученные в результате моделирования данные должны:

- обеспечить полной информацией о настоящем и прогнозируемом движении транспортных средств в условиях заданной территории;
- доказать повышение уровней мобильности, надежности, безопасности окружающей среды, с учетом настоящих и будущих условий реализации проекта;
- выявить приоритетные инвестиции с учетом краткосрочной и долгосрочной реализаций и функционирования транспортного коридора.

Следует помнить о том, что не существует понятия «типичные» условия движения. Альтернативные сценарии должны учитывать снижение и повышение уровня спроса транспортным коридором, дорожно-транспортные происшествия, рабочие зоны, климатические условия и другие параметры.

Моделирование работы транспортной сети может осуществляться на любых уровнях при использовании различных характеристик транспортного потока и

дорожной сети города. Модели должны учитывать стохастическое поведение водителей, зависимости между распределением транспортных потоков, взаимодействия в системе «водитель – автомобиль – дорога – среда».

Результатами расчетов должны являться данные о величине транспортного потока с распределением по видам транспорта на элементах транспортной сети, уровень загрузки по отношению к пропускной и провозной способности, суммарный пробег и время передвижения, средние показатели – скорость, дальность поездки и т.д., представленные в виде картограмм, таблиц и графиков.



## **1.2 Методика оценки эффективности реализации объектов совершенствования транспортной сети**

Многие крупные города современного мира столкнулись с проблемой перегрузки улично-дорожных сетей (УДС), следствием чего является снижение скоростей перемещения транспортных средств по отрезкам УДС, т.е. снижение эффективности их использования. Разница между временем движения в свободных условиях и в часы «пик» может составлять 6-8 раз и более. При этом, уровень автомобилизации продолжает расти. Так, например, в г. Ростове-на-Дону в настоящее время уровень насыщения населения легковыми автомобилями составляет 387 автомобилей на 1000 жителей. По материалам Генерального плана развития города Ростова-на-Дону к 2025 году уровень автомобилизации спрогнозирован в объеме 500 автомобилей на 1000 жителей. В подобных условиях необходимо проведение мероприятий по оптимизации функционирования транспортной сети города. Одним из способов решения выделенной проблемы является развитие системы магистральной улично-дорожной сети, обеспечивающей высокую пропускную способность и реализацию скоростных наземных транспортных связей. В последнее время всё более широкое распространение приобретает внедрение объектов совершенствования транспортной сети, например, «транспортные коридоры» - объекты, при помощи которых пользователи могут перемещаться с максимально допустимой скоростью, избегая транспортных заторов.

Внедрение объектов совершенствования транспортной сети требует больших финансовых затрат, т.е. существует необходимость привлечения частного сектора к разработке и внедрению подобных объектов. При государственно-частном партнёрстве не существует универсальных правил, в каждом конкретном случае используются определенные договоренности о распределении прибыли, правительственных гарантий, применяются различные математические модели. В данной статье подробно рассматривается анализ выкупа объектов совершенствования транспортной сети государственным сектором.

Анализ и прогноз спроса на перевозки является неотъемлемой частью развития проектов платных объектов совершенствования транспортной сети. Исходя из этого прогноза, проект платной дороги разрабатывается согласно особенностям будущего транспортного движения. Кроме того, от этой оценки зависит финансовая структура проекта. Окупаемость проекта рассчитывается на основе спроса и установленного тарифа.

Предполагая, что поток трафика имеет стохастический характер, модель транспортного спроса и предложения будет иметь случайные величины. Будущие транспортные потоки на внедряемом объекте могут быть смоделированы с учетом распределения известных различных ожидаемых показателей и дисперсией. Кроме того, при моделировании спроса на пользование платным объектом предполагается, что:

- ожидаемый трафик на объекте постоянно увеличивается;
- транспортный спрос на предполагаемом объекте в определенный момент времени зависит только от показателей транспортного потока в данный момент времени, независимо от предыдущих состояний.

Государственный сектор имеет право выкупа платных объектов совершенствования транспортной сети, если доход от эксплуатации превышает запланированные показатели, с дальнейшим его эксплуатированием и привлечением прибыли. Сложность заключается в определении стоимости объекта, которая рассчитывается исходя из ожидаемой суммы дохода и фактической.

Доход от эксплуатации объекта совершенствования транспортной сети колеблется. Для того чтобы рассчитать средний доход, необходимо найти его средний показатель за определенный промежуток времени. Для этого применим метод Монте-Карло – имитационная модель суммы дискретных значений годового дохода для каждого участка пути, деленного на время его прохождения. После определения среднего дохода необходимо сравнить ожидаемый доход от проекта с имитационными участками пути, для которых осуществляется прогнозирование дохода. Отметим, что эксплуатация платных объектов совершенствования транспортной сети имеет стохастический

характер. Рассмотрим этот процесс при условии средних показателей различных рисков через следующее уравнение:

$$dS(t) = rS(t)dt + \sigma S(t)dW_t \quad (4.1)$$

где:

$r$  – тариф при отсутствии рисков;

$\sigma$  – показатель изменчивости тарифов.

Предположим, что в период времени  $T$  показатели  $r$  и  $\sigma$  являются неизменными. Теперь рассмотрим интеграл стохастического процесса в наблюдаемый период времени:

$$A(T) = \int_{t_0}^T S(y)dy \quad (4.2)$$

Определение ожидаемой прибыли в заданный промежуток времени:

$$E[S(T)] = S_{t_0} * \exp \left[ \left( r - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) t + \sigma W_t \right] \quad (4.3)$$

Таким образом:

$$E[A(T)] = E \left[ S_{t_0} \int_0^{T-t_0} \exp \left[ \left( r - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) y + \sigma W_y \right] dy \right] \quad (4.4)$$

Теперь определим интервал  $[0, t]$ , в котором находится средний показатель дохода. Отметим, что он может быть определен только по окончании заданного временного промежутка (т.е., при  $t_0$ ). Выкуп данного объекта государственным сектором целесообразен при превышении фактического дохода планируемого:

$$C = [\max(E[PV(t)] - K_c, 0) | \overline{CP}^n(t_0) > \text{ПЛАН}] \quad (4.5)$$

где:

СР – средний показатель дохода;

ПЛАН – планируемый показатель дохода;

$K_c$  – цена реализации объекта (может рассматриваться как стоимость первоначальных инвестиций);

Отметим, что по окончании заданного времени и выкупа объекта необходимо продолжать сравнивать фактический доход от функционирования объекта с планируемым для сверки окупаемости.

Аналитические исследования по экономическим вопросам внедрения платных объектов показали, что подобные объекты являются высокорентабельными, а при правильной работе с различными показателями (тип транспортного средства, стоимость и время поездки) возможна максимизации прибыли.

### **1.3 Программное обеспечение Aimsun при моделировании внедрения объектов ИТС**

Прежде чем предлагать внедрение конкретных проектов, необходимо представлять к чему приведёт их реализация, одним из решений этого вопроса является математическое моделирование.

В настоящее время существует множество различных математических моделей, которые можно применять для анализа транспортных сетей городов и регионов, выделим три основные группы:

- прогнозные модели;
- имитационные модели;
- оптимизационные модели.

Все математические модели функционирования транспортной сети основываются на большом количестве исходных данных, таких как: дифференцированная по районам численность населения, среднее время передвижения, число мест осуществления труда и др. Первым этапом построения модели является формализация параметров, характеризующих существующее состояние транспортной сети. На втором – расчет изменения спроса при внедрении проекта.

Моделирование работы транспортной сети (рисунок 4.3) может осуществляться на любых уровнях при использовании различных характеристик транспортного потока и дорожной сети города. Модели должны учитывать стохастическое поведение водителей, зависимости между распределением транспортных потоков, взаимодействия в системе «водитель – автомобиль – дорога – среда».

