



МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ (МАДИ)

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПРОЕКТАХ ИТС

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(МАДИ)

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПРОЕКТАХ ИТС

Учебное пособие

Под редакцией д-ра техн. наук, проф. С.В. Жанказиева

Утверждено
в качестве учебного пособия
редсоветом МАДИ

МОСКВА
МАДИ
2016

УДК 004.8
ББК 32.81
И52

Авторы:

Жанказиев С.В., Воробьев А.И., Шадрин А.В., Гаврилюк М.В.

Рецензенты:

д-р техн. наук, проф., зав. каф. «Правовое и таможенное регулирование на транспорте» МАДИ *Ефименко Д.Б.*;
д-р техн. наук, проф., зав. каф. «Сервис и ремонт машин»
ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева» *Новиков А.Н.*

И52 Имитационное моделирование в проектах ИТС: учебное пособие / С.В. Жанказиев, А.И. Воробьев, А.В. Шадрин, М.В. Гаврилюк; под ред. д-ра техн. наук, проф. С.В. Жанказиева. – М.: МАДИ, 2016. – 92 с.

В учебном пособии описаны основные принципы имитационного моделирования, а также его цели и задачи. Приведено описание современных программ имитационного моделирования, даны примеры используемых математических моделей. Также рассмотрены практические примеры использования имитационного моделирования при проектировании и эксплуатации интеллектуальных транспортных систем.

Пособие предназначено для подготовки бакалавров и магистров по направлению подготовки «Технология транспортных процессов».

УДК 004.8
ББК 32.81

© МАДИ, 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

Перечень принятых сокращений	4
Введение	5
1. Программы имитационного моделирования	9
1.1. Программа имитационного моделирования «Aimsun»	9
1.1.1. Микро и Мезо имитатор Aimsun	10
1.1.2. Макро имитатор Aimsun	11
1.1.3. Планировщик Aimsun	11
1.2. Программа имитационного моделирования «PTV»	11
1.2.1. PTV VISUM	11
1.2.2. PTV VISSIM	16
1.3. Artery Lite	18
1.4. Transyt 7FR	20
1.5. DeskTran	21
2. Методы моделирования	24
2.1. Макроскопические модели транспортного потока	28
2.2. Микроскопические модели транспортного потока	30
2.3. Модель «Следование за лидером»	32
2.4. Сравнение моделей	33
3. Процесс имитационного моделирования	40
3.1. Этапы имитационного моделирования	40
3.2. Сбор исходных данных	42
4. Практическое применение имитационного моделирования при проектировании и эксплуатации ИТС	52
4.1. Создание базовой модели	56
4.2. Моделирование концентрации вредных веществ	64
4.2.1. Математическая модель движения воздуха и распространения вредных веществ в тоннеле	65
4.2.2. Расчет накопления вредных веществ	67
4.3. Разработка комплекса имитации движения участников дорожного движения	69
4.4. Зарубежный опыт использования моделирования и сбора данных при проектировании интеллектуальных транспортных систем	74
4.5. Пример создания имитационной модели	78
Список литературы	91

ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

- АСС УД – агрегатная система средств управления движением.
- АСУ – автоматизированная система управления.
- ДКС – дорожный контроллер светофорный.
- ДТП – дорожно-транспортное происшествие.
- ДУТП – директивное управление транспортными потоками.
- ИТ – индивидуальный транспорт.
- ИТС – интеллектуальная транспортная система.
- КДУ – контроллер дорожный универсальный.
- КМК – качественная матрица корреспонденции.
- КУТП – косвенное управление транспортными потоками.
- МК – матрица корреспонденции.
- МОП – матрица объектов притяжения.
- ОДД – организация дорожного движения.
- ОП – объект притяжения.
- ОТ – общественный транспорт.
- САПР – система автоматизированного проектирования.
- ТП – транспортный поток.
- ТС – транспортное средство.
- ТЭО – технико-экономическое обоснование.
- УДС – улично-дорожная сеть.

ВВЕДЕНИЕ

Современное общество нуждается в постоянном увеличении объема транспортного сообщения, повышении его надежности, безопасности и качества предоставления транспортных услуг. Это требует увеличения затрат на улучшение инфраструктуры транспортной сети, превращения ее в гибкую, высокоуправляемую логистическую систему. При этом риск инвестиций значительно возрастает, если не учитывать закономерности развития транспортной сети, распределение загрузки ее участков. Игнорирование этих закономерностей приводит к образованию транспортных заторов, перегрузке/недогрузке отдельных линий и узлов сети, повышению уровня аварийности, экологическому ущербу.

В настоящее время остро стоит проблема управления транспортными потоками, особенно в больших городах. Увеличение количества транспортных средств как личных, так и общественных, привело к перегруженности городских дорог, многочасовым пробкам, затруднению движения пешеходов, увеличению количества аварий и т.д.

Объектом управления в системе управления дорожным движением является транспортный поток, состоящий из технических средств (автомобилей, мотоциклов, автобусов и так далее). В то же время водители автомобилей ведут себя на дороге и реагируют на различные события по-разному, не всегда предсказуемо, что значительно усложняет анализ такой системы. Таким образом, дорожное движение представляет собой техносоциальную систему, что и определяет его специфику как объекта управления. Даже рассматривая только технические аспекты управления дорожным движением, необходимо иметь в виду, что этот объект весьма своеобразен и сложен с точки зрения управления его свойствами.

