

На правах рукописи

**МИХЕЕВА Татьяна Ивановна**

**СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ  
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДОРОЖНО-  
ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРОЙ**

**Специальность 05.13.01 – Системный анализ, управление и  
обработка информации**

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**  
**диссертации на соискание ученой степени**  
**доктора технических наук**

Самара – 2007

**Работа выполнена в ГОУ ВПО  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА» (СГАУ)  
кафедра информационных систем и технологий**

**Научный консультант:**

Заслуженный работник  
Высшей школы Российской Федерации,  
доктор технических наук, профессор,  
**Прохоров Сергей Антонович**

**Официальные оппоненты:**

доктор технических наук, профессор,  
**Кораблин Михаил Александрович**

доктор технических наук, профессор,  
**Кузнецов Павел Константинович**

доктор технических наук, профессор,  
**Юсупова Нафиса Исламовна**

**Ведущая организация**

**Научно-производственный центр  
информационных и транспортных  
систем (НПЦ ИНФОТРАНС)**

**Защита состоится 9 ноября 2007 года в \_\_\_\_ часов  
на заседании диссертационного совета Д-212.288.03 при  
Уфимском государственном авиационном техническом университете  
по адресу: 450025 г.Уфа, ул.К.Маркса, 12.**

**С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уфимского государственного авиационного технического университета.**

**Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2007 г.**

**Ученый секретарь  
диссертационного совета  
д-р техн. наук, проф.**

**Миронов В.В.**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность.** Успехи автомобилестроения последних десятилетий привели к «взрывному росту» автомобильного парка России, в значительной степени опережающего темпы дорожного строительства. В этой связи, серьезную научную проблему представляет создание систем автоматизированного управления транспортной инфраструктурой. Требуется принципиально новые подходы к созданию таких интегрированных систем, одновременно охватывающих массивы разнородных данных и обеспечивающих многоуровневое взаимодействие множества подчиненных сложных подсистем.

Объектом исследования в диссертационной работе являются системы управления транспортной инфраструктурой города, включающей в себя улично-дорожную сеть, технические средства организации дорожного движения и транспортные потоки. Создание интегрированных интеллектуальных транспортных систем (ИТС), как систем управления дорожно-транспортной инфраструктурой урбанизированной территории, позволит повысить уровень организации дорожного движения: улучшить характеристики улично-дорожной сети, усовершенствовать дислокацию технических средств организации дорожного движения, оптимизировать процесс управления транспортными потоками на всех фазах движения, уменьшая транспортные задержки, повышая безопасность движения.

Управление транспортной инфраструктурой крупных городов с применением технологий интеллектуальных транспортных систем все активнее используется в мировой практике организации дорожного движения. Укрепилась устойчивая тенденция дальнейшего совершенствования и внедрения таких систем, отдельные элементы которых реализованы в России. Вопросам разработки и исследования эффективности различных методов управления транспортными потоками (ТП), закономерностям их поведения на улично-дорожной сети (УДС) посвящены работы Д. Дрю, Х. Иносе, Т. Хамада, В. Сильянова, Ф. Хейта. В последние десятилетия в отечественной практике управления потоками на улично-дорожной сети города накоплен значительный опыт, научные и методологические основы которого обобщены в работах В. В. Зырянова, В. Т. Капитанова, Г. И. Кликовштейна, Ю. А. Кременца, М. П. Печерского, М. В. Яшиной и др.

В задачах повышения эффективности управления транспортной инфраструктурой все возрастающее значение приобретает исследование и учет системных связей. Многоаспектность представления транспортной инфраструктуры, как объекта системного анализа, является определяющей характеристикой ее сложности. Решение проблемы функциональной, институциональной и информационной интеграции гетерогенных подсистем интеллектуальной транспортной системы сдерживается из-за дефицита ме-

тодов и инструментов, позволяющих приобретать, накапливать и использовать разнородные знания для построения адекватных моделей и решения на их основе всех видов задач управления транспортной инфраструктурой.

Базой для осуществления всех фаз обработки информации может служить методологическое и инструментальное оснащение объектно-ориентированного анализа и проектирования (ООП) интеллектуальных транспортных систем на основе паттернов. ООП обеспечивает вариабельность процесса обработки информации и органичную поддержку автоматизированных эволюционных технологий исследований на моделях с коррекцией и пополнением знаний об объекте исследования за счет новых данных, получаемых в процессе эксперимента. Новые возможности открываются благодаря современным технологиям обработки информации, использующим идеи и методы искусственного интеллекта. В области теории и практики развития интеллектуальных информационных технологий накоплен значительный положительный опыт. В его приобретение, наряду со многими зарубежными (Д. Кнут, С. Осовский, Р. Шеннон и др.), существенный вклад внесли отечественные ученые В. И. Васильев, Г. А. Ивахненко, Б. Г. Ильясов, М. А. Кораблин, Г. С. Пospelов, Д. А. Пospelов, С. А. Прохоров, Б. Я. Советов и др. Параллельно ведутся исследования в области объектно-ориентированного структурирования информации и разработки паттернов, отраженные в работах Г. Буча (G. Booch), Э. Гаммы (E. Gamma), Р. Хелма (R. Helm), Р. Джонсона (R. Johnson), Дж. Влссидеса (J. Vlissides), Т. Бадда (T. Budd), У. Гренандера (U. Grenander), Б. Страуструпа (B. Strastrup) и др.

Таким образом, проблема разработки теоретической основы структурно-параметрического синтеза систем управления дорожно-транспортной инфраструктурой, на основе функциональной, институциональной и информационной интеграции, обеспечивающих улучшение характеристик организации дорожного движения на урбанизированной территории, является актуальной и своевременной.

**Целью диссертационной работы** является разработка унифицированной среды для решения задач управления транспортной инфраструктурой, обеспечивающей улучшение характеристик организации дорожного движения, на базе формального аппарата формирования и интеграции разнородных знаний о предметной области, основанного на концепции объектно-ориентированного подхода с применением паттернов.

Для достижения цели в работе **поставлены следующие задачи:**

1. Провести анализ технологий и функций систем управления дорожно-транспортной инфраструктурой, сформулировать принципы интеграции ее элементов, систематизировать задачи и определить основные направления развития систем управления дорожно-транспортной инфраструктурой.
2. Провести системный анализ функционирования дорожно-транс-

портной инфраструктуры и разработать интегрированные модели, адекватно реализующие логику управления транспортной инфраструктурой урбанизированной территории.

3. Разработать методы зональной модельной динамики транспортных потоков и построения динамических межобъектных взаимодействий на участках улично-дорожной сети, функционирующих в различных режимах.

4. Разработать унифицированную основу для экспертного конструирования и исследования маршрутов, адаптируемых к состоянию транспортной инфраструктуры.

5. Разработать методику структурно-параметрического синтеза системы управления дорожно-транспортной инфраструктурой на основе объектно-ориентированного анализа исходных данных, включая вопросы организации и обработки многоаспектной информации средствами современной вычислительной техники.

6. Применить предлагаемую технологию синтеза для создания предметно-ориентированной среды моделирования и поддержки принятия решений для улучшения характеристик организации дорожного движения.

7. Реализовать и внедрить полученные теоретические результаты в виде методик, алгоритмов и прикладного программного обеспечения на предприятиях и в учебном процессе.

**Методы исследования.** В качестве методологической основы работы использовались методы системного анализа, управления транспортными потоками, теории графов, искусственного интеллекта, имитационного моделирования, концепции объектно-ориентированного проектирования на основе паттернов, распространяющиеся на весь круг задач, связанных с разработкой инструментов синтеза и эксплуатации системы управления дорожно-транспортной инфраструктурой.

**Основные научные результаты, полученные автором и выносимые на защиту:**

1. Теоретические и методические основы анализа и моделирования процессов транспортной инфраструктуры, включая формальную интерпретацию, логико-физические основы и общую формулировку задач, обеспечивающие построение интегрированных моделей систем управления дорожно-транспортной инфраструктурой.

2. Модели структурно-функциональной организации транспортной инфраструктуры, представленные на основе концепций объектно-ориентированного проектирования, аппарата теории графов, геоинформационных технологий, позволяющие строить рациональные варианты статических и динамических структур компонентов интеллектуальных транспортных систем.

3. Методы зонального локального и координированного управления

транспортными потоками в режимах свободного движения и близких к пропускной способности улично-дорожной сети, обеспечивающие сокращение транспортной задержки.

4. Методы и алгоритмы построения транспортных маршрутов, адаптируемых к состоянию транспортной инфраструктуры, по различным критериям оптимальности.

5. Паттерны, обеспечивающие структурно-параметрический синтез интеллектуальной транспортной системы, предназначенные для решения всех классов задач интеллектуальных транспортных систем, включая вопросы организации и обработки разнородной информации средствами современной вычислительной техники.

6. Структура и программная реализация интеллектуальной транспортной системы на основе предложенных интегрированных моделей.

7. Результаты экспериментальных исследований по оценке предложенных моделей, методов и компьютерной системы, подтверждающие их комфортность и эффективность.

#### **Научная новизна результатов:**

1. Разработана теоретическая база создания нового унифицированного метода решения задачи структурно-параметрического синтеза систем управления дорожно-транспортной инфраструктурой урбанизированной территории, направленная на улучшение характеристик организации дорожного движения.

2. Разработана интегрированная модель системы управления дорожно-транспортной инфраструктурой, обеспечивающая комплексное решение вопросов структурно-функциональной организации транспортной инфраструктуры с учетом разнородности ее компонентов.

3. Предложен новый подход к моделированию динамической структуры исследуемых объектов, опирающийся на зональное описание динамических абстракций в специализированных паттернах.

4. Предложен новый метод построения транспортных маршрутов, основанный на применении расширенной графовой модели, позволяющей проводить ее динамическую адаптацию к состоянию транспортной инфраструктуры.

5. Предложена новая методика структурно-параметрического синтеза системы управления дорожно-транспортной инфраструктурой и ее компонентов на основе паттернов.

**Обоснованность и достоверность результатов диссертации.** Обоснованы теоретические положения, базирующиеся на использовании апробированных методов исследования и корректном применении математического аппарата. Достоверность научных положений, методических разработок, рекомендаций и выводов подтверждается результатами математиче-

ского моделирования и экспериментальных исследований статистических характеристик разработанных методов, а также натурными экспериментами на реальной транспортной инфраструктуре.