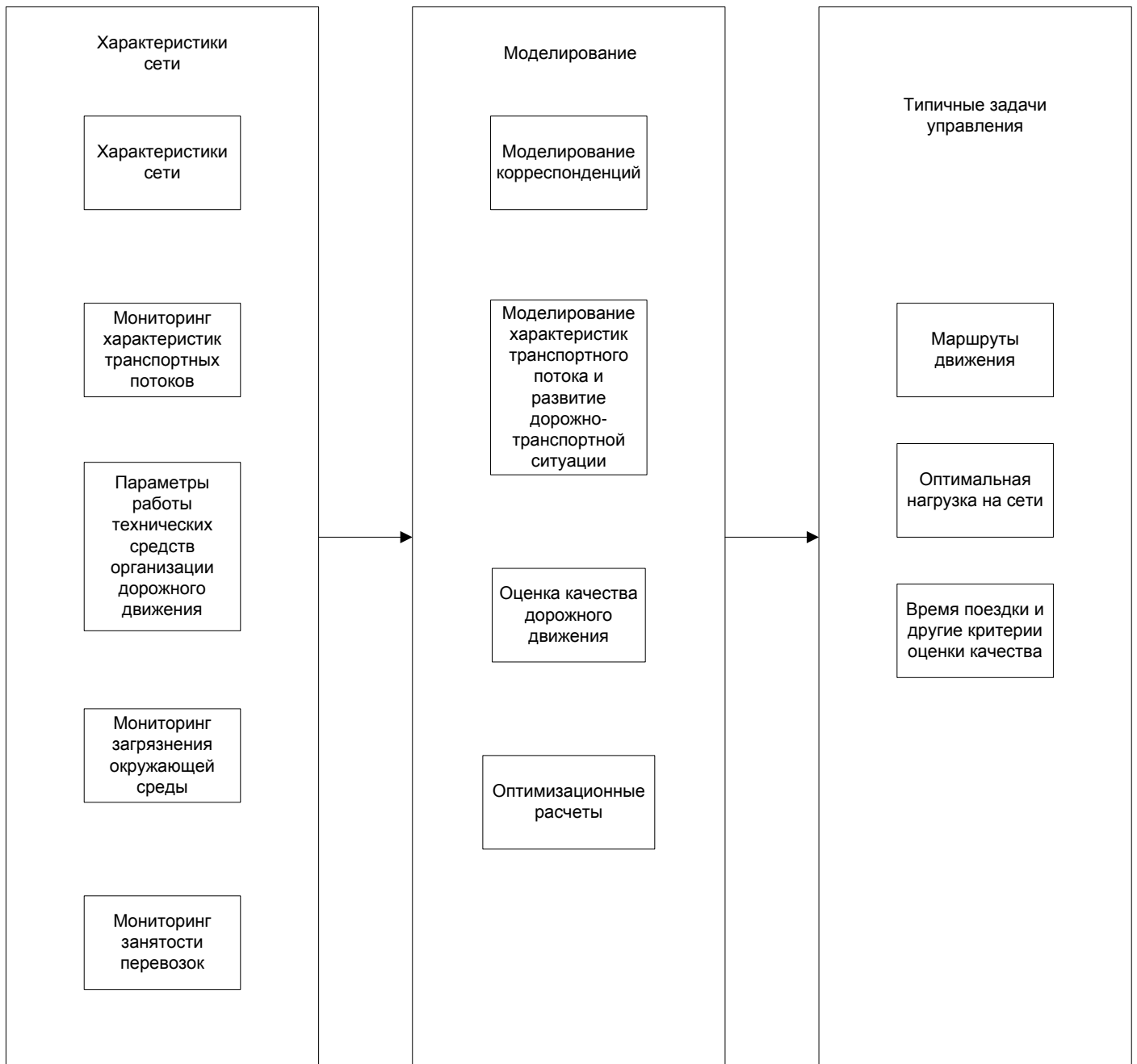


Рисунок 4.3 – Задачи моделирования в интеллектуальных транспортных системах

Aimsun - программа транспортного моделирования, которая позволяет моделирование от маршрута одного автобуса до целого региона. Данным программным обеспечением пользуются представители государственных и частных учреждений, информационные центры и университеты по всему миру. Благодаря Aimsun возможно быстрое и качественное моделирование реализации проектов интеллектуальных

транспортных систем, транспортного спроса, статичный и динамический анализ движения транспортных средств на всех уровнях.

Особенности моделирования, включающего в себя микро и макро уровни:

- определение уровня транспортного спроса при помощи матриц корреспонденций;
- унифицированная база данных;
- динамический анализ движения транспортных средств с учетом стохастического характера выбора маршрутов;
- динамический анализ движения транспортных средств с учетом динамического равновесия транспортного спроса;
- управление движением транспортных средств.

Основные достоинства такого моделирования:

- применение максимально эффективных инструментов;
- построение расширенных имитационных моделей в одном документе;
- отсутствие ошибок, которые возникают при моделировании разных уровней в отдельных программах;
- устранение лишней работы, которая возникает при соединении уровней, смоделированных в разных программных обеспечениях;
- снижение стоимости работ, повышение скорости выполнения заказов.

Т.к. разработчики Aimsun сами являются специалистами в области транспортного движения, данное программное обеспечение создано с максимально удобным интерфейсом, учитывая все потребности пользователя:

- возможная настройка интерфейса самим пользователем;
- модели транспортной сети, имитационные модели и выходная информация находятся в отдельных разделах программы;
- возможность копировать/вставить информацию;
- сравнение различных сценариев;

- создание сценариев для автоматически повторяющихся задач.

Aimsun позволяет максимально быстрое моделирование с возможностью выбора дополнительных элементов, как, например, сам город, так и его междугородние магистрали. На экране монитора Aimsun может запустить модель транспортной системы Сингапура, имеющей 10 580 перекрестков, 4 483 км внутригородских дорог, в 2-3 раза быстрее, чем это происходит в реальном времени. Такая высокая скорость позволяет: моделировать огромные участки, не пропуская при этом проблемные зоны и протестировать больше сценариев при различных параметрах транспортной сети. В данном программном обеспечении осуществлялось моделирование Монреаля (Канада), Торонто (Канада) и Нью-Йорка (США).

Возможность моделирования с учетом стохастического характера выбора маршрутов и динамическим представлением данных позволяет получить максимально точную модель транспортной сети. В дальнейшем эта модель применяется при составлении маршрута, т.к. позволяет увидеть существующую ситуацию на транспортной сети. Операторы транспортной сети, таким образом, могут влиять на выбор маршрутов, предоставляя информацию о транспортных заторах (рисунок 4.4).

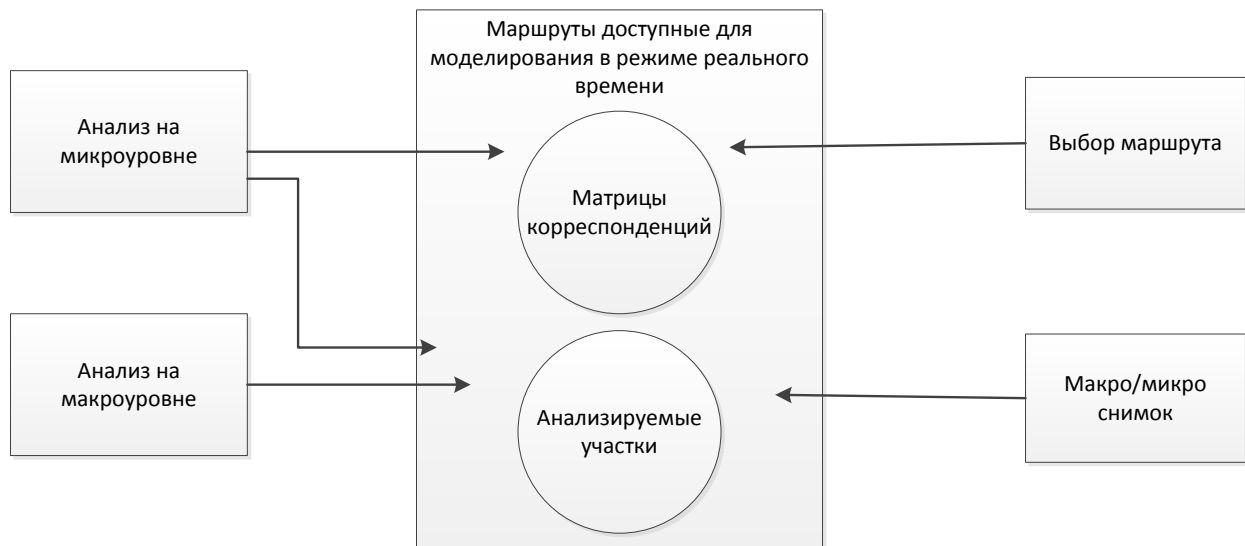


Рисунок 4.4 – Осуществление сбора информации о движении транспортных средств



Aimsun совместим с уже существующими программами: CAD, GIS, различные программы моделирования, оптимизации светофорных сигналов и т.д.

Так же Aimsun позволяет моделировать поведение пешеходов, что позволяет повысить уровень безопасности, прогнозирование инцидентов, анализ городской среды. Aimsun может учитывать до 30 000 пешеходов в час, таким образом, имитационные модели могут содержать и транспортные средства, и пешеходов. Используя при моделировании статистические данные о численности населения, программа учитывает и среднюю скорость пешеходов, и необходимое личное пространство.

Разработка различных сценариев в данной программе позволяет постоянное внесение дополнительных деталей, копирование информации из разных файлов (что позволяет избежать множества ошибок). Все сценарии хранятся в отдельном файле.

Все разработанные имитационные модели и сценарии могут быть открыты в программе 3D Max, что позволяет экспертам отслеживать движение транспортных средств при помощи виртуальных камер наблюдения. Ещё одним достоинством Aimsun является применение OpenStreetMap, что позволяет начать моделирование проекта с импортирования данных о выбранной территории.

#### 4.4 Этапы моделирования объектов ИТС

Процесс моделирования ИТС состоит из следующих этапов:

1. **Определение зоны моделирования.** На данном этапе определяется масштаб влияния внедряемого объекта на перераспределение транспортных потоков и устанавливаются его границы («зона влияния»). При определении границ модели необходимо учитывать следующие особенности:

- функциональные возможности реализуемых мероприятий по организации дорожного движения и развитию транспортной инфраструктуры с применением компонентов ИТС;

- возможная зона воздействия мероприятий на элементы улично-дорожной сети и вариация этих воздействий по характерным временным периодам;

- динамичность распространения возмущений в транспортном потоке на соседние элементы улично-дорожной сети.

Так же проводится анализ как данный объект может повлиять на транспортную нагрузку на тех участках, которые не включены в зону влияния. При моделировании «зоны влияния» объектов ИТС необходимо учитывать все возможные варианты поведения транспортных потоков и условий их движения.

2. **Второй этап** – разработка алгоритма моделирования внедряемого объекта. На рисунке 4.5 поэтапно рассмотрен данный процесс.