С точки зрения управления городские транспортные потоки обладают следующими особенностями:

- нестабильность и многообразие транспортного потока и, как следствие, практическая сложность получения основных характеристик, определяющих качество управления. Получение достоверной информации о транспортном потоке является сложным ресурсоемким элементом системы управления;

- неполная управляемость. Даже при наличии полной информации о потоках и возможности информирования водителей транспортных средств о необходимых действиях, эти требования носят рекомендательный характер;

- множественность критериев качества, таких как задержка в пути, средняя скорость движения, прогнозируемое число ДТП, объем вредных выбросов в атмосферу и т.д. Критерии качества управления дорожным движением зачастую противоречивы (например, обеспечение бесперебойности движения при одновременном введении ограничений на скорость и направление движения). Большинство характеристик взаимосвязаны, и рассматривать некую модель транспортного потока, опирающуюся на какую-то одну характеристику, было бы неверно.

В такой ситуации оптимальным выходом является моделирование, которое в той или иной степени адекватно отражает поведение транспортных потоков.

Имитационное моделирование используется в следующих целях:

- сбор, хранение, обобщение и обработка оперативной информации о параметрах транспортного потока, об условиях дорожного движения;

- анализ и прогноз изменений параметров транспортного потока с учетом дорожно-транспортной ситуации и дорожных условий;

- выявление ДТП и других инцидентов, оперативное реагирование на них;
- подготовка оперативных решений, выбор сценариев по управлению транспортными потоками;
- координированное управление транспортными потоками на основном и альтернативном направлении движения, въездах на платный участок, а также в зоне пункта взимания платы;
- информирование участников дорожного движения.

Задачи имитационного моделирования:

- оценка влияния типа пересечения дорог на пропускную способность;
- проектирование, тестирование и оценка влияния режима работы светофора на характер транспортного потока;
- анализ управления дорожным движением на автострадах, контроль за направлениями движения как на отдельных полосах, так и на всей проезжей части дороги;
- анализ пропускной способности больших транспортных сетей при динамическом перераспределении транспортных потоков;
- определение доступности перераспределения фонового движения;
- анализ возможности предоставления приоритета общественному транспорту и мероприятия, направленные на приоритетный пропуск трамваев;
- анализ влияния управления движением на ситуацию в транспортной сети (регулирование притока транспорта, проверка подъездов, организация одностороннего движения и полос для движения общественного транспорта);
- моделирование плановых дорожных работ и ввод в эксплуатацию новых участков дорог;

- оценка транспортной эффективности предложенных мероприятий;
- создание банка сценариев для реагирования при возникновении внезапных ситуаций;
- детальная имитация движения каждого участника движения;
- моделирование остановок общественного транспорта;
- расчет аналитических показателей, построение графиков показателей транспортного потока как на отдельной секции моделируемого участка, так и на всей сети в целом.

1. ПРОГРАММЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В настоящее время программы имитационного моделирования являются эффективным инструментом, который широко используется при проектировании интеллектуальных транспортных систем. Использование таких программ позволяет проводить в виртуальной среде масштабные эксперименты, которые было бы затруднительно проводить в реальных дорожных условиях.

Наиболее востребованные программы отечественных и зарубежных разработчиков представлены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Программы отечественных и зарубежных разработчиков

Продукт	Разработчик	Город/Страна
Отечественные разработки		
ПК ФП	Экономико-математический институт РАН, ЗАО «Петербургский НИПИГрад»	Санкт-Петербург
TRANSNET	Институт системного анализа РАН	Москва
ТРИО-СТП	ЗАО «НИПИ ТРТИ»	Санкт-Петербург
Зарубежные разработки		
PTV VISION	PTV AG	Германия
Aimsun	Transport Simulation Systems (TSS)	Испания
Paramics	Quadstone Paramics	Великобритания
EMME, Dynameq	INRO	Канада
CUBE	Citilabs	США
Transyt-7F	Center for Microcomputers in Transportation	США

1.1. Программа имитационного моделирования «Aimsun»

Aimsun 6.0 представляет собой полнофункциональный комплекс инструментов анализа транспортных потоков и перевозок. Это позволяет осуществлять планирование, детальное моделирование и исследования требований и условий деятельности в сфере транспорта.

Благодаря интегрированной платформе, Aimsun предоставляет возможности для выполнения не только статистического, но и динамического моделирования.

Продукт способен импортировать и обрабатывать данные от различных геоинформационных систем, включая ESRI, Tele Atlas, NAVTEQ и пр. Программа может считывать графическую информацию САПР и растровые изображения, что упрощает задачи редактирования и представления проектной документации. Продукт поддерживает форматы данных и иных приложений, в числе которых, например, EMME/2, CONTRAM, SATURN, TRANSYT-7F, TRANSYT/12, VS-PLUS. Система Aimsun 6.0 обеспечивает загрузку информации с датчиков (как хранимую в базах данных, так и получаемую в режиме реального времени) для целей моделирования, планирования или визуализации.