**Практическая ценность полученных результатов.** Разработанные в диссертации методы структурно-параметрического синтеза ориентированы на конструирование, исследование и эксплуатацию систем управления дорожно-транспортной инфраструктурой урбанизированной территории. Разработанные инструментальные средства позволяют создавать предметно-ориентированные системы компьютерного исследования, характеризующиеся высоким уровнем предметной ориентации пользовательского интерфейса, и допускающие простую модификацию исполнительный имитационной среды.

**Реализация работы.** Результаты диссертационной работы нашли применение при выполнении *научно-исследовательских работ*:

- Федеральная целевая программа «Повышение безопасности дорожного движения в 2006-2012 годах».
- Целевая программа отдела ГИБДД УВД по г. Самара «Самара-безопасная» 2003-2007 гг.
- Национальный проект Института «Открытое общество» «Ресурсы Интернет для культуры, образования, здравоохранения и гражданского общества», 1998-1999 гг. (гос. рег. № IEA789v).
- Грант гос. рег. № 341ГЗ.9Д «Применение нейросетевых технологий в программном комплексе исследования корреляции пространственно-координированных данных».

*Прикладные разработки*, связанные с созданием конкретных систем программного комплекса «Интеллектуальная транспортная система», а также с автономным использованием отдельных разработанных инструментальных средств, выполнялись как в рамках этих программ, так и по договорам с предприятиями на проведение НИР:

- Отдел ГИБДД УВД г. Самара 2000-2007 гг.: «Информационно-аналитическая система учета дорожно-транспортных происшествий», «Автоматизированная информационная система обработки оперативной информации», «Система учета нештатных ситуаций на улично-дорожной сети», «Экспертная система дислокации мобильных постов дорожно-патрульной службы», «Экспертная система дислокации технических средств организации дорожного движения», «Система моделирования управления транспортными потоками» и др.
- Администрация г. Жигулевска, 2002 г.: «Разработка комплексной схемы дислокации технических средств организации движения на улично-дорожной сети г. Жигулевска».

- ЗАО «СтродСервис», 2000-2007 гг.: «Схемы организации дорожного движения при проведении аварийных и восстановительных работ на улично-дорожной сети г. Самара», «Схемы нанесения дорожной разметки на улично-дорожной сети г. Самара».
- ООО «Средняя Волга-98», 2004-2007 гг.: «Комплексная схема дислокации и функционирования технических средств организации движения на улично-дорожной сети г. Самара», «Схемы организации дорожного движения в условиях городского строительства», «Схемы оптимального движения при перевозке крупногабаритных, тяжеловесных, опасных грузов».
- ООО «Компания «Строительство. Архитектура. Монтаж», 2006-2007 гг., «Схемы организации дорожного движения на улично-дорожной сети в условиях комплексной застройки коттеджного поселка», «Схемы маршрутного ориентирования перевозки грузов».
- ООО «Меркури Девелопмент Раша»: методика структурно-параметрического синтеза сложных многокомпонентных корпоративных систем документооборота; методы и алгоритмы работы с графовыми структурами; технологии и паттерны проектирования систем управления и визуализации пространственно-координированных данных.

Результаты научных исследований в области теории управления ТП, методологии имитационного моделирования, технологии программирования внедрены в учебный процесс Самарского государственного аэрокосмического университета, Самарского государственного технического университета, Самарского филиала Саратовского юридического института МВД России.

Получены результаты, имеющие практическую ценность, подтверждающие высокую эффективность разработанных методов, алгоритмов и программных средств: на основе разработанных методов построены геоинформационные модели транспортной инфраструктуры г. Самара, включающей модели улично-дорожной и транспортной сетей, технических средств организации дорожного движения, транспортных потоков; спроектированы и наполнены базы данных; получен значительный объем экспериментальных данных о характеристиках ТП; проведены модельные исследования по оценке управленческих решений организации движения; проведен анализ и выданы рекомендации по дислокации дорожных знаков и светофорных объектов на УДС; проведен анализ безопасности транспортной сети.

**Апробация работы.** Основные научные и практические результаты диссертации докладывались и обсуждались на Международных, Российских и региональных научных конгрессах и конференциях. Доклады представлены на: II-XIII Международных научных конференциях «Математика.



Компьютер. Образование» (Пушино-Дубна, 1995-2006); IV Российской н/м конференции «Пути и методы совершенствования учебного процесса» (Самара, 1995); Междун. конференции-выставке «Информационные технологии в непрерывном образовании» (Петрозаводск, 1995); V Междун. междисциплинарной н/п конференции «Современные проблемы в науке и образовании» (Алушта-Харьков, 2004); Всероссийской конференции «Безопасность транспортных систем» (Самара, 2002); Всероссийской н/п конференции «Безопасность – многоуровневый аспект: превентивные меры и методы» (Пенза, 2003); Всероссийской н/п конференции «Развитие инновационного потенциала отечественных предприятий и формирование направлений его стратегического развития» (Пенза, 2003); Междун. научной конференции «Математика. Образование. Культура» (Тольятти, 2005); научно-технической конференции с международным участием «Перспективные информационные технологии в научных исследованиях, проектировании и обучении (ПИТ-2006)» (Самара, 2006); Шестом Международном симпозиуме (INTELS'2004) «Интеллектуальные системы» (Москва-Саратов, 2004); 6, 7 международных н/п конференциях «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах» (Санкт-Петербург, 2004, 2006).

Отдельные вопросы теории и разработки систем управления дорожно-транспортной инфраструктурой послужили темами двух защищенных кандидатских диссертаций, подготовленных при участии автора.

**Личный творческий вклад диссертанта.** По теме диссертации опубликовано более 80 работ, в том числе 2 монографии. Основные результаты представлены в работах [1-37]. В число указанных публикаций входят 11 статей из «Перечня ВАК ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в РФ, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты на соискание ученой степени доктора наук».

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, библиографического списка и приложений, содержит 317 страниц основного текста (106 рисунков, 19 таблиц). Библиографический список содержит 271 наименование литературы.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, указаны цель и задачи исследования, выделены результаты, имеющие научную новизну и практическую ценность работы.

**Глава 1** посвящена аналитическому обзору и классификации моделей и методов решения задач управления транспортными потоками в рамках функционирования ИТС.

*Интеллектуальная транспортная система* – комплекс интегрированных средств управления транспортной инфраструктурой (улично-дорожной

сеть, техническими средствами организации дорожного движения, транспортными потоками), предназначенный для решения задач организации дорожного движения на основе современных информационных технологий, обеспечивающих обработку различных видов информации о функционировании транспортной инфраструктуры в реальном масштабе времени. Многоуровневая, сложноорганизованная ИТС представляет собой гибридную систему, состоящую из множества разнородных систем, сложным образом взаимодействующих друг с другом – управляющих, классифицирующих, прогнозирующих, экспертных, принимающих решения или поддерживающих эти процессы, объединенных для достижения единой цели.

ИТС является классическим примером сложной системы с присущими ей свойствами:

- многомерностью, иерархичностью и эмерджентностью, обусловленными большим числом взаимосвязанных элементов;
- многофункциональностью элементов системы;
- многокритериальностью, обусловленной имманентностью (несовпадением) целей отдельных элементов системы;
- сложным (вероятностным и динамическим) поведением, проявляющимся во взаимосвязи подсистем и требующим обратной связи при управлении;
- необходимостью высокой автоматизации управления.

Системный подход к решению задач управления транспортной инфраструктурой мегаполиса обеспечивается разработкой и использованием ИТС. Концепция развития ИТС заключается в изучении функций существующих систем управления транспортными потоками, оценке степени влияния различных подсистем на развитие всей транспортной инфраструктуры, создании архитектуры системы и согласовании стандартов для развития ИТС, как интегрированной системы. Технологии ИТС имеют много направлений применения, однако, в силу имманентности целей каждой подсистемы ИТС в отдельности, потенциальные возможности ИТС, как системной единицы, не реализуются.

Синергетический эффект при проектировании ИТС проявляется в форме организационно обусловленного перехода от имманентности к синергии за счет последовательно расширенной системной интеграции:

- постановка проблем организации дорожного движения в ИТС;
- разработка решений по функциональной, институциональной, информационной интеграции ИТС;
- использование транспортной, экономической, информационной логистики;
- разработка концепции функционирования ИТС;

- развитие подсистем в каждой функциональной группе;
- интеграция информационных потоков между подсистемами ИТС.

Анализ мировых проектов ИТС показал, что новейшие достижения в области информационных технологий, компьютерной техники, современных видов связи, эффективных навигационных систем, технических средств сбора, обработки информации и регулирования дорожным движением не находят широкого применения при управлении автомобильными перевозками и движением из-за недостаточных научных знаний для использования всего спектра функциональных возможностей указанных разработок. Необходимы развитие и разработка методов, моделей, алгоритмов и программного обеспечения для решения задач распределения ТП на сети автодорог и оптимизации маршрутов движения, как отдельных автомобилей, так и ТП, в условиях применения технологий ИТС.

Для реализации задач исследования функционирования транспортной инфраструктуры проведен системный анализ области исследования, включающий в себя систематизацию понятий, классификацию принципов и методов исследования. Анализ предметной области «Организация дорожного движения» позволил выделить основные классы объектов и их ассоциаций, определить регламент связей для *транспортной сети, транспортного потока и технических средств организации дорожного движения*, классифицировать задачи *мониторинга характеристик, управления транспортными потоками и перевозочным процессом и информационного обеспечения участников движения*. Классификация задач интеллектуальных транспортных систем приведена на рис. 1.

*Транспортные сети* характеризуются различными параметрами (вид транспортной сети, базовые компоненты, плотность, топология), оказывающими влияние на процесс управления распределением ТП. Для любой сети характерны проблемы, связанные с обеспечением надежности, производительности и безопасности.

Объектом управления в автоматизированной системе управления дорожным движением, как подсистемы ИТС, является *транспортный поток*. Являясь сложным социальным объектом, он обладает рядом характерных особенностей: стохастичностью поведения, связанной с наличием имманентных целей управления по отношению к основной цели; нестационарностью, проявляющейся во временном изменении параметров, описывающих поведение объекта управления; временными колебаниями характеристик объекта (час, сутки, время года); многообразием и неповторяемостью экспериментов, проявляющемся в отличии результатов при одних и тех же управляющих воздействиях на объект. ТП описывается совокупностью признаков: интенсивностями, скоростями, типовым составом, интервалами в потоке и др.