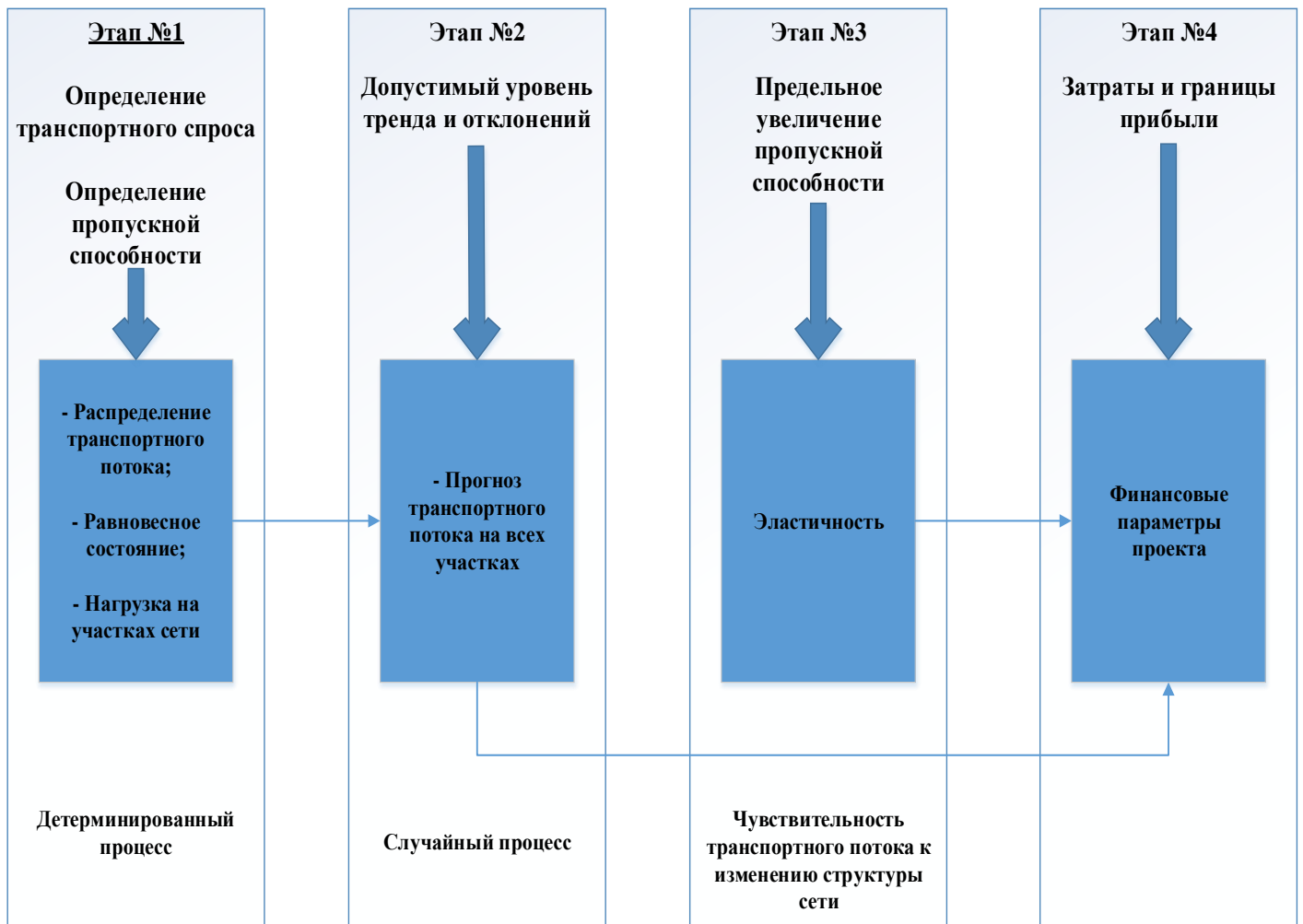


Рисунок 4.5 – Алгоритм моделирования оценки влияния объектов ИТС на распределение транспортных потоков

На **первом шаге** прогнозирования транспортного спроса на внедряемый объект строятся детерминированные макромоделли транспортного потока. Для этого формируются матрицы корреспонденций, показывающие объемы движения между различными пунктами улично-дорожной сети. На основе матриц корреспонденций производится распределение транспортного потока на улично-дорожной сети с учетом пропускной способности участков сети. Моделирование в данном случае базируется на принципе транспортного равновесия, согласно которому пользователи транспортной сети выбирают наиболее эффективные маршруты, тем самым снижая показатели времени и стоимости прохождения нужного им маршрута. Это распределение потоков

является исходным для начала моделирования, с необходимостью корректировки под реальные условия.

На **втором шаге** осуществляется микромоделирование движения транспортных потоков на улично-дорожной сети. Микромоделирование позволяет учесть детальные характеристики улично-дорожной сети, параметры работы светофорного регулирования, ограничения по организации дорожного движения. Однако наиболее важным обстоятельством является то, что на этом шаге используется имитационное моделирование, учитывающее возможные случайные отклонения в режимах движения транспортного потока, распределении маршрутов движения автомобилей. Кроме того, этот метод моделирования позволяет более реально оценить пропускную способность ключевых участков улично-дорожной сети. Следовательно, поскольку транспортный поток является стохастическим и моделируется как случайный процесс, могут быть рассмотрены различные сценарии, показывающие возможные объемы движения на участках сети.

На **третьем шаге** осуществляется сравнение существующей ситуации с перспективной при внедрении компонентов ИТС. Используя такие параметры как время поездки в сети, интенсивность движения, скорость определяется степень влияния перераспределения транспортных потоков на изменение условий движения.

**Четвертый шаг** выполняется на основании данных о транспортном спросе в зоне моделирования. На основе данных о возможном объеме движения, затратах на внедрение компонентов ИТС, эффективности мероприятий определяются параметры окупаемости проекта.

## 4.5 Сравнительный анализ работы транспортной системы до и после внедрения объекта ИТС

### 4.5.1 Определение эластичности транспортного спроса

При моделировании ситуации на УДС до и после реализации объекта ИТС, целесообразность и эффективность внедрения определяют посредством сравнения характеристик текущей ситуации и прогнозируемой.

Проанализируем чувствительность транспортных потоков при существовании бесплатного маршрута и внедрении альтернативного платного путем оценки эластичности транспортных потоков.

Для этого будем использовать следующие входные данные:

Пусть  $V$  -  $m \times 1$  вектор, включающий только показатели на маршрутах, используемые в уравнении;  $D$  -  $m \times n$  матрица маршрутов, где  $n$  – количество всех маршрутов, используемых в уравнении;  $T$  -  $p \times 1$  вектор спроса на используемые в уравнении корреспонденции;  $B$  -  $p \times n$  матрица корреспонденций, где  $n$  – количество маршрутов.

Выходные данные:

$h$  -  $n \times 1$  вектор наиболее оптимального маршрута;  $u$  – оптимальный дуальный вектор  $(m+p) \times 1$ .

Ограничение и удовлетворение спроса может быть записано следующим образом:

$$V = D * h \quad (4.6)$$

$$T = B * h \quad (4.7)$$

Приведенные выше уравнения можно обобщить следующим образом:

$$A = \Psi * h \quad (4.8)$$

Где  $A = \left\{ \begin{matrix} V \\ T \end{matrix} \right\}$  как вектор  $(m+p) \times 1$ ;  $\Psi = \left\{ \begin{matrix} D \\ B \end{matrix} \right\}$  как матрица  $(m+p) \times n$ .

Далее будем использовать следующие обозначения:  $\Psi_j$  –  $j$ -я строка матрицы  $\Psi$ ;  $A_j$  –  $j$ -я строка ( $j = 1, 2, \dots, m, m+1, \dots, m+p$ ) вектора  $A$ ;  $u_j$  = переменное значение  $j$ -го ограничения;  $k$  – коэффициент итерации;  $i$  – значение  $i$ -го ограничения  $A_i = \Psi_i \times h^k$  ( $i = 1, 2, \dots, m, m+1, \dots, m+p$ ). В последующем алгоритме показано решение, когда есть временное ограничение, из-за которого обновляются остальные ограничения для его устранения. Путем циклического тестирования всех ограничений и выполнения корректировки соответствующих двойственных переменных, процедура выглядит следующим образом:

### 1. Определение параметров:

$$k \leftarrow 0$$

$$u^k \leftarrow 0$$

$$h^k \leftarrow 0$$

$$i \leftarrow 0$$

Вычислим значение  $\Psi \times h^k$  (т.е.  $\Psi_j \cdot h^k$  для всех  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, m, m+1, \dots, m+p$ ))

### 2. Балансирование ограничителя $i$

В случаях, когда  $\Psi_j \times h^k \neq A_j$  для всех ограничителей  $j$  (т.е. до сходимости показателей)

$$\gamma = -\ln (A / (\Psi \times h^k))$$

для  $j = 1, 2, \dots, m, m+1, \dots, m+p$ :

$$u_j^{k+1} \leftarrow u_j^k - \gamma, \text{ если } j=i;$$

$$u_j^{k+1} \leftarrow u_j^k, \text{ если } j \neq i;$$

$$h^{k+1} \leftarrow \exp (\Psi^T \times h^{k+1});$$

$$i \leftarrow (i \bmod m + p) + 1;$$

$$k \leftarrow k+1$$

Расчетные значения чувствительности представляют собой процентное изменение дохода на платном маршруте, вызванное изменениями интенсивности транспортных потоков на бесплатном. Возьмем множество маршрутов ( $I$ ), которое представляет собой пропускную способность транспортной сети и множество всех соединений участков транспортной сети ( $B$ ). Тогда эластичность  $\varepsilon_{v_i, C_j}$  транспортных потоков  $V_i$  на платном

маршруте  $i$  ( $i \in I$ ) меняет значение пропускной способности  $C_j$  на маршруте  $j$  ( $i \neq j, j \in A, j \notin I$ ) может быть выражена следующим образом:

$$\varepsilon_{Vi, Cj} = (\Delta V_i / V_i^0) / (\Delta C_j / C_j^0) \quad (4.9)$$

где  $\Delta V_i$  – изменение транспортного потока на платном маршруте  $i$ ,  $V_i^0$  – первоначальный объем транспортного потока на платном маршруте,  $\Delta C_j$  – изменение пропускной способности на альтернативном маршруте  $j$ ,  $C_j^0$  – первоначальный объем транспортных потоков на бесплатном маршруте.

Аналогичным образом, эластичность  $\varepsilon_{Vi, Cj}$  доходов  $R_i$  на платном маршруте  $i$ , к изменению пропускной способности на маршруте  $j$ , имеет следующее соотношение:

$$\varepsilon_{Vi, Cj} = (\Delta R_i / R_i^0) / (\Delta C_j / C_j^0) \quad (4.10)$$

где  $\Delta R_i$  – изменение доходом на маршруте  $i$ ,  $R_i^0$  – первоначальный доход на маршруте  $i$ .