Aimsun 6.0 является расширяемой программной средой, архитектура которой допускает наличие неограниченного количества компонентов, реализованных TSS, сторонними разработчиками или самими пользователями. Пользователь обладает теми же полными возможностями программируемого доступа к инструментам Aimsun 6.0 и средствами их адаптации, что и создатели системы.

1.1.1. Микро и Мезо имитатор Aimsun

Aimsun Micro реализует принципы имитационного моделирования на микро-уровне, в процессе имитации непрерывно моделируется движение каждого автомобиля в пределах дорожной сети с учетом заданных поведенческих моделей. В процессе мезо-имитации автомобиль также трактуется как отдельный объект, однако поведенческие модели упрощены с незначительной потерей степени реализма, но с ориентацией на более адекватное воспроизведение событий, происходящих в моделируемом процессе.

1.1.2. Макро имитатор Aimsun

Aimsun Macro – это компонент Aimsun, решающий задачи транспортного планирования и анализа запросов. Macro спроектирован и реализован как помощь аналитику, применяющему на практике четырехступенчатую модель транспортного планирования. Основные функции приложения таковы: статическое распределение (назначение) трафика (одно- и многопользовательское), анализ запросов (включая импорт/экспорт матриц, манипуляции с матрицами, анализ местоположения детекторов и корректировку матриц) и генерация обходов.

1.1.3. Планировщик Aimsun

Реализует парадигму 4-уровневого планирования транспортных операций в контексте единой интегрированной среды. Осуществляет сбалансированное распределение пользовательских заданий, поддерживает анализ требований и взаимообмен сетевыми моделями и соответствующими данными о транспортном потоке с микро-имитатором. Упрощает совместное применение средств макро- и микроанализа (как, например, в задаче, связанной с детальной имитацией ограниченной подсети в составе более крупной сети стратегического характера).

1.2. Программа имитационного моделирования «PTV»

1.2.1. PTV VISUM

VISUM – это программное обеспечение, которое позволяет отображать все виды индивидуального и общественного транспорта в единой модели. Оно дополняется системой микроскопического моделирования транспортного движения VISSIM. Обе программы вместе образуют систему PTV VISION. С помощью VISUM можно управлять основными данными систем транспортной информации и пла-

нирования и обрабатывать их в сетевом редакторе. В отличие от простых ГИС-систем в VISUM есть возможность получать информацию о сложных взаимозависимостях в пределах одной или нескольких систем транспорта и, за счет этого, создавать оптимальную транспортную модель.

Транспортная модель состоит, как правило, из модели спроса на транспорт, модели сети, создаваемой на основе VISUM, и различных моделей воздействия (рис. 1.1).

Модель спроса на транспорт содержит данные о спросе на транспорт. Знание спроса на транспорт в той области, для которой осуществляется транспортное планирование, является незаменимой основой для оценки транспортных сетей. Определить матрицы корреспонденции на транспорт путем сбора данных можно лишь частично. Поэтому для отображения реальных соотношений спроса используются математические модели, которые рассчитывают транспортные потоки между районами области планирования на основе структурных данных и данных о том, как население пользуется транспортом, а также данных о пространственном расположении объектов инфраструктуры и о существующем транспортном предложении.

В VISUM интегрирована стандартная 4-ступенчатая модель, с помощью которой возможно создавать в программе матрицы корреспонденции.

Модель сети содержит данные транспортного предложения. Она состоит из транспортных районов (транспортных ячеек), узлов, остановок, отрезков автомобильных и рельсовых дорог улично-дорожной сети и из маршрутов ОТ с расписанием движения. В VISUM данные о транспортном предложении можно визуализировать и интерактивно обрабатывать различными способами.