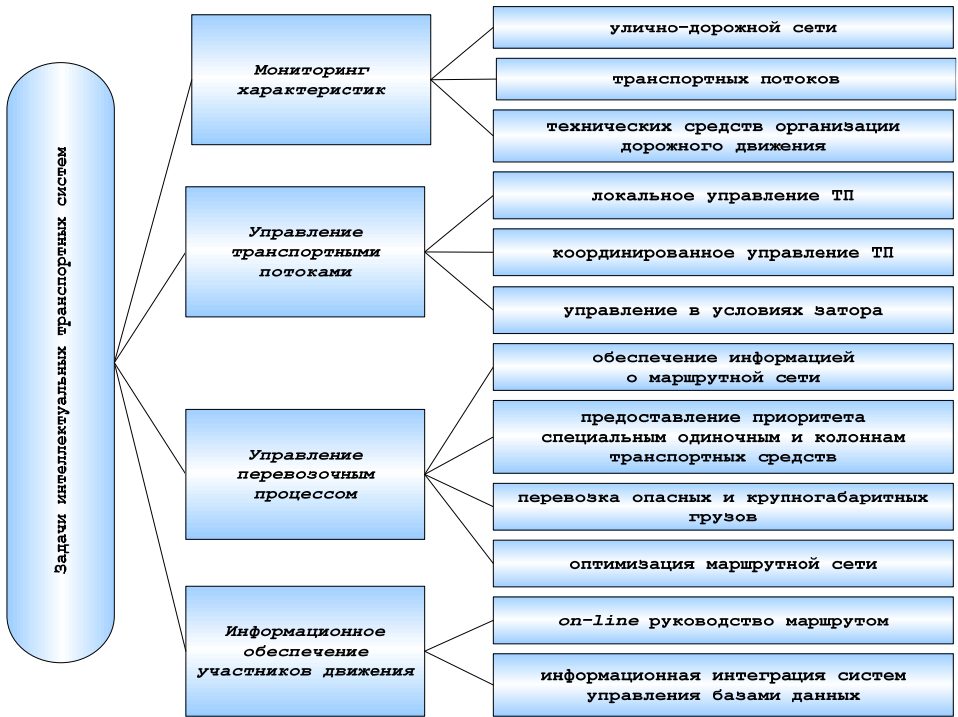


Рисунок 1. Классификация задач интеллектуальных транспортных систем

Задача управления движением ТП с помощью *технических средств организации дорожного движения* (ТСОДД): дорожных знаков, светофоров нанесения разметки, расстановки на УДС, решается как задача оптимальной и корректной, с точки зрения обеспечения безопасности движения, дислокации на УДС дорожных знаков, светофоров и разметки. Эта задача требует использования современных интеллектуальных информационных технологий с привлечением геоинформационных систем. Оптимальные параметры управления светофорной сигнализацией и дислокации ТСОДД обеспечивают равномерное распределение (канализирование) ТП и позволяют снизить задержки транспортных средств на локальном перекрестке и в целом на УДС.

*Управление транспортными потоками и перевозками* является типичной задачей, в которой, с одной стороны, выступают присущая ей параллельность, динамика, децентрализация и недетерминизм, а с другой – широта спектра приложений, для которых она является ключевой. Разработка и исследование эффективности различных методов управления ТП требует знания закономерностей поведения ТП на УДС города. Знание текущей информации о динамическом состоянии функционирующей системы позволяет, с одной стороны, организовать оптимальное управление с адапта-

цией к изменяющимся внешним условиям, с другой – принимать своевременные и правильные решения при возникновении нештатных ситуаций. Для системы управления ТП можно выделить следующие классы ситуаций:

- нормальное состояние – *свободный поток*;
- ситуация критического управления – *насыщенный поток*;
- аварийная ситуация – *состояние затора*.

Классификация ситуаций выполняется по идентифицированным динамическим характеристикам. Одной из особенностей модели управления является то, что ее объект активный, т.е. состояние  $Y'$  объекта зависит не только от характеристик  $X'$  среды и воздействий  $U$ , но и от параметров  $\Omega$ , которые изменяются в зависимости от имманентных целей  $Z_0^*$  объекта, как правило, отличающихся от целей управления  $Z^*$  системы. Таким образом, состояние  $Y'$  объекта является функцией характеристик окружающей среды  $X'$ , воздействий  $U$ , параметров  $\Omega$ :  $Y' = F(X', U, \Omega)$ .

Поддержание эффективности системы при переходе от одного класса ситуаций к другому связано с принятием решения об изменении вида управления. Различают *локальное управление*, заключающееся в выработке воздействий на основе статистически оцененных макрохарактеристик потока в зоне одного перекрестка, и *системное управление*, обеспечивающее оптимизацию дорожного движения в зоне нескольких перекрестков улично-дорожной сети. Разновидностью системного управления является координированное управление, обеспечивающее безостановочный проезд через все регулируемые перекрестки УДС группы транспортных средств, движущихся с определенной скоростью.

*Разнообразие функций* управляющих алгоритмов объясняется тем, что в сложной системе управления транспортной инфраструктурой один и тот же комплекс программ используется для управления несколькими разнотипными объектами и, кроме того, сам является объектом управления для других управляющих систем более высокого ранга.

### ***Информационные технологии в системе управления транспортной инфраструктурой***

В постановке задачи структурно-параметрического синтеза системы управления дорожно-транспортной инфраструктурой присутствует многоаспектность взгляда на объекты транспортной инфраструктуры, их связи, функционирование и информационную интерпретацию, продиктованная сложностью и разнородностью моделей ПрО «Организация дорожного движения».

Реализацию гибкой технологии компьютерного проектирования (анализа и синтеза) резонно осуществлять на основе *объектно-ориентирован-*

*ного подхода* с применением *паттернов*, как наиболее соответствующего особенностям этой технологии. Структурными компонентами системы являются: база данных, геоинформационная система, системы моделирования, поддержки принятия решения, экспертные системы. *База данных* ИТС может содержать сотни тысяч простых объектов. Для проведения автоматического анализа данных используется технология *Data Mining*, позволяющая в «сырых данных» обнаружить ранее неизвестные, нетривиальные, практически полезные и доступные для интерпретации знания. *Геоинформационная система* (ГИС) объединяет в себе возможность работы с базами данных, в том числе с объектами ИТС, с визуализацией данных в виде географической карты, и является удобным средством для хранения и обработки геоинформации, обладает огромным потенциалом в области поддержки принятия решений. *Нейронные сети* претендуют на то, чтобы стать универсальным аппаратом, решающим различные специфические задачи из разных проблемных областей транспортной инфраструктуры.

Для описания информационных объектов системы резонно использовать *гибридные модели*, в основе которых лежит объектно-ориентированный стиль представления информации. Методологические основы ООП сложились на базе результатов фундаментальных научных дисциплин, а компьютерная поддержка обеспечена эффективными геоинформационными технологиями, технологиями программирования и управления базами данных на основе *паттернов*. Парадигма такого подхода основана на согласии с тем, что любая сколь угодно сложная искусственная модель реального объекта всегда будет примитивнее и проще оригинала, и только многоаспектное его изучение с последующей интеграцией получаемых результатов позволит обрести необходимые знания или приблизиться к оптимальному решению.

Таким образом, необходим *комплексный взгляд* на создание ИТС, обеспечивающей нормальное (безопасное) функционирование транспортной инфраструктуры урбанизированной территории.

**Во второй главе** в качестве основной (модельной) проблемы рассматривается задача управления транспортными потоками. Для ее решения производится декомпозиция ПрО «Организация дорожного движения» на классы объектов, являющихся основой для структурно-параметрического синтеза системы управления дорожно-транспортной инфраструктурой. На основе гибридных технологий синтезируются модели этих классов. Рассматриваются критерии качества многоуровневой системы, оценки зонального управления ТП.

При решении задачи структурного синтеза использование таксономических моделей позволило произвести иерархическую декомпозицию ПрО: произвести разноуровневое упорядочение абстракций и установить регла-

мент межклассовых отношений. Модель ПрО представляется тетрадой:  $M_{\text{ПрО}} = \langle M_{\text{УДС}}, M_{\text{ТСОДД}}, M_{\text{ТП}}, M_{\text{УТП}} \rangle$ :

- модель УДС определяется классами: Участок, Узел, Дуга;
- модель ТСОДД определяется классами: Дорожный\_Знак, Светофорный\_Объект, Дорожная\_Разметка;
- модель ТП определяется классами: Скорость, Интенсивность, Плотность;
- множество задач управления ТП (УТП) определяется классами задач, решаемых в рамках ИТС: Мониторинг\_Состояния\_Объектов\_ПрО, Управление\_ТП\_и\_Перевозочным\_Процессом, Информационное\_Обеспечение\_Участников\_Движения.

Интеграция информационных технологий, используемых при проектировании и эксплуатации системы управления дорожно-транспортной инфраструктурой, осуществляется за счет синтеза гибридной модели на основе ООП, с использованием аппарата теории графов и реляционной алгебры и многослойной визуализации, обеспеченной геоинформационной технологией.

### **Модель улично-дорожной сети**

Агрегатное построение модели УДС позволяет рассматривать с единых позиций сети разных размеров, конфигурации и вариантов организации движения. Декомпозируем УДС на стандартно описываемые элементы – участки дороги (рис. 2, а). Отображение модели УДС на электронной карте в среде ГИС дает возможность использовать типы визуальных моделей: точки, линии, полигоны. Первоначально определим *полигональные* участки УДС.

Пусть  $\Theta = \{\theta_j^x\}$ , ( $\Theta \neq \emptyset$ ) – множество участков улично-дорожной сети любой конфигурации, содержащей в себе подмножества участков: (рис. 1, а) железнодорожных переездов  $\Theta^R = \{\theta_i^R\}$ , пешеходных переходов  $\Theta^P = \{\theta_k^P\}$ , перекрестков нескольких дорог  $\Theta^S = \{\theta_j^S\}$ , перегонов  $\Theta^L = \{\theta_i^L\}$ .