Также следует отметить, если транспортная сеть состоит из набора маршрутов  $S$ , тогда эластичность транспортных потоков  $\varepsilon_{TR, Cj}$  общего дохода  $TR$  ( $TR = R_1 + R_2 + \dots + R_s$ ) при изменении интенсивности движения на маршруте  $j$ , может быть представлена в следующем виде:

$$\varepsilon_{TR, Cj} = \frac{(R_{10} * \varepsilon_{R1} + R_{20} * \varepsilon_{R2, Cj} + \dots + R_{s0} * \varepsilon_{Rs, Cj})}{R_{10} + R_{20} + \dots + R_{s0}} \quad (4.11)$$

Применение понятия эластичности позволяет специфическим образом оценить изменение результирующей переменной под воздействием различных факторов. На качественном уровне если значения исследуемой переменной имеют существенные изменения, то существует высокая эластичность этого процесса. На количественном уровне мерой эластичности является коэффициент эластичности.

Коэффициент эластичности показывает на сколько процентов изменяется значение исследуемого параметра при изменении на 1% факторов, влияющих на данный процесс.

Относительно параметров транспортного спроса и распределения транспортных потоков на улично-дорожной сети это можно интерпретировать как изменение интенсивности движения при изменении времени поездки, стоимости поездки, используемых видов транспорта.

Отрицательный знак коэффициента эластичности указывает на противоположный эффект от влияния факторов на исследуемый процесс, например, коэффициент эластичности -0,5 при оценке влияния стоимости эксплуатации автомобиля на интенсивность его использования означает, что при увеличении затрат на поездку на 1% среднесуточный пробег автомобиля сокращается на 0,5%.

При анализе изменения транспортного спроса под воздействием компонентов ИТС более полезным является использование концепции перекрестной эластичности. В этом случае имеется возможность отразить чувствительность транспортного спроса на одних элементах улично-дорожной сети при изменении транспортного спроса на других. Коэффициент эластичности в этом случае определяется следующим образом:

$$\eta = \frac{Q_2^x - Q_1^x}{Q_1^x} * \frac{P_2^y - P_1^y}{P_1^y}, \quad (4.12)$$

где  $\eta$  – коэффициент эластичности;

$Q_1, Q_2$  – транспортный спрос на участках сети  $x$  и  $y$  до внедрения интеллектуальной транспортной системы;

$P_1, P_2$  – транспортный спрос на участках сети  $x$  и  $y$  после внедрения интеллектуальной транспортной системы.

Коэффициент перекрёстной эластичности по средней точке рассчитывается по следующей формуле:

$$\eta = \frac{Q_2^x - Q_1^x}{Q_2^x + Q_1^x} * \frac{P_2^y + P_1^y}{P_2^y - P_1^y} \quad (4.13)$$

Если перекрёстный коэффициент имеет положительное значение, это говорит о том, что 2 выбранных маршрута являются не зависимыми друг от друга и изменение транспортных характеристик на одном из них, не влечёт никак изменений на другом и



реализация объекта ИТС не оказывает на них никакого влияния. В случае отрицательного значения коэффициента эластичности, можно сделать вывод, что внедрение объекта ИТС повлияет на поведение транспортных потоков на выбранных альтернативных маршрутах.

На практике возможность применения методов оценки эластичности определяется, прежде всего, наличием соответствующей базы данных по параметрам транспортных потоков во всем пространственно-временном диапазоне. В существующих условиях это реализуется за счет наличия технических средств мониторинга дорожного движения и получения дополнительных данных при помощи моделирования. На стадии проектирования и прогнозирования экспериментальные данные в обязательном порядке должны быть дополнены результатами моделирования.

Определение эластичности для параметров транспортных потоков требует также учета динамических свойств дорожного движения, поскольку коэффициенты эластичности будут меняться во времени в соответствии с изменением транспортной нагрузки и стратегий управления дорожным движением. Также существенное внимание должно уделяться глубине прогноза в связи с тем, что интеллектуальные транспортные системы оказывают долгосрочное влияние на условия дорожного движения.

Необходимо также иметь информацию о приемлемых границах изменения коэффициента чувствительности транспортного спроса при изменении стоимости поездки как в денежном, так и в натуральном выражении. На основе анализа ряда проектов сделан вывод, что коэффициент чувствительности транспортного спроса для поездок на индивидуальных автомобилях изменяется в пределах от -0,16 до -0,43 для пиковых периодов и в пределах от -0,36 до 0,43 для внепиковых периодов. В Австралии при оценке коэффициента чувствительности для мероприятий, влияющих на изменение транспортного спроса рекомендуют ориентироваться на значения от -0,1 до -0,39 [2]. В исследовании изменения транспортного спроса в Европейских странах приведено, что в краткосрочном периоде коэффициент эластичности изменяется от -0,52 до -0,62, а в долгосрочной перспективе от -0,12 до -0,57 [3]. В работе П. Гудвина приведены также статистические характеристики изменения коэффициента эластичности транспортного

спроса под воздействием различных факторов [4]. В соответствии с этими данными коэффициент эластичности изменяется в пределах от -0,10 до -0,63 со средним значением -0,29 и среднеквадратическим отклонением 0,29. В работе [5] приведены некоторые данные об изменении коэффициента эластичности транспортного спроса в США. По этим данным коэффициент эластичности изменяется от -0,22 до -0,47.

В настоящее время интеллектуальные транспортные системы являются неотъемлемой частью проектов введения ограничений на въезд в определенные зоны путем организации платного въезда. Можно выделить мероприятия по организации платных участков на улично-дорожной сети и введение платных зон в городах. В обоих случаях интеллектуальные транспортные системы имеют важное значение для перераспределения транспортных потоков и оказывают влияние на эффективность введения платных участков и зон.

Для участков платного доступа можно привести следующую информацию. Один из проектов, направленных на изменение транспортного спроса путем введения платного участка во Флориде (США) имеет коэффициент эластичности транспортного спроса от -0,05 до -0,36 [6]. Для более сложного проекта по поддержанию с помощью ИТС переменной платы за проезд по участку дороги CA SR691 ExpressLanes коэффициент эластичности транспортного спроса изменяется от -0,72 до -0,99. При введении в Сеуле платного тоннеля Намсан транспортный спрос в прилегающей зоне изменился с коэффициентом эластичности -0,2.

Таким образом, приведенные данные по значениям коэффициента эластичности транспортного спроса для различных проектов развития транспортной инфраструктуры имеют значения от -0,05 до -0,99, а для большинства проектов более узкий диапазон от -0,2 до -0,45.

#### **4.6 Реализации методики оценки влияния компонентов ИТС на перераспределение транспортных потоков**

Реализации методики оценки влияния компонентов ИТС на перераспределение транспортных потоков была осуществлена на примере улично-дорожной сети центральной части Ростова-на-Дону. Существующая проблемная ситуация связана с ограниченным количеством связей между центральной частью города и периферийными районами и ориентацией водителей на одни и те же маршруты движения.

Обычно при моделировании оценку влияния компонентов ИТС производят или на отдельных элементах сети, или в целом в зоне моделирования. Однако, поскольку в данном случае задача является более специфической и связана с определением эластичности транспортного спроса, необходимо детализировать ситуацию. Для этого необходимо разделить все участки улично-дорожной сети на группы по влиянию на них применяемых компонентов интеллектуальных транспортных систем. Предлагается в зоне моделирования разделить участки на три группы – конкурирующие, ключевые для перераспределения, вспомогательные. Конкурирующими являются участки, входящие в маршруты одного и того же направления. Эти участки влияют на объемы перераспределения транспортных потоков. Участки, ключевые для перераспределения, это такие, на которых происходит перераспределение между конкурирующими маршрутами. Вспомогательные участки обеспечивают подход транспортных потоков к конкурирующим участкам. Хотя эти участки называются вспомогательными, но на самом деле их роль чрезвычайно высока, они обеспечивают доступ к конкурирующим участкам сети. Недостаточная пропускная способность может не позволить загрузить конкурирующие маршруты.

Учет этих особенностей является особенно важным в процессе определения резервирующей возможности улично-дорожной сети для перераспределения транспортных потоков при эксплуатации интеллектуальных транспортных систем. Необходимо определять взаимосвязь между пропускной способностью и

интенсивностью движения на конкурирующих и вспомогательных участках сети. При моделировании распределения транспортных потоков с использованием этой классификации можно достоверно определять причины недостаточной эффективности управления дорожным движением.

Моделирование производилось на участке сети Ростова-на-Дону, на котором были выделены конкурирующие и вспомогательные маршруты. Конфигурация зоны моделирования приведена на рисунке 4.6.

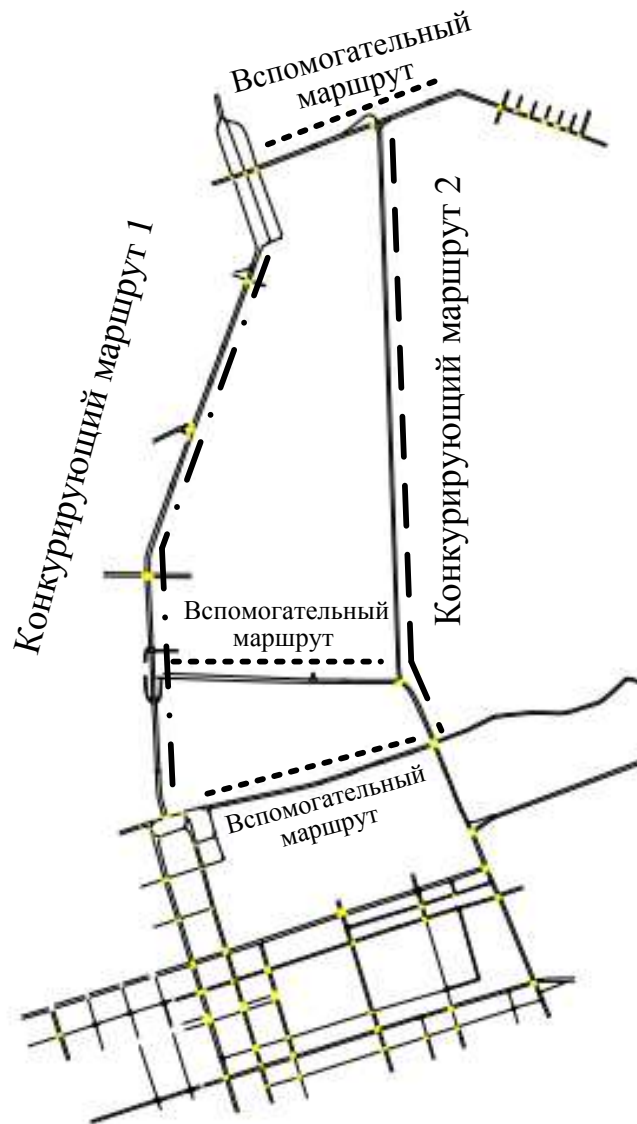


Рисунок 4.6 – Зона моделирования

Условия моделирования предусматривали два сценария, первый – организация движения без компонентов интеллектуальных транспортных систем, второй –

распределение транспортных потоков на основе динамической маршрутизации. Результаты моделирования на сетевом уровне приведены на следующих рисунках.