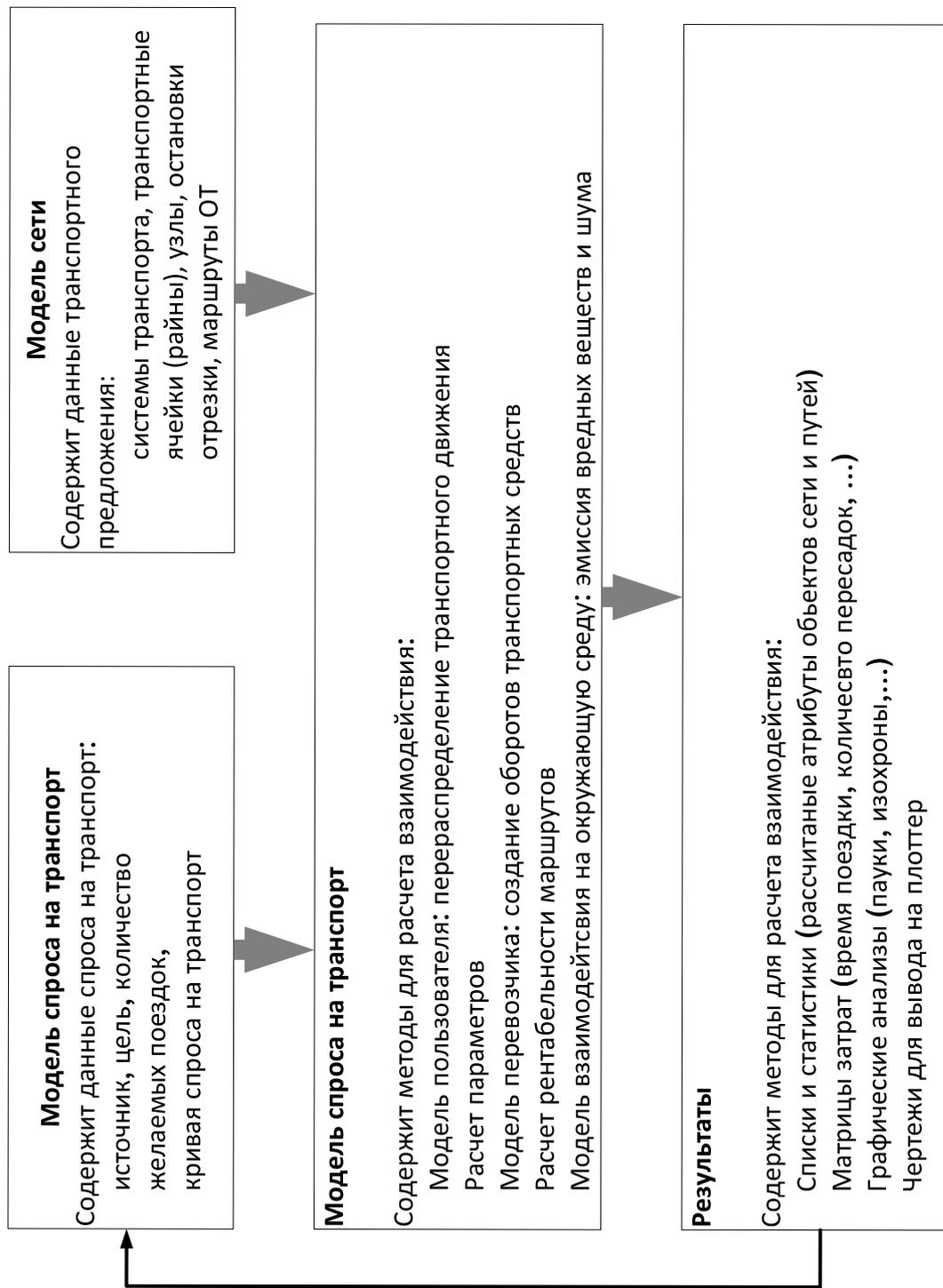


Рис. 1.1. Модель сети и модель воздействия VISUM

Данные модели сети и модели спроса на транспорт представляют собой исходные данные для моделей воздействия. VISUM предлагает на выбор различные модели воздействия для анализа и оценки транспортного предложения. Модель пользователя моделирует характер передвижения пассажиров и пары ТС–Водитель. При этом вычисляются показатели нагрузки и параметры, относящиеся к пользователю (например, время поездки или частота пересадок). Модель перевозчика рассчитывает эксплуатационные показатели ОТ, например, километры обслуживаемых поездок, количество единиц общественного транспорта, количество часов эксплуатации или эксплуатационные затраты. Исходя из данных спроса на транспорт, высчитывается выручка от продажи билетов, на ее основе делаются предположения о доходах от разных маршрутов, за счет этого производится оценка рентабельности маршрутов. Различные методы расчета доступны также в случае необходимости отображения влияния на окружающую среду моторизованного индивидуального транспорта.

VISUM отображает результаты расчета в графической и табличной форме. Так, например, существует возможность отобразить и проанализировать переплетения транспортных потоков, «пучки» потоков, изохроны и транспортные потоки в узлах. Такие параметры, как, например, время поездки, длина пешеходных путей, частота пересадок, частота обслуживания и многие другие выводятся в виде матриц затрат.

Как все модели, транспортная модель представляет собой абстракцию реального мира. Целью моделирования является системный анализ, прогнозы воздействий и модельная подготовка решений, которые принимаются в реальном мире.

VISUM – ведущее во всем мире программное обеспечение для проведения транспортного анализа и прогнозирования, а также управления данными на базе ГИС в сфере транспорта и перевозок.

VISUM представляет собой программу транспортного планирования, которая служит для анализа и планирования транспортных систем. При этом транспортная система охватывает транспортное предложение индивидуального и общественного транспорта, а также спрос на транспорт. VISUM поддерживает инженеров-планировщиков при разработке транспортно-технических мероприятий и рассчитывает воздействие этих мероприятий.

Возможности использования VISUM

VISUM рассчитывает воздействие существующего или спланированного транспортного предложения, которое может включать в себя как дорожную сеть индивидуального транспорта, так и маршрутную сеть с расписанием.

Возможности использования для задач планирования в области общественного транспорта:

- планирование и анализ маршрутных сетей;
- разработка и анализ расписаний;
- оценка потребности в водителях и в ТС;
- проведение анализа рентабельности;
- отображение (графически или в табличной форме) характеристик общественного транспорта (количество проданных билетов, подсчитанное количество входящих/ выходящих пассажиров, поток школьников для каждого района или остановки);
 - анализ и отображение количества пассажиров и других показателей с дифференциацией по системам транспорта, отрезкам, остановкам, маршрутам и перевозчикам;
 - создание графиков для презентаций с целью наглядного представления различных вариантов планирования;
 - расчет и прогнозирование показателей затрат и прибыли для отдельных областей и перевозчиков;

- производственные показатели для расчета рентабельности маршрутов;
- создание фрагментов сети с соответствующими матрицами корреспонденции.