Пусть  $\theta_i^x$  – любой участок УДС  $\Theta$  (реализует отношение «*is\_a*» – является объектом класса). Любой объект класса «Участок» имеет характеристики (обладает имманентными свойствами – реализует отношение «*has\_a*»):

- номер  $number^o \in N = \{1, 2, \dots, n\}$ ;
- тип  $type \in T = \{1, 2, 3, 4\}$  – каждому типу поставлено в соответствие число: «перегон» – 1; «перекресток» – 2, «пешеходный переход» – 3; «железнодорожный переезд» – 4;
- уровень  $level \in L = \{-l, \dots, -1, 0, 1, \dots, l\}$  – для исключения совпадения коор-

динат участка при отображении его на «плоской» карте. Значение уровня участка, расположенного в тоннеле («под землей»), кодируется отрицательным числом, число 0 соответствует расположению участка «на земле»; значение уровня участка, расположенного на многоуровневой развязке («над землей») соответствует уровню транспортной развязки и кодируется числами от +1 и выше;

- координаты вершин  $coord \in C^{2 \times k}$ , где  $C^{2 \times k}$  – множество матриц размером  $2 \times k$  – каждый участок определен координатами  $(x_i, y_i)$  вершин многоугольника на плоскости для дальнейшего его отображения на электронной карте в среде ГИС;
- список соседних участков, непосредственно граничащих с ним  $list \in S^{1 \times r}$ , где  $S^{1 \times r}$  – множество векторов размера  $r$ .

Каждый участок  $\theta_i^X$  УДС  $\Theta$  уникален при  $i \neq j$ :

$$\forall \theta_i^X \in \Theta \quad (\exists number^{\theta} \in N) \wedge (\exists type \in \{1,2,3,4\}) \wedge (\exists level \in L) \wedge \\ (\exists coord \in C^{2 \times k}) \wedge (\exists list \in S^{1 \times r})$$

- номером:  $\forall \theta_i^X, \theta_j^X \in \Theta \quad number^{\theta_i} \neq number^{\theta_j} \Leftrightarrow \theta_i^X \neq \theta_j^X$ ,
- списком соседних участков  $list_i \neq list_j \Leftrightarrow \theta_i^X \neq \theta_j^X$ ,
- координатами  $(coord_i \neq coord_j) \vee ((coord_i = coord_j) \wedge (level_i \neq level_j))$ .

Для описания УДС с несколькими полосами движения с учетом направления движения по ним ТП дополнительно введем объекты: узел и дугу (рис. 2, б, в), являющиеся элементами ориентированного графа. Ввиду разреженности графа УДС, описывающего большой город, резонно использовать способ его хранения в виде списков смежных вершин (рис. 2, г).

Традиционно в графовых моделях транспортной сети, вершины  $\tilde{v}_i \in \tilde{V}$  и  $\tilde{v}_k \in \tilde{V}$  соответствуют перекресткам, а дуги  $\tilde{e}_i \in \tilde{E}$  – перегонам УДС, что затрудняет решение задач управления ТП. В модели, рассматриваемой в работе, используется специальный граф, вершины которого на перекрестке – соответствуют стоп-линиям на подходах к перекресткам, на пешеходном переходе и железнодорожном переезде – являются границами участка, на перегоне – соответствуют границам участка и точкам возможного разветвления потоков, а дуги – всевозможным путям проезда ТП по следующему за текущим участку УДС. Узел является точечным объектом ГИС, дуга – объектом-линией.

Граф УДС является помеченным: весом дуги выступает: число полос в каждом направлении, вид покрытия, интенсивность ТП, тип регулирования и др. В зависимости от решаемой задачи вес дуги выбирается или вычисляется по формуле из заданного набора параметров объектов. В качестве по-



метки дуги графа УДС может выступать интеллектуальная функция, позволяющая принять решение в распределении ТП по сети. При решении задач классификации в качестве пометок дуги графа УДС могут выступать «качественные» (несравнимые) характеристики дуги: тип дуги «перекресток» не совпадает с типом дуги «пешеходный переход».

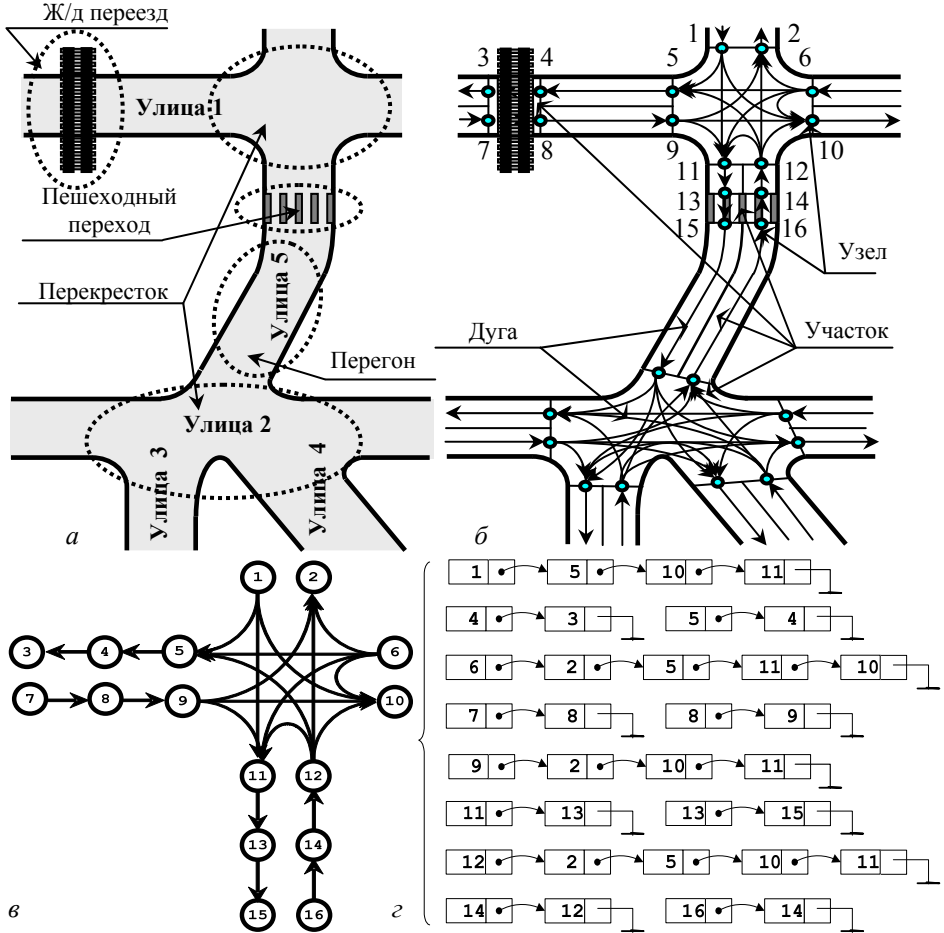


Рисунок 2. Модель *a* – улично-дорожной и *b* – транспортной сети; *в* – граф УДС *г* – представление графа *в* с помощью списков смежных вершин

В ИТС определен граф зависимости по управлению  $G(u)$  – помеченный граф, вершинами которого служат локальные вычислимые функции  $f_k$ , предназначенные для преобразования входных выражений (предикатов) в условные операторы. Две вершины  $\tilde{v}_i$  и  $\tilde{v}_j$  соединены дугой  $\tilde{e}_i$ , если существует зависимость между данными с источником в  $\tilde{v}_i$  и стоком в  $\tilde{v}_j$ .

Для синтеза модели транспортной сети на основе графовой и геоинформационной моделей введем отношения расположенности «*is\_located*» и связанности «*is\_connected*». Отношение расположенности регламентирует геокоординатами узла и участка.

Узел  $\tilde{v}_i \in \tilde{V}$  связан с участком  $\theta_i^X \in \Theta$  УДС тогда и только тогда, когда он расположен на этом участке:

$$\forall \tilde{v}_i \in \tilde{V}, \forall \theta_i^X \in \Theta \quad \tilde{v}_i \text{ is\_connected } \theta_i^X \Leftrightarrow \tilde{v}_i \text{ is\_located } \theta_i^X.$$

Дуга всегда принадлежит только одному участку:

$$\forall \tilde{e}_i \in \tilde{E}, \forall \tilde{v}_k, \tilde{v}_j \in \tilde{V}, \forall \theta_i^X \in \Theta \quad \tilde{e}_i \text{ is\_located } \theta_i^X \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \tilde{e}_i = (\tilde{v}_k, \tilde{v}_j) \wedge (\tilde{v}_k \text{ is\_located } \theta_i^X) \wedge (\tilde{v}_j \text{ is\_located } \theta_i^X), \text{ при } k \neq j.$$

Для синтеза связанной УДС  $\Theta$  введем отношение «следующий» – «*is\_next*» для объектов класса «Участок». Два участка являются соседними, если они связаны отношением «*is\_next*», результатом действия которого на пару  $(\theta^X, \tilde{e})$ ,  $\theta_i^X \in \Theta$ ,  $\tilde{e}_i = (\alpha, \beta) \in \tilde{E}$  является участок  $\omega \in \Theta$  такой, что:  $(\tilde{e}_i \text{ is\_located } \theta_i^X) \wedge (\omega \text{ is\_next } \theta_i^X) \wedge (\alpha \text{ is\_located } \theta_i^X) \wedge (\beta \text{ is\_located } \omega)$ .

### **Модель технических средств организации дорожного движения**

Для синтеза модели дислоцированного на УДС ТСОДД воспользуемся отношением расположенности «*is\_located*».

Определим правила дислокации ТСОДД на участке (дуге) УДС.

Пусть  $\tilde{T} = \{\tilde{t}_i\}$ ,  $(\tilde{T} \neq \emptyset)$  – множество объектов ТСОДД, дислоцированных на УДС – на дугах  $\tilde{e}_i \in \tilde{E}$  орграфа  $G$ , содержащее в себе только подмножества дорожных знаков  $\tilde{T}^Z = \{\tilde{t}_i^Z\}$ , светофорных объектов  $\tilde{T}^S = \{\tilde{t}_i^S\}$ , линий дорожной разметки  $\tilde{T}^L = \{\tilde{t}_i^L\}$ .

Существует единственная дуга  $\tilde{e}_i \in \tilde{E}$  графа  $G$ , на которой расположен объект ТСОДД  $\forall \tilde{t}_i \in \tilde{T} \exists! \tilde{e}_i \in \tilde{E} : \tilde{t}_i \text{ is\_located } \tilde{e}_i$ .

Решение задач управления транспортными потоками при движении по УДС диктует необходимость ввода отношения управляющего воздействия «*is\_action*» между объектами классов «Транспортный поток» и «ТСОДД», регламентирующего вид управляющего воздействия, оказываемого определенным типом ТСОДД.