При реализации сценария с применением средств динамической маршрутизации скорость сообщения была выше для всех моментов моделирования (рисунки 4.7, 4.8). За весь период моделирования средняя скорость сообщения в сети по первому сценарию составила 26 км/ч, а по второму – 31 км/ч, т.е. увеличение составило 19%. Одновременно с повышением скорости сообщения произошло увеличение транспортного спроса на 9%.

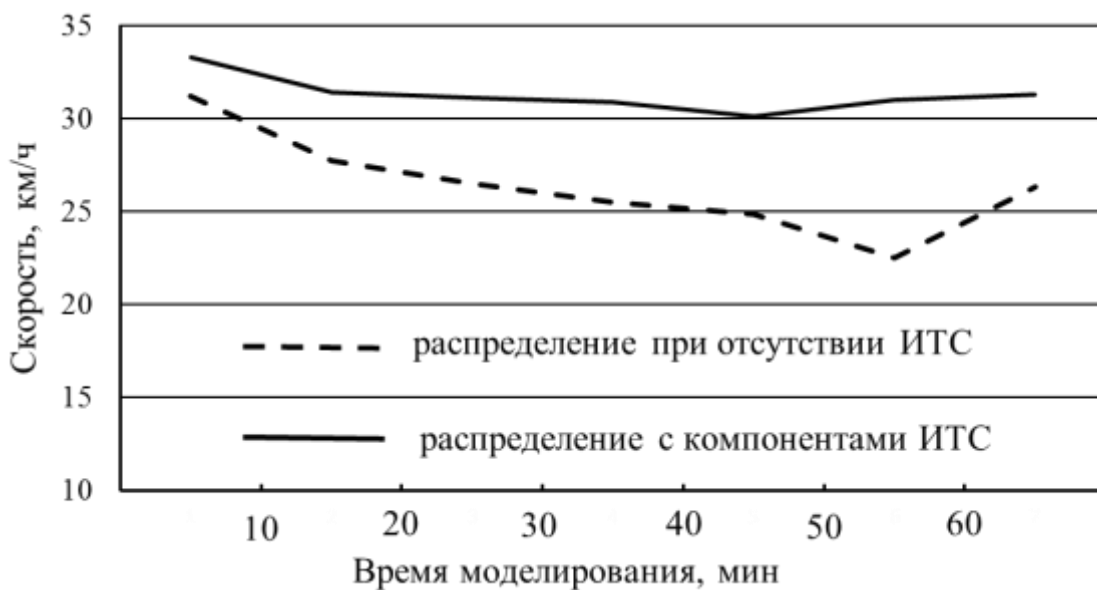


Рисунок 4.7 – Сравнительные данные изменения скорости в сети при различных методах распределения транспортных потоков

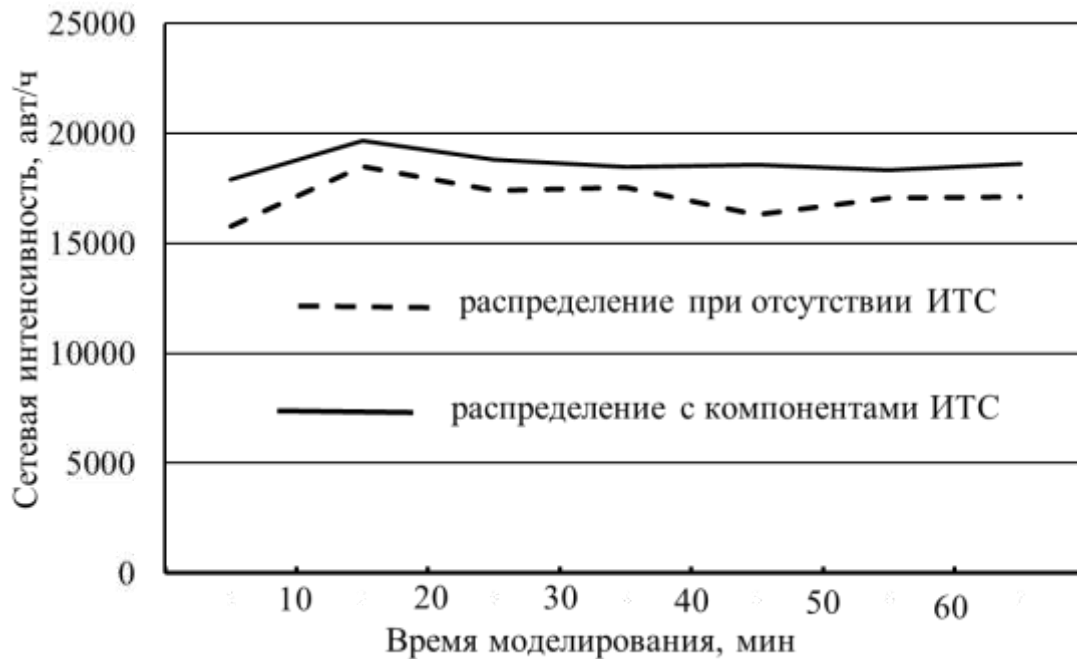


Рисунок 4.8 – Сравнительные данные изменения интенсивности в сети при различных методах распределения транспортных потоков

Таким образом, обобщенные данные показывают эффективность применения компонентов ИТС для распределения транспортных потоков в сети. Однако, при этом нет конкретных данных насколько существенно произошло перераспределение транспортных потоков между конкурирующими маршрутами. Для того, чтобы получить ответ на этот вопрос были определены коэффициенты эластичности для конкурирующих и вспомогательных маршрутов. Первоначально получено распределение интенсивности движения по конкурирующим маршрутам для рассматриваемых сценариев. Данные по интенсивности движения приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Сравнительные данные распределения транспортных потоков по конкурирующим маршрутам

	Код участка сети	Интенсивность движения на участках маршрута, авт/час	
		До внедрения ИТС	После внедрения ИТС
Конкурирующий маршрут 1	449	2592	1440
	451	738	209
	463	3204	1962
	490	1968	928
	491	3042	2027
	990	2208	1401
	2225	2310	1389
	2397	1488	521
Конкурирующий маршрут 2	2567	1716	2219
	2568	2178	2418

Значения коэффициентов эластичности приведены в следующей таблице.

Таблица 4.3 – Коэффициенты эластичности транспортного спроса для моделируемых сценариев

Код участка сети	Коэффициент эластичности
449	-0,429
451	-0,266
463	-0,558

490	-0,361
491	-0,571
990	-0,522
2225	-0,478
2397	-0,293

Подобные расчеты были проведены для вспомогательных маршрутов. Данные по интенсивности движения для вспомогательных маршрутов приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Сравнительные данные распределения транспортных потоков по вспомогательным маршрутам

Код участка сети	Интенсивность движения, авт/ч	
	До внедрения ИТС	После внедрения ИТС
1	2	3
375	1497	2030
377	408	554
1	2	3
507	986	1158
508	531	676
510	505	413
511	970	971
1004	1234	1620
1008	1896	2075
1009	2306	2183
2570	388	331



2598	1460	1756
2716	1998	2324
2567	1632	2219
2568	2132	2418

Значения коэффициентов эластичности для вспомогательных маршрутов приведены в следующей таблице.

Таблица 4.5 – Коэффициенты эластичности транспортного спроса на вспомогательных маршрутах для моделируемых сценариев

<b>Код участка сети</b>	<b>Коэффициент эластичности</b>
375	0,651
377	0,731
507	1,329
508	0,959
510	-1,273
511	254,037
1004	0,741
1008	2,774

1009	-4,348
2570	-1,782
2598	1,144
2716	2,204

Анализ результатов моделирования показывает, что положительные значения коэффициента эластичности получены для участков вспомогательных маршрутов, а отрицательные - для всех участков конкурирующих маршрутов. Исходя из этого можно сделать следующие выводы:

1. Подтвердилась гипотеза о необходимости разделения участков сети на конкурирующие и вспомогательные при оценке эффективности компонентов интеллектуальных транспортных систем, влияющих на распределение транспортных потоков.

2. В данном случае применение интеллектуальной транспортной системы является эффективным, поскольку на вспомогательных участках, подводящих к новому маршруту, зафиксирован эластичный транспортный спрос, показывающий, что водители адекватно воспринимают новые возможности, а пропускная способность вспомогательных маршрутов позволяет принять дополнительную транспортную нагрузку. Отрицательные значения коэффициента эластичности для существовавшего ранее безальтернативного маршрута показывают, что транспортный спрос на этом маршруте существенно снизился. Важно также отметить, что полученные значения

коэффициента эластичности находятся в типичном диапазоне изменения этого показателя для проектов, затрагивающих изменение транспортного спроса.