Возможности использования для задач планирования в области индивидуального транспорта:

- анализ транспортных и строительных мероприятий с прогнозированием вытекающих из них транспортных нагрузок и их воздействий;
- прогнозирование воздействия платы за использование дорог;
- анализ пропускной способности в транспортных узлах;
- отдельное рассмотрение различных систем индивидуального транспорта;
- уравнивание матрицы корреспонденции с актуальными данными подсчетов;
- определение эмиссии шума и/или эмиссии вредных веществ;
- создание фрагментов сети с соответствующими матрицами корреспонденции.

1.2.2. PTV VISSIM

PTV VISSIM реализует принципы имитационного моделирования на микроуровне. Это означает, что в процессе имитации непрерывно моделируется движение каждого автомобиля в пределах дорожной сети с учетом заданных поведенческих моделей (в частности, моделей следования, смены полосы и т.д.)

VISSIM – это микроскопическая модель имитации движения транспорта, базирующаяся на шаге имитации и на поведении водителя для отображения внутригородского и пригородного транспорта, а также пешеходных потоков.

Сфера применения VISSIM

Наряду с индивидуальным транспортом может моделироваться также внутригородской и пригородный железнодорожный и автобусный общественный пассажирский транспорт. Движение транспорта имитируется для различных пограничных условий на основе разметки отрезков, состава транспортного потока, регулирования с помощью светосигнальных установок и учета транспортных средств ИТ и ОТ. Относительно транспортно-технических параметров могут быть оценены различные варианты. Соответствующим образом может моделироваться также движение пешеходов исключительно или в комбинации с ИТ и/или ОТ.

С помощью PTV VISSIM возможно осуществлять следующие работы:

- оценку влияния типа пересечения дорог на пропускную способность (нерегулируемый перекрёсток, регулируемый перекрёсток, круговое движение, ж/д переезд, развязка в разных уровнях);
- проектирование, тестирование и оценку влияния режима работы светофора на характер транспортного потока;
- оценку транспортной эффективности предложенных мероприятий;
- анализ управления дорожным движением на автострадах и городских улицах, контроль за направлениями движения как на отдельных полосах, так и на всей проезжей части дороги;
- анализ возможности предоставления приоритета общественному транспорту и мероприятий, направленных на приоритетный пропуск трамваев;
- анализ влияния управления движением на ситуацию в транспортной сети (регулирование притока транспорта, изменение расстояния между вынужденными остановками транспорта, проверка подъез-

дов, организация одностороннего движения и полос для движения общественного транспорта);

- анализ пропускной способности больших транспортных сетей (например, сети автомагистралей или городской улично-дорожной сети) при динамическом перераспределении транспортных потоков (это необходимо, например, при планировании перехватывающих парковок);

- анализ мер по регулированию движения в железнодорожном транспорте и при организации стоянок ожидания (например, таможенных пунктов);

- детальную имитацию движения каждого участника движения;

- моделирование остановок общественного транспорта и станций метрополитена, причём учитывая их взаимное влияние;

- расчет аналитических показателей (более 50 различных оценок и аналитических коэффициентов), построение графиков (в Microsoft Excel) временной загрузки сети и т.п.

1.3. Artery Lite

Программный комплекс ArteryLite (далее Артерия) предназначен для проведения расчетов режимов работы изолированных перекрестков и линейных дорожных сетей (групп перекрестков) с использованием данных, полученных как с детекторов транспорта, так и после проведения транспортного обследования.

Основные функциональные возможности:

- прием данных, измеренных детекторами транспорта, а также полученных при проведении транспортного обследования;

- создание и редактирование моделей перекрестков с использованием моделей специальной расчетно-оптимизационной программы Transyt-7F;

- расчет и корректировка временных таблиц на основании детекторных данных, с использованием различных алгоритмов;
- формирование файлов специального формата для загрузки в управляющие программы;
- расчет показателей технико-экономической эффективности работы транспортных пересечений;
- экспорт всех данных в табличный формат;
- построение графиков.

Для расчетов в Артерии создается модель. Модель Артерии основывается на описании топологии, выполненном в программной среде Transyt 7FR. Далее осуществляется пошаговое описание перекрестка: привязка детекторов транспорта, расчет потоков насыщения, описание фаз и выбор алгоритмов для последующих расчетов.

Следующим этапом работы в программном продукте Артерия, является расчет таблиц интенсивностей. Данный расчет производится с целью определения временных интервалов, на которых должны применяться различные режимы управления светофорным объектом. При этом пользователь может выбирать необходимые дни недели и задавать критерии для определения временных интервалов. После определения временных интервалов запускается непосредственный расчет планов управления. В программном продукте Артерия расчет производится по следующим алгоритмам:

- алгоритм Transyt, основанный на применении генетического алгоритма,
- алгоритм AGA, где длительности фаз определяется в зависимости от коэффициента нагруженности (занятости) направлений, имеющих движение в данной фазе. Длительность цикла и в этом случае определяется с помощью алгоритма Transyt,

- экспертный алгоритм, основанный на существующем плане управления перекрестком, из которого берется соотношение между длительностями фаз. Длительность цикла также определяется с помощью алгоритма Transyt.