Модель управляющего воздействия ТСОДД на транспортный поток  $M_{УВ}$  представляется триадой:  $M_{УВ} = \langle M_{ТСОДД}, M_{КО}, M_{ЗУВ} \rangle$ , где  $M_{ТСОДД}$  – модель вида ТСОДД,  $M_{КО}$  – модель компоновки объектов ТСОДД,  $M_{ЗУВ}$  – модель зоны управляющего воздействия.

Управляющим воздействием  $\tilde{U}$  ТСОДД  $\tilde{T}$  на ТП будем считать воздействие, регламентированное ГОСТ Р 52289-2004 «Технические средства

организации дорожного движения. Правила применения ...» и ограниченное зоной действия  $\tilde{A}$ . Зона управляющего воздействия включает в себя участки УДС, на которые направлено воздействие ТСОДД. Зона определена сечением, перегонном, перекрестком, магистралью или регионом (областью транспортной сети). Сечение может являться верхней или нижней границей зоны управляющего воздействия. Например, зоной действия дорожного знака «Ограничение высоты» является сечение дороги, для которого существует подобное ограничение; светофор воздействует на участок, на котором он установлен – это перегон или перекресток; дорожный знак «Главная дорога» может распространять свое действие как на один участок «перегон», так и на несколько участков УДС, начиная с того участка, на котором он установлен до его отмены.

Объект ТСОДД является весовой характеристикой дуги тогда и только тогда, когда существует участок такой, что объект дислоцирован на участке, на котором расположена эта дуга. Объект ТСОДД воздействует на ПП, движущийся в направлении, определяемом дугой:

$$\forall \tilde{t}_i \in \tilde{T}, \forall \tilde{e}_i \in \tilde{E} \quad \tilde{t}_i \text{ is\_located } \tilde{e} \Leftrightarrow \exists \theta_i^X \in \Theta :$$

$$(\tilde{t}_i \text{ is\_located } \theta_i^X) \wedge (\tilde{e}_i \text{ is\_located } \theta_i^X) \wedge (\tilde{t}_i \text{ is\_action } \tilde{e}_i).$$

Проведенная формализация нормативных правил установки ТСОДД, согласно ГОСТ Р 52289-2004, позволила построить предикаты  $f_{type^{TZ}}$  допустимости установки 371 типа  $type^{TZ}$  дорожного знака  $\tilde{t}_i^Z \in \tilde{T}^Z$  на участок УДС  $\theta_j^X \in \Theta$  для каждого типа знака:  $f_{type^{TZ}}(\theta_j^X(\tilde{P}^\theta)) \rightarrow B \mid \theta_j^X \in \Theta$ , где  $\tilde{P}^\theta$  – множество имманентных свойств участка, на который дислоцируется дорожный знак;  $B$  – булево множество.

$\forall i \in type^{TZ}$  существует предикат  $f_i(\tilde{\theta}_j^X)$  такой, что:

$$f_{type^{TZ}}(\tilde{\theta}_j^X(\tilde{P}^\theta)) \mid \tilde{\theta}_j^X \in \tilde{\Theta} \begin{cases} 1, \text{ если установка знака } \tilde{t}_i^Z \in \tilde{T}^Z \text{ на участок} \\ \tilde{\theta}_j^X \in \tilde{\Theta} \text{ допустима ГОСТом Р 52289;} \\ 0, \text{ если установка недопустима.} \end{cases} \quad (1)$$

Например, для установки согласно (1) дорожного знака «5.5 «Дорога с односторонним движением» построенный предикат имеет вид:

$$f_{5.5}(\tilde{P}^\theta) = ((NEXT.Rows\_Back=0) \vee (NEXT.Rows\_Dir \langle \rangle 0)) \wedge$$

$$((PREV.Type = \langle \langle \text{Перекресток} \rangle \rangle) \vee (Rows\_Back \langle \rangle 0) \vee (Rows\_Dir \langle \rangle 0)),$$

где  $NEXT$ ,  $PREV$  – следующий и предыдущий по направлению движения ТС участок УДС, соответственно;  $\tilde{P}^\theta$  – атрибуты (имманентные свойства) участка:  $Rows\_Dir$ ,  $Rows\_Back$  – рядность в прямом и обратном направлениях.

Для установки светофорного объекта типа  $type^{TS}$  на участок УДС построенный предикат имеет вид:

$$f_{type^{TS}}(\tilde{\theta}_j^X(\tilde{P}^\theta)) = (NEXT.Type = \langle \text{Перекресток} \rangle) \wedge \\ \wedge ((Count\_Main = \beta_1) \wedge (Count\_Second = \beta_2)) \wedge \\ \wedge ((I\_Main > \alpha_{1i}) \wedge (I\_Second > \alpha_{2i})), \quad (2)$$

где  $\tilde{P}^\theta$  – множество имманентных свойств участка:  $Count\_Main$ ,  $I\_Main$  и  $Count\_Second$ ,  $I\_Second$  – количество полос и интенсивность движения ТС в прямом и конфликтующем направлениях, соответственно;  $\alpha_{1i}$ ,  $\alpha_{2i}$ ,  $\beta_1$  и  $\beta_2$  – табличные переменные ГОСТ Р 52289. Предикаты допустимости дислокации для каждого типа светофора строятся по аналогии с (1).

### Модели транспортных потоков

Следующим этапом синтеза модели транспортной инфраструктуры является «добавление» к модели УДС с дислоцированными на ней ТСОДД модели транспортных потоков.

В рамках макроскопического подхода транспортный поток  $\tilde{S} = \{\tilde{s}_i\}$ , ( $\tilde{S} \neq \emptyset$ ), движущийся по УДС – дугам  $\tilde{e}_i \in \tilde{E}$  орграфа  $G$ , характеризуется общей средней скоростью, плотностью потока и интенсивностью движения в определенный момент времени в некоторой точке УДС.

Объекты класса «Интенсивность»  $\tilde{I}_i$  специфицируются параметрами (реализуют отношения  $\langle has\_a \rangle$  и  $\langle is\_located \rangle$ ):

- уникальный номер результата измерения интенсивности  $number^I \in N = \{1, 2, \dots, n\}$ ;
- дуга  $\tilde{e}_i$  графа  $G$  УДС  $\Theta$  результата измерения интенсивности  $\tilde{I}_i$  ;
- количество в потоке транспортных средств определенного типа  $NVehicle \in Q^{1 \times N}$ , где  $Q^{1 \times N}$  – множество векторов размером  $N$ ;
- значение интенсивности в приведенных единицах  $\tilde{I}_i^R$  – функция  $ReductIntens: \tilde{I}_i^R = \sum_{i=1}^N Q_i k_i^{\tilde{S}}$ , где  $k_i^{\tilde{S}}$  – коэффициенты приведения;
- интенсивность движения пешеходов  $\tilde{I}_i^P$ ;
- дата и время результата измерения.

Снимком  $\tilde{I}_j^S$ ,  $j = 1, 2, \dots, h$  интенсивности ТП  $\tilde{s}_i$  назовем множество результатов измерения интенсивности в заданный момент времени (утренний или вечерний часы «пик»), в заданных пространственных зонах УДС (участок, магистраль, регион).

Для *макроскопических* моделей движения ТП в ИТС реализованы зависимости между основными параметрами ТП (скорость, интенсивность, плотность) следующих типов: линейная, логарифмическая, экспоненциальная, степенная, регрессионная, разрывная. Усложнение макромодели ТП за счет введения дополнительных параметров позволяет исследовать его поведение в критических точках – насыщения и затора.

Отдельный пласт макромоделей ТП составляют *территориальные модели*, позволяющие прогнозировать объем движения в различных районах города. Модель основана на анализе числа входящих в данную зону ТС, средней скорости ТП, плотности УДС и транспортной интенсивности района (общего пробега автомобилей в районе в единицу времени).

Интеграция *геоинформационных и нейросетевых технологий* делает перспективным их использование в задачах анализа и прогноза территориально-распределенных процессов. Задача сводится к минимизации выражения  $\min_{f \in F} R(f) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m c(y_i, f(x_i))$ , где  $c(y_i, f(x_i))$  – неотрицательная функция потерь, в которой  $f(x_i)$  – значение зависимой переменной, найденное с помощью функции  $f$  для вектора  $x_i \in T$ , а  $y_i$  – ее точное (известное) значение,  $F$  – множество всех возможных нелинейных функций.

Для расчета нелинейной зависимости используем модель *дважды многорядной нейронной сети с активными нейронами*, позволяющую итерационно строить полиномиальную зависимость. Принцип последовательного тестирования моделей, выбираемых по заданному критерию из множества моделей-кандидатов, заложен в методе группового учета аргументов. Структура сети строится в процессе самоорганизации, модели перебираются по рядам равной сложности структуры, и для каждого ряда находится лучшая по критерию модель, эффективные входы выбираются активными нейронами в процессе самоорганизации. Для нескольких источников и рецепторов и функции, описывающей их связь, каждое неизвестное значение плотности ТП будет рассчитываться по формуле:  $k_i = \sum_{j=1}^N f(v_{ij}, I_{ij}) q_j$ , где  $j = 1, 2, \dots, N$ ,  $i = 1, 2, \dots, M$ ,  $N, M$  – число источников и рецепторов;  $v_{ij}$  – скорость входящего ТП  $j$ -го направления;  $I_{ij}$  – интенсивность входящего ТП  $j$ -го направления  $i$ -го результата измерения;  $f(v_{ij}, I_{ij})$  – функция зависимости плотности от скорости и интенсивности;  $q_j$  – значение  $j$ -го источника – коэффициент, выражающий долю ТП, покинувшую перекресток во время разрешающей фазы.

При построении *микромоделей* движения ТП на сетевом (зональном) уровне базовыми элементами являются модель движения ТС на УДС, мо-

дель управления светофорными объектами, модель взаимодействия с системой управления при постоянном определении дислокации ТС на УДС. ТС характеризуется положением  $x(t)$ , маршрутом, скоростью и в ряде задач может рассматриваться как материальная точка. Основными направлениями совершенствования классических моделей кинетической теории ТП являются подбор оптимального уравнения скорости, введение параметров, учитывающих колебания характеристик ТП в неустойчивых состояниях, модификация моделей для описания движения на городских магистралях с остановками. Двухкомпонентная модель ТП построена на соотношении двух частей ТП – одна часть находится в движении, другая состоит из ТС, стоящих в очереди на перекрестках, в заторах, в «узких» местах.