***Выводы по главе:***

1. Процесс моделирования внедрения объектов ИТС состоит из двух этапов: 1) определение зоны влияния данного объекта на поведение транспортных потоков и 2) разработка алгоритма моделирования. Данный алгоритм должен включать в себя: прогнозирование транспортного спроса на объект, микромоделирование движения транспортных потоков на заданном участке, сравнение существующей ситуации на УДС и перспективной после реализации объекта ИТС, оценку эффективности реализации данного объекта.

2. При оценке эффективности реализации объекта ИТС важным показателем является коэффициент эластичности анализируемой переменной. Если значения этой переменной имеют существенные изменения, то существует высокая эластичность этого процесса. На количественном уровне мерой эластичности является коэффициент эластичности. Коэффициент эластичности показывает на сколько процентов изменяется значение исследуемого параметра при изменении на 1% факторов, влияющих на данный процесс. Относительно параметров транспортного спроса и распределения транспортных потоков на улично-дорожной сети это может указывать на изменение интенсивности движения при изменении времени поездки, стоимости поездки, используемых видов транспорта.

3. На основе данных, полученных при помощи алгоритма моделирования внедрения объектов ИТС, определения коэффициента эластичности для заданных параметров анализируемого участка транспортной сети и при разделении участков сети на конкурирующие и вспомогательные были получены результаты, подтверждающие высокую эффективность внедрения объектов ИТС при решении проблемы ограниченного количества связей между центральной частью города и периферийными районами и ориентацией водителей на одни и те же маршруты движения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Для определения основных принципов эффективной реализации объектов интеллектуальных транспортных систем, был произведён тщательный анализ зарубежного опыта. Данный анализ позволил выявить следующие принципы:

- принцип первичности построения архитектуры ИТС, которая объединяет в себе все инструменты, решающие проблемы движения транспортных потоков, обеспечивает согласованность работы подсистем управления дорожным движением на любом уровне, показывает все элементы ИТС, их взаимосвязями и каналы передачи информации;

- принцип системного подхода при проектировании объектов ИТС: каждая отдельная функция ИТС после реализации интегрируется в единую информационную систему;

- принцип применения моделирования последствий реализации проектов ИТС. Этот метод позволяет получить наиболее точный прогноз сценариев развития функционирования объекта ИТС, выявить различные риски и разработать способы их смягчения.

2. Предложена методика оценки рисков реализации объектов ИТС, осуществляющаяся в 6 этапов: 1. Планирование реализации объекта ИТС; 2. Отбор рисков. Идентификация рисков для определения реальных угроз. 3. Анализ рисков. После того как определены все возможные риски данного проекта необходим их детальный анализ, который предназначен для выявления наиболее вероятных и опасных рисков для дальнейшей работы с ними; 4. Работа с рисками. Включает в себя меры, необходимые для борьбы с выявленной проблемой при оценке анализа рисков. 5. Выбор стратегий смягчения. Основан на классификации рисков, включенных в базу данных в соответствии с условиями, при которых они могут возникнуть; 6. Построение сценариев смягчения последствий рискованных ситуаций.

3. Разработан алгоритм моделирования объектов ИТС, состоящий из следующих этапов:

Первый этап. Определение зоны влияния внедряемого объекта.

Второй этап. Разработка алгоритма внедрения объекта ИТС, которая включает в себя:

- прогнозирование транспортного спроса на данный объект;
- микромоделирование перемещения транспортных потоков;
- сравнительный анализ характеристик транспортной сети до и после внедрения объекта ИТС;
- определение экономической эффективности реализации объекта ИТС.

4. Впервые предлагается расчёт коэффициента эластичности транспортных потоков, который позволяет отразить чувствительность транспортного спроса на одних элементах улично-дорожной сети при изменении транспортного спроса на других. Коэффициент эластичности показывает на сколько процентов изменяется значение исследуемого параметра при изменении на 1% факторов, влияющих на данный процесс. Относительно параметров транспортного спроса и распределения транспортных потоков на улично-дорожной сети это может указывать на изменение интенсивности движения при изменении времени поездки, стоимости поездки, используемых видов транспорта. При расчёте данного коэффициента используются характеристики спроса на двух альтернативных маршрутах транспортной сети до внедрения объекта ИТС и после внедрения. Предлагаемый коэффициент рассчитывался на примере участка транспортной сети города Ростова-на-Дону. Разработанные имитационные модели показали эффективность внедрения объекта ИТС при решении сложной транспортной проблемы города.

### Список литературы

1. Анохин Б.Б., Лаврентьева О.П. Оценка условий движения при различных уровнях загрузки дорог / Дороги и мосты: Сборник ст. / ФГУП РосдорНИИ. Вып. 18/2 – М., 2007.
2. Ахмадуринов М.М. Обзор методов моделирования транспортных потоков // Транспорт Урала. – 2009. - №3 (22). – с. 40-50.
3. Бабков В.Ф., Дивочкин О.А., Сильянов В.В. и др. Дорожные условия и организация движения. – М.: Транспорт, 1974.
4. Белов В.Д. Направления совершенствования нормативной базы, устанавливающей требования к инженерно-техническим средствам организации дорожного движения / Дороги и мосты: Сборник ст./ФГУП РосдорНИИ. Вып. 21/1. - М., 2009.
5. Боровик В.С. Управление дорожно-строительным производством инновационного развития. - Волгоград, ВолгГАСУ, 2008.
6. Буслаев А.П., Новиков А.В., Приходько В.М., Таташев А.Г., Яшина М.В. Вероятностные и имитационные подходы к оптимизации автодорожного движения: Монография / М.: Мир, 2003. – 368 с.
7. Васильев А.П., Фримштейн М.И. Управление дорожным движением на автомобильных дорогах. – М.: Транспорт, 1979. – 296с.
8. Вельможин А.В., Гудков В.А., Миротин Л.Б. Технология организации и управление автомобильными перевозками: учебник для вузов. – М.: Высш. шк., 1998. – 576с.
9. Вол М., Мартин Б. Анализ транспортных систем: Монография / М.: Транспорт, 1981. – 516 с.
10. Володькин П.П. Методология формирования и управления муниципальной автотранспортной системой // Дальнаука. – Владивосток. – 2011.

11. Воробьев А.И. Формирование методики оптимизации телематического комплекса технических средств интеллектуальной системы маршрутного ориентирования: дис. ... кандидата техн. наук. М., 2010.
12. Врублевская С.С. Интеллектуальная система управления транспортными потоками на основе светофорных объектов: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Воронеж, 2007.
13. Вучик В. Транспорт в городах, удобных для жизни. М.: Территория будущего, 2011. – 576с.
14. Ганзин С.В., Комаров Ю.Я., Жирков Р.А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий в примерах и задачах / Под общ. ред. Комарова Ю.Я. и Клепика Н.К. – М.: Горячая линия-Телеком, 2012. – 290 с.
15. Гаврилов А.А. Моделирование дорожного движения. – М.: Минтрансрой СССР, 1988. – 68с.
16. Гасников А.В. и др. Введение в математическое моделирование транспортных потоков: учебное пособие / Гасников А.В., Кленов С.Л., Нурминский Е.А., Холодов Я.А., Шамрай Н.Б. Под ред. Гасникова А.В. – М.: МФТИ, 2010. – 362с.
17. Голубков А.С., Царев В.А. Адаптивное управление дорожным движением на базе системы микроскопического моделирования транспортных потоков. / Информационно-управляющие системы: научный журнал. – СПб, 2010 - №5 (48). – с. 15-20.
18. Горев А.Э. Информационные технологии в управлении логистическими системами (монография) / А.Э. Горев. – СПбГАСУ, 2004. – 180с.
19. Горев А.Э. Основы теории транспортных систем: Учебное пособие / А.Э. Горев. – СПб.: СПбГАСУ, 2011. – 173с.
20. Гудков, В.А. Логистика: учеб. пособие / В.А. Гудков, С.А. Ширяев. – Волгоград: ВолгГТУ, 1997. - 119 с.
21. Гудков В.А., Миротин Л.Б., Вельможин В.А., Ширяев С.А. Пассажирские автомобильные перевозки: Учебник для вузов // Под ред. В. А. Гудкова. - М.; 2006. – 448с.

22. Домбровский А.Н. Повышение эффективности организации дорожного движения на перекрестках: монография / А.Н. Домбровский, Н.А. Наумова. – Краснодар: Издательский дом – Юг, 2012. – 154с.
23. Домбровский А.Н. Транспортные потоки на улично-дорожной сети городов: моделирование и управление: монография / А.Н. Домбровский, Н.А. Наумова; Кубан. гос. технол. ун-т. – Краснодар: Издательский дом – Юг, 2012. – 124с.
24. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими / Д.Дрю. – М.: Транспорт, 1972. – 426с.
25. Жанказиев С.В. Развитие технических средств телематики наземного транспорта / В.М. Власов, Д.Б. Ефименко // Средства и технологии телематики на автомобильном транспорте (сборник научных трудов) – М.: МАДИ (ГТУ), 2008. – с. 108-119.
26. Жанказиев С.В. Концепция построения ИТС в России / В.М. Власов// Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах: Сборник докладов восьмой международной конференции «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах» / СПб гос.архит. – строит. ун-т.
27. Жанказиев С.В. Научные подходы к формированию концепции построения ИТС в России / Конференция «Современные ГеоТехнологии: новые возможности для управления и бизнеса» в рамках головного ежегодного события «Форум по спутниковой навигации» и деловой программы 7-го Международного промышленного форума «GEOFORM+2010». – М., 2010.
28. Жанказиев С.В. Интеллектуальная транспортная система на дорогах России // Межотраслевой журнал навигационных технологий Вестник ГЛОНАСС. – М., 2011. - №2. – с. 7-11.
29. Задера В. Открытый город // Твоя дорога. – 2013. – №5. с. 18–21.
30. Зырянов В.В., Кериди П.Г., Миротин Л.Б., Голеницкий Ю.В. Моделирование транспортных потоков как метод логистического управления транспортными процессами мегаполисов и способ рационального планирования дорожной сети в городах / Вестник транспорта. 2008. № 1. С. 37-44.