В Артерии предусмотрена методика оценки рассчитанных планов и их сравнение с текущим. Для этого на каждом временном интервале рассчитываются показатели технико-экономической эффективности для всех вариантов планов. Показатели эффективности включают в себя: пробег, время пробега, задержки ТС, задержки пассажиров, количество остановок ТС, долю времени нахождения в пробке, объем потребления топлива, эксплуатационные расходы. Данные показатели рассчитываются как для новых планов управления, так и для существующих на перекрестке (текущих). Далее пользователь имеет возможность сравнить рассчитанные данные в табличном или графическом режимах. Для удобства анализа и оформления расчетов на каждом этапе работы в расчетном комплексе Артерия есть возможность произвести экспорт в табличный формат.

1.4. Transyt 7FR

Transyt-7FR (от TRAffic Network StudY Tool) разработан с целью оптимизации систем регулирования дорожного движения на магистралях и в транспортных сетях. Программа позволяет пользователю задавать временные планы и последовательности фаз, геометрические условия, эксплуатационные параметры и значения нагрузки.

Продукт Transyt-7FR применим на уровне магистралей и сетей, где имеет место согласованное множество явно определенных дорожных условий, и аппаратное обеспечение системы регулирования движения допускает возможность интеграции и координации с учетом фиксированной длительности цикла и общих значений параметров

временных смещений. Хотя программа способна имитировать функции полностью активных контроллеров, ее практическое применение ограничено указанной областью.

Transyt-7FR оптимизирует режимы работы светофорных объектов, выполняя макро моделирование транспортного потока в течение малых интервалов времени с учетом возможности варьирования параметров планов. Возможность обеспечения оптимизации таких целевых функций, как увеличение процента прибытия, уменьшение продолжительности задержек, количества остановок и объема потребления топлива (в любом возможном их сочетании), а также снижение общих эксплуатационных затрат создается за счет учета при расчете значений продолжительности цикла, смещений и разделений.

Среди уникальных возможностей Transyt-7FR следует назвать способность анализировать сдвоенные циклы, множественные фазы зеленого света, перекрытия, повороты направо на красный свет, нерегулируемые перекрестки, полосы для городского транспорта и привилегированные полосы, «узкие места», общие полосы, запрещенные и/или разрешенные повороты налево, ограничения пропускной способности, определяемые пользователем, и степень насыщения по направлениям движения при использовании полностью активной схемы управления. К другим сферам применения инструмента относятся оценка и имитация «сгруппированных перекрестков» (наподобие ромбовидных или близкорасположенных перекрестков, управляемых одним контроллером), а также перекрестков, регулируемых знаками.

1.5. DeskTran

DeskTran предназначен для автоматизированного управления светофорными объектами в городской среде. Целевой функцией DeskTran является реализация максимальной (расчетной) пропускной способности улично-дорожной сети города.

Основные функциональные возможности:

- дистанционное взаимодействие со светофорными контроллерами, динамическими информационными табло и детекторами транспорта с использованием проводных и GPRS технологий связи;
- создание моделей перекрестков, настройки их транспортных и географических параметров для последующего автоматического расчета режимов работы светофорных объектов (временных планов);
- расчет и создание временных планов для транспортной сети;
- загрузка временных планов в контроллеры. В стандартной реализации поддерживаются адаптивные контроллеры серии 170 (протокол Caltrans), а также контроллеры типа ДКС, КДУ и иные, использующие протокол АСС УД;
- ручная корректировка и переключение планов координации;
- автоматическое квазиадаптивное управление контроллерами в зависимости от транспортной ситуации (Traffic responsive mode).

Удобный интерфейс DeskTran разработан для управления по секторному принципу. Наличие иерархического дерева для выбора объекта, контекстного меню и масштабируемой карты с нанесенными на нее контроллерами и детекторами транспорта дает возможность оперативного поиска нужного объекта для управления.

Ручная корректировка временных планов включает в себя создание новых планов, изменение границ временных интервалов действия, разделение и объединение интервалов, дублирование, копирование, удаление, просмотр планов, редактирование фаз, процедуру отката (возврата к прошлому состоянию) расписаний. Раздел «Управление перекрестком» предусматривает добавление специальных фаз; изменение длительности или очередности фаз, удаление фазы из списка; переход в диспетчерский режим. Обеспечивается групповая активация планов координации с использованием зональных центров

управления. В режиме диспетчерского управления одним или группой перекрестков возможно наблюдение за текущей информацией о перекрестке, включение произвольной фазы, режима «мигающего желтого» и «выключение светофоров». Доступно переключение режима работы перекрестка на координированный режим.

Работа с DeskTran осуществляется через Интернет, при этом обеспечена многоуровневая система безопасности и ролевой доступ пользователей к системе. Программа использует новейшие технологии, обеспечивающие проверку временных планов на адекватность по установленным критериям, что исключает ошибки при загрузке на контроллер. Реализован режим управления контроллерами по данным реальной транспортной ситуации с учетом историко-статистических данных о транспортных запросах. DeskTran инвариантен к типу применяемого контроллера. Для пользователя различия в загрузке планов координации на различные типы контроллеров отсутствуют. Возможна модификация DeskTran обеспечением взаимодействия с любым типом контроллера, для которого известен протокол обмена информацией.