### ***Управление транспортными потоками***

Определим ранг управления  $L$  как декомпозиционный слой системы, предназначенный для решения некоторых задач  $Z_L$ , вытекающих из исходного множества целей управления  $Z^* = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ . Для выделения ранга управления множество критериальных характеристик  $C$  разбивается на  $R_L$  попарно непересекающихся частей. Полученные подмножества  $C_i^L$  образуют варианты синтеза системы со степенью декомпозиции, отвечающей данному рангу управления. Зональная декомпозиция целей управления позволяет осуществить сублокальную оптимизацию управления внутри некоторой зоны  $\tilde{A}$  параметров данного ранга. Полученные подмножества  $E_i^Z$  соответствуют зонам распространения управляющего воздействия (реализации отношения «*is\_action*»). Существующая связь между глобальным критерием  $\Omega$ , совокупностью локальных  $\varepsilon_L$  и зональных критериев  $\zeta_Z$ , позволяет построить алгоритм последовательной оптимизации сублокальных зональных критериев  $\zeta_Z$  на соответствующих подмножествах  $E_i^Z$ .

В ИТС качество управляющих воздействий на ТП можно характеризовать различными показателями: длительностью задержки, количеством остановок ТС, длиной очередей у перекрестка, безопасностью движения, расходом топлива, массой выброса вредных веществ и др.

**В третьей главе** рассматривается задача зонального управления ТП, движущегося по УДС с дислоцированными на ней ТСОДД. В качестве зонального управления рассматриваются локальное управление на перекрестке и перегоне, координированное управление на магистрали. На моделях, построенных во 2 главе, рассматривается управление ТП в условиях затора, возникшего вследствие различных причин: высокой плотности потока, возникновения нештатной ситуации, дорожно-транспортного происшествия.

Зоной управляющего воздействия светофорного объекта  $\tilde{t}_i^S$  является участок  $\theta_i^x \in \Theta$  УДС, на котором он дислоцирован. Под расчетом управляющих воздействий на изолированном (локальном) перекрестке будем понимать нахождение цикла работы светофорного объекта, всех основных и промежуточных тактов, обеспечивающих оптимум некоторого критерия качества. Проведена классификация и разработаны алгоритмы: *использующие «библиотеку» сигнальных программ (AProgramLibrary)* – выбирающие сигнальную программу в соответствии с изменением транспортной ситуации; *поиска разрывов в транспортных потоках (ASearchBreak)* – осуществляющие переключение светофорной сигнализации при нахождении заданного или рассчитанного в процессе управления интервала между ТС на разрешенных для движения направлениях. Рассмотрена работа регулируемого перекрестка в режиме *разъезда очереди* и *остаточных очередей* для ситуаций: образующиеся остаточные очереди управляемы и находятся в стабильном/нестабильном состоянии; длина остаточных очередей  $l_Q$  превышает контрольное значение (длину перегона)  $l_Q > l$  и оказывает отрицательное воздействие на соседние перекрестки (состояние затора).

Метод *зональной оптимизации координированного управления* на магистрали (*MZoneTrafficFlowControl*), являясь промежуточным между сетевым и изолированным управлением, учитывает ситуацию на смежных перекрестках (рис. 3), откуда прибывают ТС, с тем, чтобы обеспечить оптимальное качество управления. При синхронном включении одноименных фаз на смежных перекрестках, т.е. при  $\delta_i^{(j)} = 0$  (отсутствии сдвига фаз) происходит разрыв ТП на регулируемом перекрестке.

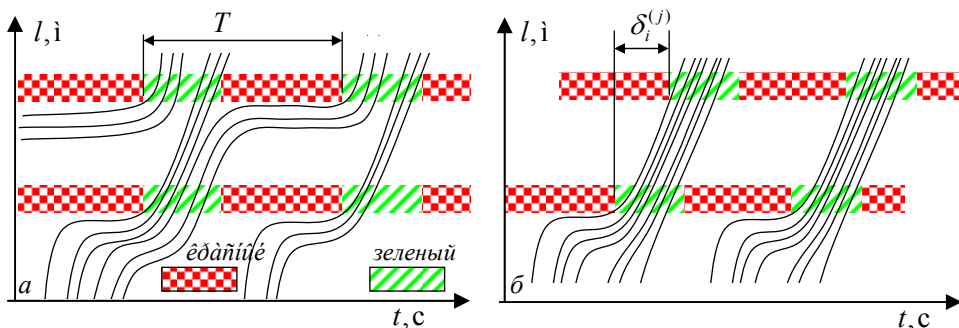


Рисунок 3. Пространственно-временная диаграмма движения автомобилей  
 а – при синхронном включении разрешающего сигнала на смежных перекрестках; б – при координированном управлении

Одним из параметров оптимизации светофорного регулирования в рассматриваемом методе расчета программ координации является величина

уставок  $\delta_i^{(j)}$ . *MZoneTrafficFlowControl* поддерживает алгоритмы, обеспечивающие функционал, по меньшей мере, трех режимов: *априорной оптимизации*, использующей информацию, накопленную на основе усреднения данных, *адаптивной оптимизации* и *on-line оптимизации*, использующий данные от детекторов транспорта, в качестве которых могут выступать как стационарно установленные на УДС детекторы, так и *GPS*-навигаторы. Алгоритмы используют условие минимизации числа остановленных ТС либо суммарного времени транспортных задержек.

Затор – особая ситуация на УДС, при которой среднее время задержки  $\bar{D}$  ТС превышает длительность цикла  $T$ . Анализ снимков интенсивности  $\tilde{I}_j^s$  позволяет заблаговременно выявить зоны (участки УДС), в которых наблюдаются режимы перенасыщенного движения. Вне области предполагаемых заторов выделим некоторое количество участков  $\theta_i^x$ , на которых будет измеряться интенсивность движения  $\tilde{I}_i$  с дискретностью  $\Delta t$ . Снимок интенсивностей в момент времени  $t - \Delta t$  в зоне предполагаемого затора позволяет определить значение интенсивности, которое сложится к моменту времени  $t$  на дуге  $\tilde{e}_i$  графа УДС:  $\tilde{I}_i(t) = \sum_{i=1}^j a_i \tilde{I}_i(t - \Delta t) + a_0$ , где  $a_i$  и  $a_0$  – коэффициенты. Суммирование ведется по всем участкам УДС, не принадлежащим зоне предполагаемых заторов. Для прогнозирования интенсивностей  $\tilde{I}_i(t)$  в областях, подверженных заторам, в системе управления необходимо хранить и периодически обновлять значения коэффициентов  $a_i$  и  $a_0$ , входящих в уравнение регрессии. По вычисленным значениям  $\tilde{I}_i(t)$  и при известных режимах работы светофорных объектов вычисляется длина очереди  $l_Q$  ТС на перегонах в момент времени  $t$ . Если при прогнозировании окажется, что  $l_Q > l$ , это будет означать возможность появления затора на перегоне к моменту времени  $t$ . Транспортную ситуацию, возникшую в момент  $t - \Delta t$ , определим как предзаторовую.

При стабильном состоянии ТП происходит плавное изменение интенсивности, плотности и скорости. В зоне пропускной способности перекрестка происходит резкий скачок, представляющий собой ударную волну. Анализ поведения очереди ТС в «узком» месте и распространение ударных волн в ТП фиксирует разрывы в значениях характеристик ТП. Величина резкого падения скорости в зоне пропускной способности зависит от скорости свободного движения на данном участке УДС. Этот факт подтверждается многочисленными экспериментальными наблюдениями.

**В четвертой главе** рассматриваются задачи построения оптимальных маршрутов на основе интегрированной модели, описанной во 2 главе,



обеспечивающей качество перевозочного процесса с меньшими сроками, транспортными затратами и высокой безопасностью движения.

Методологическую основу построения маршрутов составляет расширенная графовая модель, реализующая событийное управление ТП на УДС, позволяющая проводить адаптацию алгоритмов построения маршрутов, основанную на формальных манипуляциях с объектами ПрО без изменения исходной графовой модели. Для графа зависимости по управлению  $G(u)$  на каждом конкретном шаге процесса управления для узла, из которого исходят несколько дуг, возникновение коллизии на одной из них определяет выбор стратегии (алгоритма) управления. Активизация некоторого события зависит от состояния транспортной инфраструктуры, определяемого ее текущими характеристиками.

Введем множество предикатов  $P_i^u$  для реализации событийного управления на графе управлений  $G(u)$  и поставим их в соответствие дугам графа  $G(u)$ . Алгоритм, реализующий переход  $\tilde{v}_i \rightarrow \tilde{v}_j$  на графе  $G(u)$ , инициируется, если объект на текущем шаге находится в состоянии  $\tilde{v}_i$ , и предикат  $P_i^u$ , помечающий данный переход, принимает «разрешающее» значение (3). При этом на дугах, исходящих из одной вершины, возможна ситуация появления значения истинности одновременно нескольких предикатов.

$$P_i^u(\tilde{e}_j) | \tilde{e}_j \in \tilde{E} = \begin{cases} 000, 010, 100, 110 - \text{проезд запрещен;} \\ 001, 011, 101, 111 - \text{проезд разрешен;} \\ 001 - \text{без изменения характеристик ТП;} \\ 011 - \text{только при изменении скорости;} \\ 101 - \text{только при изменении плотности;} \\ 111 - \text{только при изменении плотности и скорости.} \end{cases} \quad (3)$$

При организации событийного управления на графе УДС построены 44 предиката  $P_i^u$  допустимости проезда ТП по дуге  $\tilde{e}_j$  для каждого типа дорожного знака  $type^{TZ}$ .

Учитывая большой объем исходного графа УДС, разработаны методы уменьшения его размерности без потери качества исходной информации для задач, не требующих глубокого уровня детализации (рис. 4) для решения задач управления в реальном режиме времени.

*Линейное* стягивание графа происходит за счет объединения нескольких последовательных дуг в одну удалением вершин степени 2 и заменой цепи дуг, инцидентных этим вершинам, одной дугой и пересчета весов соответствующим алгоритмом для аддитивных, усредненных и зависящих от длины дуги характеристик.