31. Зырянов В. В., Барсело Х., Феофилова А. А. Моделирование динамической маршрутизации транспортных потоков на улично-дорожной сети городов // V Юбилейный Московский международный Конгресс по интеллектуальным транспортным системам/ Москва, Россия, 2013.
32. Зырянов В.В. Методы оценки адекватности результатов моделирования / Инженерный вестник Дона. 2013. Т. 25. № 2 (25). С. 132.
33. Зырянов В. В. Применение микромоделирования для прогнозирования развития транспортной инфраструктуры и управления дорожным движением /Дороги России XXI века/ М. - №3, 2009. - с. 37- 40.
34. Зырянов В.В., Криволапова О.Ю. Моделирование и анализ спроса на объекты совершенствования транспортной сети / Инженерный вестник Дона. 2012. Т. 22. № 4-1 (22). С. 117.
35. Зырянов В.В. Моделирование при транспортном обслуживании мега-событий // Инженерный вестник Дона. 2011. Т. 18. № 4. С. 548-551.
36. Зырянов В.В., Семчугова Е.Ю., Скрынник А.М. Применение информационных технологий при повышении мобильности и обеспечении транспортной безопасности // Инженерный вестник Дона. 2012. Т. 22. № 4-1 (22). С. 118.
37. Зырянов В.В., Кочерга В.В., Поздняков М.Н. Современные подходы к разработке комплексных схем организации дорожного движения // Транспорт Российской Федерации. 2011. Т. 32. № 1. С. 54-59.
38. Зырянов В.В., Кочерга В.Г. Применение моделирования для оценки проектов транспортной инфраструктуры // Сборник научных трудов ОАО "ГИПРОДОРНИИ". 2012. № 3. С. 7-12.
39. Клинковштейн Г.И. и др. Методы оценки качества организации дорожного движения: учеб. пособие. – М.: Издание МАДИ, 1987. – 78с.
40. Клинковштейн Г.И. Организация дорожного движения: Учебник: Транспорт, 2001. - 247 с.

41. Комаров Ю.Я., Ганзин С.В., Жирков Р.А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий в примерах и задачах / Под общ. ред. Комарова Ю.Я. и Клепика Н.К. – М.: Горячая линия-Телеком, 2012. – 290 с.
42. Комаров Ю.Я., Гудков В.А., Рябчинский А.И., Федотов В.Н. Безопасность транспортных средств (автомобили) Раздел: Транспорт Автомобильная и тракторная техника. – М.: Горячая линия-Телеком, 2010. – 431 с.
43. Кондратьев В.Д. Модели и методы управления безопасностью дорожного движения: Автореферат диссертации на соискание ученой степени докт. техн. наук. 05.13.10 / Кондратьев В.Д. - Воронеж, 2008. - 42 с.
44. Коноплянко В.И. Повышение эффективности и безопасности дорожного движения средствами управления и организации: диссертация на соискание доктора технических наук – М., 1987.
45. Коноплянко В.И. Организация и безопасность движения: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2007. – 383 с.
46. Коноплянко В. И., Гуджоян О. П., Зырянов В.В., Косолапов А. В. Организация и безопасность дорожного движения: Учебник для вузов. - Кемерово: Кузбассвуиздат, 1998. - 236 с.
47. Коноплянко В.И., Богачев В.М., Гуджоян О.П., Зырянов В.В., Гомоненко Ю.В. Информационные технологии на автомобильном транспорте – М.: МАДИ (ГТУ), 2002. - 223 с.
48. Корягин, М. Е. Оптимизация управления городскими пассажирскими перевозками на основе конфликто-устойчивых решений: диссертация на соискание докт. техн. наук. – Новокузнецк, 2011.
49. Косолапов А.В. Повышение эффективности информационного обеспечения участков дорожного движения в городах: дис. ...кандидата техн. наук. М., 1992.
50. Корчагин В.А., Ляпин С.А. Методические основы управления потоковыми процессами на автомобильном транспорте: учебное пособие (гриф УМО). – Липецк: ЛГТУ, 2007. – 260с.

51. Корчагин В.А., Ризаева Ю.Н. Оценка эффективности инженерных решений: учебное пособие (гриф УМО). – Липецк: ЛГТУ, 2008. – 160с.
52. Кочерга В.Г., Зырянов В.В., Коноплянко В.И. Интеллектуальные транспортные системы в дорожном движении: Учебное пособие. - Ростов н/Д: Рост. гос. строит, ун-т, 2001. - 108с.
53. Кочерга В.Г., Шаталова Е.Е. Технические средства современных автоматизированных систем управления дорожным движением: учебное пособие. – Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2011. – 74с.
54. Кочерга В.Г. Основы функционирования интеллектуальных транспортных систем в организации движения и перевозок: дис. ... докт.техн.наук: 05.22.10 / В.Г. Кочерга. – М., 2001. – 345 с.
55. Кочерга В.Г. Технические средства современных автоматизированных систем управления дорожным движением: Учеб. пособ. – Ростов н/Д, Рост. гос. строит, ун-т, 2011, 74 с.
56. Криволапова О.Ю. Особенности моделирования улично-дорожной сети на микроуровне при внедрении транспортных коридоров / Научное обозрение. 9(3) – 2014.
57. Криволапова О.Ю., Феофилова А.А. Методология снижения затрат на поездку при прогнозировании объема движения на выбранных маршрутах / Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» №3 2013. // ссылка на ресурс <http://naukovedenie.ru/PDF/51trgsu313.pdf>
58. Кузин М.В. Имитационное моделирование транспортных потоков при координированном режиме управления: дис. ...канд. техн. наук: 05.13.18 / М.В. Кузин. – Омск, 2011. – 143с.
59. Левашев А.Г., Михайлов А.Ю., Головных И.М., Проектирование регулируемых пересечений: Учеб. пособие. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007. – 208с.
60. Лобанов Е.М. Транспортная планировка городов. – М.: Транспорт, 1990. – 240с.

61. Мамаев Э.А., Чеботарева Е.А. Логистические провайдеры в транспортной системе PDF. Учебное пособие. — Ростов н/Д.: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2011. — 123 с.
62. Математическая статистика: учебник для техникумов / Под ред. А.М. Дина . – М.: Высш. шк., 1975. – 398с.
63. Михайлов А.Ю., Головных И.М. Современные тенденции проектирования и реконструкции улично-дорожных сетей городов. – Новосибирск: Наука, 2004. – 267с.
64. Михеева Т.И. Построение математических моделей объектов улично-дорожной сети города с использованием геоинформационных технологий // Информационные технологии. 2006. №1. С.69–75.
65. Михеева Т.И. Управление транспортными потоками. Учет ДТП. - Самара: Самар. гос. тех. ун-т, 2006. 125 с.
66. Михеева, Т.И. Структурно-параметрический синтез интеллектуальных транспортных систем / Т.И. Михеева – Самара: Самар. науч. центр РАН, 2008.
67. Михеева Т.И., Михеев С.В., Богданов И.Г. Модели транспортных потоков в интеллектуальных транспортных системах // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – №6.
68. Наумова Н.А. Моделирование и оптимизация распределения потоков по сети: монография / Н.А. Наумова, Л.М. Данович; Кубан. гос. технол. ун-т. – Краснодар: Изд. ФГБОУ ВПО «КубГТУ», 2011. – 84с.
69. Наумова Н.А. Моделирование и программная реализация движения автотранспортных средств по улично-дорожной сети: монография / Н.А. Наумова, Л.М. Данович. – Краснодар: Издательский дом Юг, 2011. – 80с.
70. Наumenко Е.Ю. Факторные и регрессионные модели оценки потребности спроса на парковки [Электронный ресурс] //Инженерный вестник Дона, 2011, №2. – Режим доступа <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2011/416> (доступ свободный) Загл. с экрана. – Яз.рус.
71. Поздняков М.Н. Топология улично-дорожной сети городов. – Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2013. – 102с.

72. Поздняков М.Н. Основы транспортного планирования в городах: Учеб. пособие. – Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2013. – 123 с.
73. Пржибыл Павел, Свитек Мирослав. Телематика на транспорте: Перевод с чешского О.Бузека и В.Бузковой. Под редакцией проф. В.В. Сильянова – М.: МАДИ (ГТУ). 2003. – 540с.
74. Пугачёв И. Н. Организация движения автомобильного транспорта в городах: учеб. пособие / И. Н. Пугачёв. – 196 с.
75. Пугачев И.Н., Горев А.Э., Солодкий А.И., Белов А.В. Организация дорожного движения: Учеб. пособие для учреждений высш. проф. Образования. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 240с.
76. Сальков, Н. А. Моделирование автомобильных дорог: монография / Н. А. Сальков. - М. : ИНФРА-М, 2012. - 120 с.
77. Семенов В. В., Математическое моделирование транспортных потоков. / Обзорный реферат. - М., 2003. - 26 с.
78. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. – М.: Транспорт, 1977. – 303с.
79. Сильянов В.В., Лобанов Е.М., Ситников Ю.М., Санегин Л.Н. // Пропускная способность автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1972. – 152с.
80. Федосеев В.В., Гармаш А.Н., Дайитбегов Д.М. Экономико-математические методы и прикладные модели: Учеб. пособие для вузов. – М.: ЮНИТИ, 2000. – 391с.
81. Феофилова А.А. Моделирование стратегий по предотвращению заторовых ситуаций на примере улично-дорожной сети г. Ростова-на-Дону // Инженерный вестник Дона: электронный научный журнал. – 2013. - №3. [[http:/](http://)
82. Фролькис В.А. Введение в теорию и методы оптимизации для экономистов. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2002. – 320с.
83. Чванов В.В., Живописцев И.Ф. Особенности выявления мест концентрации дорожно-транспортных происшествий на магистральных дорогах России. Труды НПО РосдорНИИ. Вып. 6. – М.: Информавтодор, 1992.