Инкорпорирование DeskTran такими программными продуктами, как StaTran, Transyt-7FR, Aimsun, дает возможность оперативного доступа к текущей информации транспортного мониторинга, статистической обработке данных и видеоизображений; расчету оптимальных режимов работы перекрестков с учетом геометрии, топологии и фазировки; загрузке, моделированию и визуализации транспортных процессов на контролируемой улично-дорожной сети.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Какие уровни имитации позволяет реализовывать программа Aimsun?
2. Какие уровни имитации позволяют реализовывать программы PTV?
3. Назовите особенности PTV VISUM и PTV VISSIM.
4. Какие основные возможности предоставляет программа Transyt 7FR?
5. Перечислите основные функциональные возможности DeskTran.

2. МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Модели транспортных потоков и программные продукты, их реализующие, можно классифицировать по типу решаемых задач в сфере транспортного анализа.

Задачи в масштабе городской агломерации

К этой группе можно отнести модели, которые позволяют определить следующее:

- последствия, которые могут возникнуть после изменений во внешних транспортных связях;
- изменения в работе транспортной системы при введении новых элементов сети;
- варианты изменений в транспортной системе города, которые будут востребованы при строительстве нового жилого района или расположение центра притяжения посетителей;
- возможное перераспределение потоков транспорта и пассажиров, которое следует ожидать в случае временного закрытия или ликвидации какого-либо элемента транспортной системы.

Среди математических моделей и программных комплексов, их реализующих, можно выделить следующие группы:

- предварительное планирование. Эта модель позволит проводить предварительную, упрощенную оценку проектов без подробного инженерного анализа. В основном, эта модель применяется для подготовки предварительного бюджета проектов;
- прогнозные модели транспортного спроса. Данные математические модели позволяют прогнозировать состояние транспортного потока на основании данных о текущих параметрах. Однако эти модели слабо учитывают динамическую структуру транспортного потока;
- макроскопическое имитационное моделирование. В данном случае моделирование устанавливает функциональные зависимости

между отдельными показателями потока, например, скоростью и дистанцией между автомобилями в потоке. Динамические макроскопические модели описывают процесс изменения транспортного потока во времени и пространстве с помощью дифференциальных уравнений, решение которых может быть получено аналитически или с помощью моделирования;

- мезоскопическое моделирование. В этом случае, так же, как и при макроскопическом моделировании, могут быть получены характеристики транспортного потока (скорость, плотность, задержки). Результат получается более точным, в силу того, что мезоскопические модели рассматривают единичные транспортные средства и описывают их движение и взаимодействие на основании статистических зависимостей.

Задачи локального порядка

К данной группе относят модели, которые позволяют определить последствия перепланировки перекрестка или группы перекрестков; расширение проезжей части улицы, изменение в организации движения на пересечениях, изменение параметров светофорного регулирования.

Здесь можно выделить следующие группы моделей:

- оптимизация параметров светофорного регулирования;
- микроскопическое имитационное моделирование. В данном случае детально имитируется движение транспортных средств с целью установления показателей эффективности функционирования локального участка сети. Обычно имитационная модель базируется на статистическом распределении интервалов между транспортными средствами. При микроскопическом имитационном моделировании накладывается большое количество требований к производительности компьютера, возможны ограничения на размер сети, количество запусков имитаций;

- мезоскопическое моделирование. В силу того, что исходные данные для мезоскопических моделей достаточно детально характеризуют поведение транспортных средств на локальных участках сети, с их помощью также возможно решать задачи оптимизации функционирования перекрестков, «узких» мест и т.д.

Модели транспортных потоков могут классифицироваться не только по типу решаемых задач, но и по другим критериям. Наиболее популярной является классификация по уровню детализации транспортного потока. В настоящее время выделяют четыре уровня детализации транспортной модели:

- макроскопические модели;
- мезоскопические модели;
- микроскопические модели;
- суб-микроскопические модели.

Макромоделирование описывает движение транспортных средств как физического потока на высоком уровне агрегирования (изучаются характеристики потока – плотность, средняя скорость, интенсивность) без учета его составных частей (транспортных средств). Динамические макроскопические модели описывают процесс изменения транспортного потока во времени и пространстве с помощью дифференциальных уравнений, для составления которых применяют законы гидродинамики – по аналогии с жидкостью (или газом) в трубе. Уравнения описывают изменения определенного параметра, характеризующего транспортный поток (например, плотность потока автомобилей, средняя скорость движения автомобилей, пропускная способность дорожного участка). Решение уравнений может быть получено аналитически или с помощью моделирования. Аналитические методы применяют при оценке небольшого дорожного участка, а для крупной дорожной сети обязательно используют моделирование.

Микромоделирование в деталях описывает поведение и взаимодействие отдельных автомобилей, создающих транспортный поток. В микромоделировании каждый автомобиль задается индивидуально, описывается взаимодействие автомобилей друг с другом и дорожной сетью. Как правило, характер поведения автомобиля описывается с помощью правил, которые определяют, когда автомобиль ускоряется, замедляет скорость, перестраивается в другой ряд, а также когда и как автомобиль выбирает и меняет свой маршрут следования.