Зональное стягивание графа происходит за счет объединения нескольких вершин и дуг графа, образующих подграф графа УДС. Выделение зоны производится методом последовательной дискретизации картографической основы УДС. Зональное стягивание

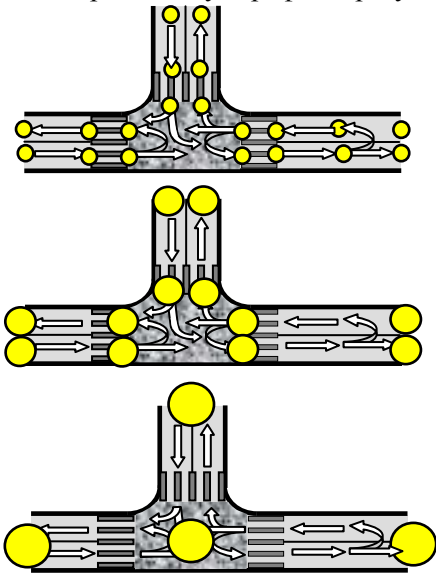


Рисунок 4. Последовательное применение алгоритмов линейного и зонального стягивания

применяется при решении задач, для которых потеря информации о весовых характеристиках дуг внутри зоны не является критичной, однако информация о характеристиках входящих и исходящих из зоны дуг является необходимой.

Важным критерием оценки эффективности транспортных маршрутов является их безопасность. Для ИТС разработаны методы расчета уровня безопасности на основе: экспертных оценок, конфликтных точек, анализа скоростного режима. Значение уровня безопасности на основе метода экспертных оценок рассчитывается как среднее арифметическое этих оценок:

$$k_j^p = \sum_{i=1}^m R_{ij} / m, \text{ где } m - \text{ количество экс-}$$

пертов,  $R_{ij}$  – оценка  $i$ -м экспертом  $j$ -го показателя. Коэффициент безопасности участка:

$$k^s = \sum_{j=1}^n \widehat{k}_j^p / n, \text{ где } n - \text{ количество показателей, } \widehat{k}_j^p - \text{ приве-}$$

денный коэффициент  $\widehat{k}_j^p = 1 + \lambda \cdot c_j \cdot k_j^p$ ,  $c_j$  – коэффициент, определяющий вид показателя;  $\lambda$  – коэффициент приведения. Безопасность маршрута:

$$S^r = \sum_{i=1}^q (l_i \cdot k_i^s) / \sum_{i=1}^q l_i, \text{ где } l_j - \text{ длина } j\text{-го участка; } n - \text{ количество участков в}$$

маршруте.

Для решения задачи нахождения оптимальных маршрутов разработаны методы построения и визуализации маршрутов на карте в среде ГИС: Дейкстры, ветвей и границ, эвристические методы. Анализ работы алгоритмов построения маршрутов, адаптируемых к состоянию транспортной инфраструктуры, позволил выявить области предпочтения использования для решения задач управления транспортными потоками алгоритмов с различными исходными данными и критериями поиска.

**В пятой главе** рассматривается методология синтеза ИТС на основе развиваемого в диссертации подхода к системному анализу и компьютерному моделированию сложных систем. При разработке использованы оригинальные приемы ООП на основе паттернов.

Методология формализации и анализа проблем ИТС базируется на комплексной стратегии значительного повышения уровня абстракции используемых моделей, охватывающих реализуемые комбинации особенностей объектов ПрО. В этом смысле архитектура ИТС должна включать структурно-функциональные компоненты, которые по отдельности или в определенных сочетаниях призваны отобразить интеллектуальные единицы общей схемы проектирования и технологические составляющие, с помощью которых рассматриваемые интеллектуальные единицы порождаются и увязываются между собой. Каждый компонент ИТС имеет семантически индифферентный, по отношению к задачам исследования предметной области, паттерн.

Декларативная составляющая концептуальной модели ИТС служит своеобразным регламентом для конструирования общего шаблона базы данных (БД) для размещения объектно-ориентированных моделей ИТС, и всякая поименованная репликация такого паттерна порождает пустую модель. По паттерну БД строятся все объектно-ориентированные БД для различных объектных моделей ПрО, которую описывает схема модели, определившая данный паттерн БД.

Проведена классификация и реализованы паттерны ИТС, различающиеся уровнем абстракции и степенью детализации:

- *архитектурные* – множество предварительно определенных подсистем со спецификацией их ответственности, правил и базовых принципов установления отношений между ними;
- *проектирования* – специальные схемы для уточнения структуры подсистем и взаимодействия элементов ИТС;
- *анализа* – специальные схемы для представления общей организации процесса моделирования;
- *порождающие* – связаны с процессом создания объектов, делегирующие ответственность за создание объектов своим подклассам;
- *структурные* – композиции объектов и классов, использующие наследование для составления классов или описывающие способы сборки объектов из частей (пример структурного паттерна приведен на рис. 5);
- *поведения* – характеризуют взаимодействие классов и/или объектов при использовании механизмов наследования для описания алгоритмов и потока управления.

Экспериментальные исследования результативности паттерного проектирования ИТС свидетельствуют об устойчивой идентификации классов

объектов ИТС при субъективном формировании точки зрения на состав имманентных свойств Про.



Рисунок 5. Диаграмма классов структурного паттерна ИТС «Адаптер модели ТП»

В шестой главе приведен пример синтезированной ИТС (рис. 6) с описанием составляющих ее гетерогенных компонентов, результатами проведенных имитационных экспериментов и натурных испытаний (рис. 7):



Рисунок 6. Функциональная схема интеллектуальной транспортной системы

- супервизор ИТС и обобщенная база данных;

- система автоматизированного построения геоинформационной объектно-ориентированной модели УДС и дислоцированных объектов;
- экспертная система дислокации ТСОДД;
- экспертная система построения транспортных маршрутов по различным критериям (расстояние, время, безопасность);
- системы мониторинга оперативных данных (дорожно-транспортные происшествия, нештатные ситуации и др.);
- система моделирования управления ТП для различных типов моделей ТП (микроскопические, макроскопические, разрывные, территориальные) и видов зонального управления (локальное, координированное);
- интеллектуальная система анализа пространственно-координированных объектов на основе использования технологии *Data Mining*.

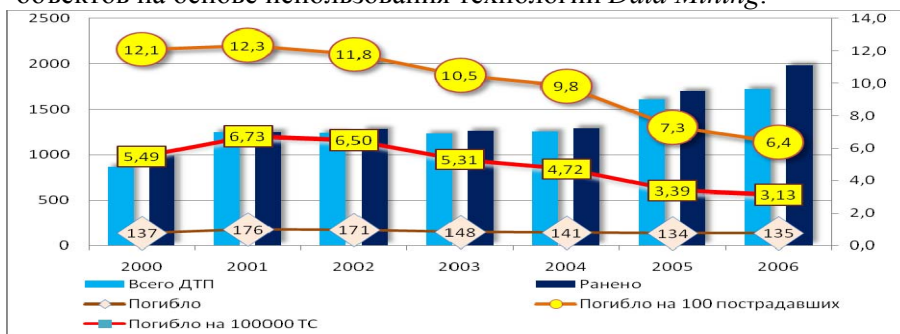


Рисунок 7. Снижение уровня тяжести последствий от ДТП в комплексе мероприятий по внедрению ИТС в г. Самаре

В приложения вынесены вспомогательные математические выкладки, примеры использования инструментальных средств и новых имитационных технологий, разработанных с помощью этих средств, иллюстрации к организации экспериментов, акты реализации результатов научных исследований.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Исследования и анализ технологий и функций систем управления дорожно-транспортной инфраструктурой (интеллектуальных транспортных систем) позволили выработать принципы интеграции ее элементов и подсистем, систематизировать задачи, решаемые в рамках интеллектуальных транспортных систем, определить основные направления развития транспортных систем: мониторинг характеристик объектов транспортной инфраструктуры, управление дорожным движением и маршрутизация транспортных потоков, информационное обеспечение участников движения.
2. На основе системного анализа разработана и апробирована на статистической информации и натурных экспериментах методика представления

транспортной инфраструктуры урбанизированной территории в виде агрегатного построения моделей улично-дорожной сети, технических средств организации дорожного движения, транспортных потоков на основе концепций объектно-ориентированного проектирования, аппарата теории графов, геоинформационных и нейросетевых технологий. Интегрированная модель системы управления дорожно-транспортной инфраструктурой позволяет рассматривать с единых позиций транспортные сети разных размеров, конфигурации и вариантов организации движения, дает возможность анализировать комплексное состояние объектов системы, проводить исследования и выработать рекомендации по управлению транспортной инфраструктурой.

3. Разработаны методы интеграции концептуальных знаний, представленных в спецификации транспортных потоков; методы управления транспортными потоками с использованием разнородных: макроскопических, территориальных, разрывных моделей и их адаптации к идеологии систем управления дорожно-транспортной инфраструктурой на этапе вычислительного эксперимента и при организации эволюционных исследований на моделях зонального управления на участках сети, функционирующих в режимах свободного движения и близких к пропускной способности.
4. На основе разработанных концепций, информационных моделей и методов исследования транспортной инфраструктуры разработана унифицированная основа, обеспечивающая исследование, оптимизацию и экспертное конструирование маршрутов, адаптируемых к состоянию транспортной инфраструктуры.
5. Разработана методика структурно-параметрического синтеза системы управления дорожно-транспортной инфраструктурой на основе паттернов, обеспечивающих сокращение времени и унификацию проектирования системы управления дорожно-транспортной инфраструктурой за счет автоматического представления любого объекта такой системы в виде структуры, состоящей из двух частей: формальной, взаимодействие с которой осуществляется через универсальные инструментальные средства, и содержательной, наполняемой значениями имманентных свойств объектов транспортной инфраструктуры.
6. Построены компьютерные модели и созданы специализированные системы компьютерного моделирования в рамках системы управления дорожно-транспортной инфраструктурой, получивших практическое признание. Приобретенный опыт свидетельствует, что предложенные модели и методы позволяют создавать эффективные методологии решения прикладных задач и научных исследований, а использование паттернов повышает производительность труда и унификацию проектирования,

сокращает сроки создания, упрощает модификацию и сопровождение системы управления дорожно-транспортной инфраструктурой. Технология построения систем управления дорожно-транспортной инфраструктурой на основе паттернов открыта, она модернизируется и пополняется новыми паттернами и алгоритмами.