84. Шаров М.И. Опыт управления транспортным спросом в задачах снижения нагрузок на УДС // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах: тезисы докл. международной научно-практической конф. (Санкт-Петербург, 23–24 сент. 2010г.). – Санкт-Петербург, 2010. – С. 63–66.
85. Шелков Ю.Д. Информационное обеспечение водителей о направлениях движения / Шелков Ю.Д., Вережкин В.Е. – ВНИЦБД. – М., 1990. – 52с.
86. AIMSUN official webpage. – URL: [www.aimsun.com](http://www.aimsun.com)
87. Ardekani, S., Herman, R. Urban network-wide traffic variables and their relations / Transportation Science 21 (1), 1987. Pp 1–16.
88. Barcelo, J. and Casas J. (2005). Stochastic heuristic dynamic assignment based on AIMSUN microscopic traffic simulator. 85th Transportation Research Board 2006 Annual Meeting.
89. Ben-Elia, E., Shiftan, Y. Which road do I take? A learning-based model of route-choice behavior with real-time information. Transportation Research Part A 44, pp. 249–264, 2010
90. Bauman D., Fierro D. Intelligent Transportation System in plain English // Traffic technology international, Oct/Nov, 1998. Pp. 53-56.
91. Bovy P., Liaudat C. Large Event Logistical and Support Traffic Management. Abstract and Summary Report. Swiss Federal Institute of Technology at Lausanne. Lausanne, 2003
92. Carrara M. 2006 Winter Olympic Games Turin Experience//15th ITS World Congress. 2008. New York.
93. Chang, G-L, Fei, X. and Point-du-Jour, J. Y. Interrelations between variable message signs and detour operations in the I-95 corridor – Final report, 21 p., 2002.
94. Chang, G-L, Fei, X. and Point-du-Jour, J. Y. Empirical analysis on influence of traffic information by divergence rate using observed traffic data. Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 5, pp. 1484 – 1495, 2005
95. Chiang W-C., Russell R.A., Integrating Purchasing and Routing in a Propane Gas Supply Chain//European Journal of Operational Research, vol.154 (2004) pp.710-729.

96. Cordeau J.-F., Laporte G., Savelsbergh M.W.P., Vigo D., Vehicle Routing, Transportation, in: C. Barnhart, G. Laporte, (eds.) // Handbooks in Operations Research and Management Science, vol. 14 (2007), pp. 367–428.
97. Daganzo, C.F. Urban Gridlock: Macroscopic modeling and mitigation approaches / Transportation Research Part B 41 (1), 2007. Pp 49-62.
98. Daganzo, C.F., Geroliminis, N. An analytical approximation for the macroscopic fundamental diagram of urban traffic / Transportation Research Part B 42, (2008), Pp 771-781.
99. Daniel T., Lepers B. Automatic incident detection: a key tool for Intelligent traffic management // Traffic technology international. Annual Review, 1996. P. 158 162.
100. Dantzig G.B., Ramser J.H., The truck dispatching problem//Management Science, vol. 6, No. 1 (Oct., 1959), Pp. 80-91.
101. Darido G., Osama T., Schneck D. The Role for ITS in Transport Planning and Operations of Olympic Events: Case Studies and Lessons Learned// 10th World Congress Intelligent Transport Systems and Services. 2003. Madrid.
102. Del Castillo, J.M., Benitez, F.G. On the functional form of the speed-density relationship – I: General theory. "Transp. Res." vol.29B, №5. p.p. 373-389, 1995.
103. Del Castillo, J.M., Benitez, F.G. On the functional form of the speed-density relationship – II: Empirical investigation. "Transp. Res.". 1995, vol.29B, №5. p.p. 391-406, 1995.
104. European ITS Framework Architecture. Models of Intelligent Transport Systems Peter H Jesty, Jan Giezen, Jean-François Gaillet, Jean-Luc Durand, Victor Avontuur, Richard Bossom, Gino Franco, August 2010.
105. Florian, M., Mahut, M., Tremblay, N. (2008). Application of a simulation-based dynamic traffic assignment model, European Journal of Operational Research. 189 (3), 1381–1392, 2008.
106. FRAMEONLINE official webpage. – URL: [www.frame-online.net](http://www.frame-online.net)
107. Fundamentals of Traffic Simulation. Ed. Barcelo, J. Springer. 440 p., 2010.

108. Geroliminis, N., Daganzo, C.F. Existence of urban-scale macro-scopic fundamental diagrams: Some experimental findings / *Transportation Research Part B* 42, (2008). Pp 759-770.
109. Geroliminis, N., Sun, J. "Properties of a well-defined macro-scopic fundamental diagram for urban traffic", *Transportation Research Part B* 45, (2011). Pp 605-617.
110. Godfrey, J.W. The mechanism of a road network / *Traffic Engineering and Control*, Volume 11, (1969). Pp 323-327.
111. Highway Capacity Manual 2000. – Transportation Research Board, National Research Council. – Washington, D.C., USA, 2000. –1134 p.
112. Inaudi D., Balister P. Transport Planning for Torino 2006 Winter Olympic Games. 10th World Congress Intelligent Transport Systems and Services. 2003. Madrid.
113. Inose H., Fujisaki, Hamada T. Road traffic control theory based on a macroscopic traffic model. - *Journal of the Institute of electrical engineers of Japan*, 1967, vol. 87. P. 1591-1600.
114. Jizhen G., Changqing Z., Xueliang Z. VMS Release of Traffic Guide Information in Beijing Olympics, 2008, 8(6), 115-120.
115. Kerner, B. S. Introduction to Modern Traffic Flow Theory and Control: The Long Road to Three-Phase Traffic Theory. *The Long Road to Three-Phase Traffic Theory*, 265p, 2009.
116. Krivolapova O. Y. Micro level modeling of the road network for the implementation of transport corridors / *Science, Technology and Higher Education*, 2014.
117. Lerner N., Singer J., Robinson E., Huey R., Jenness J. Driver Use of EnRoute Real-Time Travel Time Information. Final Report, 2009, 124p.
118. Local level planning and investment prioritization: applicability study (Project – DCP/015) Final Report, Department for International Development, I.T. Transport Ltd, June 2003 – 50 p.
119. Mahmassani, H.S., Williams, J., Herman, R. Performance of urban traffic networks / *Proceedings of the 10th International Symposium on Transportation and Traffic Theory*, pp. 1-20, 1987.



120. Mahmassani, H.S. Dynamic network traffic assignment and simulation methodology for advanced system management applications / Networks and Spatial Economics 1 (3), pp. 267–292, 2001.
121. Microsimulator and Mesosimulator in Aimsun User's Manual, Draft Version – October 2008, Transport Simulation Systems, S.L., p. 303.
122. Nazer Z., Jaffe R. Regional ITS Architecture for London Olympics//13th ITS World Congress. 2006. London.
123. Pan, J., Khan, M. A., Popay, I. S., Zeitouniy, K. and Borcea, C. Proactive vehicle re-routing strategies for congestion avoidance. Department of Computer Science, 8p, 2011.
124. Prato C. Route choice modeling: past, present and future research directions. Journal of Choice Modelling, 2(1), pp. 65-100, 2009.
125. Quantifying the Effects of Network Improvement Actions on the Value of New and Existing Toll Road Projects / Center for Transportation Research University of Texas at Austin 3208 Red River, Suite 200, Austin, TX 78705-2650, August 2009.
126. Ramming, M. Network Knowledge and Route Choice. Thesis (Ph. D.) Massachusetts Institute of Technology, Dept. of Civil and Environmental Engineering, pp. 225-236., 2002.
127. Rao, A. M., Rao, K. (2012). Measuring urban traffic congestion – a review. International Journal for Traffic and Transport Engineering, 2 (4) pp.286 – 305, 2012.
128. Robila, S.A Investigation of Spectral Screening Techniques for Independent Component Analysis Based Hyperspectral Image Processing [Электронный ресурс] / URL: <http://www.cs.uno.edu/~stefan>.
129. Rupert B., Wright J., Pretorius P., Cook G. Traveler Information Systems in Europe // [www.international.fhwa.dot.gov](http://www.international.fhwa.dot.gov)
130. Schatz P. COMPANION for the road. //Traffic technology international. / Annual Review. April. – May, 1998. Pp. 103-106.
131. Sheffi, Y. Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, USA., 1985.

132. Skycomp, Inc., Columbia, Maryland, in association with Olsson Associates Traffic Quality on the MAG Regional Freeway System, 2011. – 102p.
133. Smeed, R. J. Road Capacity of City Centers. Traffic Engineering and Control / Vol. 8, No. 7, (1966). Pp 455-458
134. Strickland, Sheldon, G, and W. Berman Congestion Control and Demand Management. Public Roads On-Line ([www.tfhr.gov/pubrds/winter95/p95wi1.htm](http://www.tfhr.gov/pubrds/winter95/p95wi1.htm)), 1995.
135. Sundaram, S. et al. Simulation-based dynamic traffic assignment for short-term planning applications, Simulat. Modell. Pract. Theory, doi: 10.1016/j.simpat.2010.08.004, 2010.
136. Toth P., Vigo D., Branch-and-bound algorithms for the capacitated VRP, in: Toth, P., Vigo, D. (Eds.)//The vehicle routing problem, SIAM: Philadelphia, pp. 29-52. 2001.
137. Wardrop, J. G., 1968. Journey Speed and Flow in Central Urban Areas. Traffic Engineering and Control, Vol. 9, No. 11, 528-532.
138. Yang Xiao Kuan, et. Al. “Introduction of Transportation Management for the 2008 Summer Olympic Games in Beijing”. Presentation on 83rd TRB Annual Meeting of 2004.
139. Zyryanov V. Simulation of Impact of Components of ITS on Congested Traffic States//7th European Congress on Intelligent Transport Systems. 2008. Geneva
140. Zyryanov V., Keridi P., Guseynov R. Traffic Modelling of Network Level System for Large Event//16th ITS World Congress. 2009. Stockholm