7. Эффективность разработанных теоретических положений, методов, моделей и алгоритмов подтверждена положительным опытом их использования при разработке системы управления дорожно-транспортной инфраструктурой г. Самары. Опытная эксплуатация системы управления дорожно-транспортной инфраструктурой позволила улучшить характеристики организации дорожного движения: увеличить пропускную способность основных перекрестков города на 5-10 %, снизить удельное время поездки на 12-18 %, уменьшить транспортные задержки на 10-15 %, снизить уровень тяжести последствий от ДТП в 2001-2007 гг. в 1,92 раза. Практические результаты диссертационной работы используются на предприятиях г. Самара и Самарской области, в учебном процессе Самарского государственного аэрокосмического университета, Самарского государственного технического университета, Самарского филиала Саратовского юридического института МВД России.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ ПОЛНОСТЬЮ РАСКРЫВАЕТСЯ В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ:**

### *Публикации в периодических изданиях из списка ВАК:*

1. Программная таксономия – основа для создания гипермедийных систем / Т.И. Михеева, И.Е. Михеенков // Информационные технологии. 1998. № 8. С. 40–43 (автору принадл. 2 ж. с.).
2. Роль концепции делегирования при построении интеллектуальных систем /Т.И. Михеева, И.Е. Михеенков // Информационные технологии, 2000. № 9. С. 50–54 (автору принадл. 3 ж. с.).
3. Модели наследования в системе управления дорожным движением / Т.И. Михеева, С.В. Михеев // Информационные технологии. 2001. № 7. С. 50–54 (автору принадл. 3 ж. с.).
4. Моделирование движения в интеллектуальной транспортной системе / Т.И. Михеева // Вестник Самарск. гос. аэрокосм. ун-та. 2004. № 4. С. 118–126 (автору принадл. 8 ж. с.).
5. Использование принципов объектно-ориентированного проектирования интеллектуальной транспортной системы / Т.И. Михеева // Вестник Самарского гос. техн. ун-та. Серия «Физико-математические науки». 2004. № 34. С. 141–149 (автору принадл. 9 ж. с.).

6. Интеллектуальная транспортная система. Дислокация дорожных знаков / Т.И. Михеева // Вестник Самарск. гос. техн. ун-та. Серия «Технические науки». 2005. № 32. С. 53–63 (автору принадл. 11 ж. с.).

7. Data Mining в геоинформационных технологиях / Т.И. Михеева // Вестник Самарск. гос. техн. ун-та. Серия «Технические науки». 2006. № 41. С. 96–99 (автору принадл. 4 ж. с.).

8. Автоматизированное управление потоками оперативных данных / Т.И. Михеева // Вестник Самарск. гос. аэрокосм. ун-та. 2006. № 1(9). С. 237–246 (автору принадл. 10 ж. с.).

9. Инструментальная среда для проектирования объектов интеллектуальной транспортной системы / Т.И. Михеева // Вестник Самарск. гос. техн. ун-та. Серия «Технические науки». 2006. № 40. С. 96–103 (автору принадл. 8 ж. с.).

10. Построение математических моделей объектов улично-дорожной сети города с использованием геоинформационных технологий / Т.И. Михеева // Информационные технологии. 2006. № 1. С. 69–75 (автору принадл. 7 ж.с.).

11. Идентификация зависимостей в пространственно-распределенных данных с использованием нейросетевых технологий / Т.И. Михеева, О.Н. Сапрыкин // Вестник Самарск. гос. техн. ун-та. Серия «Технические науки». 2007, №1(19). С. 40–47 (автору принадл. 4 ж.с.).

#### *Монографии :*

12. Управление транспортными потоками. Учет ДТП / Т.И. Михеева. Самара : Самар. гос. техн. ун-т, 2006. 125 с.

13. Порядок остановки и стоянки транспортных средств. Гл. 3 ; Отступление от ряда требований правил дорожного движения. Гл. 5 ; Типичные дорожные ситуации. Гл. 7 ; / Т.И. Михеева // Управление транспортными потоками. Парковка / Т.И. Михеева, И.А. Рудаков, И.А. Чугунов. Самара : D.S. Style, 2006. С. 18–54, 70–77, 90–118 ; 144 с.

#### *Другие публикации :*

14. Автоматизированная система контроля и управления дорожным движением / Т.И. Михеева, С.В. Михеев, А.В. Золотовицкий // Математика. Компьютер. Образование : сб. научн. тр. / Под ред. Г.Ю. Ризниченко. Пушино–Москва : МГУ; Прогресс–Традиция. 2000. С. 207–214.

15. Исследование методов локального управления транспортными потоками / Т.И. Михеева, С.В. Михеев // Вестник Самарск. гос. аэрокосм. ун-та. Сер. «Актуальные проблемы радиоэлектроники». 2003. С. 24–30.

16. Система мониторинга дислокации знаков дорожного движения / Т.И. Михеева, Калугин Н.А., Калугин А.Н. // Вестник Самарск. гос. аэрокосм. ун-та. Сер. «Актуальные проблемы радиоэлектроники». 2003. С. 35–39.



17. Применение теории графов в задачах управления дорожным движением / Т.И. Михеева, А.В. Золотовицкий // Вестник Самарского гос. аэрокосм. ун-та. Сер. «Актуальные проблемы радиоэлектроники». 2003. С. 20–24.

18. Эвристические методы построения транспортных путей в задачах логистики / Т.И. Михеева, А.В. Золотовицкий // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах : тр. междунар. научн.-практ. конф. СПб. : СПбАДИ. 2004. С. 89–93.

19. Конвергенция современных технологий в управлении транспортом / Т.И. Михеева, Р.В. Демьяненко // Информационные технологии моделирования и управления : междунар. сб. научн. тр. / Под ред. О.Я. Кравца. Воронеж : Научная книга. 2004. Выпуск 17. С. 150–157.

20. Автоматизированная система учета и анализа ДТП / Т.И. Михеева, В.С. Ярцев // Интеллектуальные системы : тр. Шестого междунар. симп. (INTELS'2004) / Под ред. К.А. Пупкова. М. : РУСАКИ. 2004. С. 485–488.

21. О решении задачи исследования транспортных путей / Т.И. Михеева, А.В. Золотовицкий // Информационные технологии моделирования и управления : междунар. сб. научн. тр. / Под ред. О.Я. Кравца. Воронеж : Научная книга. 2004. Выпуск 18. С. 40–47.

22. Методы и средства проектирования систем управления дорожным движением / Т.И. Михеева, С.В. Михеев // Интеллектуальные системы : тр. Шестого междунар. симп. (INTELS'2004) / Под ред. К.А. Пупкова. М. : РУСАКИ. 2004. С. 406–409.

23. Автоматизация мониторинга транспортной и дорожной инфраструктуры / Т.И. Михеева, И.А. Рудаков // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах : тр. междунар. научн.-практ. конф. СПб. : СПбАДИ. 2004. С. 93–96.

24. Применение инструментальных средств проектирования интеллектуальной транспортной системы / Т.И. Михеева // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах : тр. междунар. научн.-практ. конф. СПб. : СПбАДИ. 2004. С. 85–89.

25. Инструментальная среда для имитационного моделирования потоков / Т.И. Михеева // Математика и ее приложения : тр. междунар. научн. конф. Тольятти : ТГУ. 2005. С. 123–127.

26. Модуль автоматизированного удаленного управления светофорным объектом / Т.И. Михеева, А.С. Большаков // Математика и ее приложения : тр. междунар. научн. конф. Тольятти : ТГУ. 2005. С. 114–117.

27. Обработка геоданных в интеллектуальной транспортной системе / Т.И. Михеева, А.В. Хренов // Математика и ее приложения : тр. междунар. научн. конф. Тольятти : ТГУ. 2005. С. 102–106.

28. Автоматизация исследования безопасности дорожного движения / Т.И. Михеева, И.А. Чугунов // Математика и ее приложения : тр. междунар. научн. конф. Тольятти : ТГУ. 2005. С. 110–113.

29. Обработка потоков оперативной информации / Т.И. Михеева, В.С. Ярцев // Математика и ее приложения : тр. междунар. научн. конф. Тольятти : ТГУ. 2005. С. 119–123.

30. Применение нейросетевых методов для анализа пространственных данных / Т.И. Михеева, О.Н. Сапрыкин // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах : тр. междунар. научн.-практ. конф. СПб. : СПбАДИ. 2006. С. 81–84.

31. Программный комплекс для исследования безопасности дорожного движения / Т.И. Михеева, Д.В. Абросимова, И.А. Чугунов // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах : тр. междунар. научн.-практ. конф. СПб. : СПбАДИ. 2006. С. 291–293.

32. О методике разработки интеллектуальной системы дислокации технических средств организации дорожного движения на улично-дорожной сети города / Т.И. Михеева, Денисенко В.С., И.А. Рудаков // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах : тр. междунар. научн.-практ. конф. СПб. : СПбАДИ. 2006. С. 291–293.

33. О методике разработки подсистемы исследования распределения транспортных потоков / Т.И. Михеева, С.В. Михеев, В.С. Ярцев // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах : тр. междунар. научн.-практ. конф. СПб. : СПбАДИ. 2006. С. 289–291.

34. Алгоритмы триангуляции плоских областей по нерегулярным сетям точек / Т.И. Михеева, Петряшина Ю.В. // Перспективные информационные технологии в научных исследованиях, проектировании и обучении : сб. научных трудов. Самара : СГАУ. 2006. Т. II. С. 48–54.

35. Метод оценки транспортного спроса / Т.И. Михеева, В.С. Ярцев, Р.В. Демьяненко // Перспективные информационные технологии в научных исследованиях, проектировании и обучении : сб. научных трудов. Самара : СГАУ. 2006. Т. I. С. 61–65.

36. Синергетический подход к проектированию интеллектуальной транспортной системы / Т.И. Михеева // Перспективные информационные технологии в научных исследованиях, проектировании и обучении : сб. научных трудов. Самара : СГАУ. 2006. Т. II. С. 162–163.

37. Системный анализ при проектировании интеллектуальной транспортной системы региона / Т.И. Михеева // Математика. Компьютер. Образование : сб. научн. тр. / Под ред. Г.Ю. Ризниченко. М.–Ижевск : МГУ; НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика». 2006. Т. I. С. 235–255.

---

Подписано к печати . .2007. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать плоская.

Усл. печ. л. 2,0. Тираж 100 экз. Заказ №

Отпечатано с готовых оригинал-макетов

Самарский государственный аэрокосмический университет

443086, Самара, Московское шоссе, 34