Суб-микроскопические модели, так же, как и микроскопические модели, детально описывают характеристики транспортного средства. Однако кроме этого в моделях учитывается функционирование отдельных частей транспортного средства. Кроме привычных для микроскопических моделей исходных данных, требуются и дополнительные. Например, вид топлива, используемого автомобилем; вид двигателя; использование навигационных систем и т.д. Большинство этих дополнительных параметров используются для расчетов специфических исходящих данных модели, например, для оценки влияния транспортного средства на окружающую среду.

Мезоскопические модели находятся на среднем уровне детализации. Они описывают автомобили на высоком уровне детализации (как в микроскопическом моделировании), а их поведение и взаимодействие – на низком уровне (как в макро-моделировании). Мезомоделирование позволяет моделировать дорожную сеть и движение автомобилей почти с таким же уровнем детализации, как и микро-моделирование. Мезоскопическое моделирование применяется там, где использование микроскопических моделей желательно, но невозможно из-за большого размера транспортной сети или ограниченности ресурсов, которые требуются на создание и отладку сети.

2.1. Макроскопические модели транспортного потока

В макроскопических моделях движение транспортного средства уподобляется какому-либо физическому потоку (потоку жидкости или газа). Среди гидродинамических моделей различают модели с учетом и без учета эффекта инерции. Модели без эффекта инерции могут быть получены из уравнений неразрывности, при условии, что скорость рассматривается как функция плотности. Модели с учетом инерции представляются уравнениями Навье-Стокса, позволяющими описывать стремление водителей ехать с комфортной скоростью.

Наиболее распространенной макроскопической моделью является линейная зависимость.

Линейная зависимость между плотностью потока и его скоростью впервые была предложена Гриншилдсом. Данная зависимость выражается следующим уравнением:

$$v = v_0 \left(1 - \frac{k}{k_j}\right) \text{ и } I = v_0 k \left(1 - \frac{k}{k_j}\right),$$

где k – плотность потока, k_j – максимальная (заторовая) плотность потока, v – скорость потока, v_0 – скорость свободного движения, I – интенсивность движения.

Впоследствии эта модель была доработана Ричардсом:

$$v = \frac{4I_c}{k_j} \left(1 - \frac{k}{k_j}\right) \text{ и } I = \frac{4I_c}{k_j^2} k \left(1 - \frac{k}{k_j}\right).$$

Надо отметить, что при высоких значениях скорости свободного движения применение модели Гриншильдса для определения пропускной способности приводит к завышенным результатам. Степень соответствия расчетных и экспериментальных данных в модели Ричардса, как и в модели Гриншильдса, повышается при снижении скорости свободного движения.

Логарифмический тип зависимости имеют макромоделли Гринберга и Эл-Хозаини.

Модель Гринберга задается следующими уравнениями:

$$v = v_0 \ln \left(\frac{k_j}{k} \right) \text{ и } I = kv_0 \ln \left(\frac{k_j}{k} \right).$$

Недостатком модели является то, что расчетные значения скорости превышают скорость свободного движения (то есть максимально возможную скорость на участке) при плотности, стремящейся к нулю.

Модель Эл-Хозаини имеет вид:

$$v = v_0 \sqrt{2 \ln \left(\frac{k_j}{k} \right)} \text{ и } I = kv_0 \sqrt{2 \ln \left(\frac{k_j}{k} \right)}.$$

Она дает достоверные результаты при высокой плотности и скорости транспортного потока менее 17 км/ч.

В макромоделлях, основанных на *экспоненциальной зависимости* между скоростью и плотностью при высокой плотности движения ($k > 0,75k_j$) расчетные значения интенсивности превышают фактические:

$$I = v_0 k \exp \left(-\frac{k}{k_j} \right)$$

– модель Андервуда.

Степенные модели Пайпса и Д. Дрю позволяют за счет коэффициента пропорциональности λ трансформировать форму зависимости между плотностью и скоростью, приспособиваясь к конкретным экспериментальным данным.

Типичными исходными данными для макроскопических моделей являются следующие параметры: транспортная инфраструктура, множество дуг и узлов сети, свободная скорость на каждом участке сети, допустимые направления движения для всех узлов транспортной сети, функция транспортных задержек для всех дуг и узлов сети,

матрица корреспонденции. На выходе макроскопические модели выдают, как правило, следующие данные: время свободного движения из одной точки сети в другую; время движения из одной точки транспортной сети в другую в случае загруженной УДС; среднюю скорость движения для каждого участка сети; уровень загрузки дуг сети; интенсивность движения на дугах сети; графическую интерпретацию результатов расчетов.

Моделирование на макроуровне обычно имеет следующие недостатки:

- полученные результаты являются обобщенными характеристиками, недостаточно точными;
- результаты являются статическими;
- для определения исходных данных должны проводиться дополнительные исследования, выходящие за рамки модели.

2.2. Микроскопические модели транспортного потока

При микромоделировании модель каждого автомобиля задается индивидуально, описывается взаимодействие автомобилей друг с другом и с дорожной сетью.

Как правило, характер поведения автомобиля описывается с помощью правил, которые определяют, когда автомобиль ускоряется, замедляет скорость, перестраивается в другой ряд, а также когда и как автомобиль выбирает и меняет свой маршрут следования.

Модель выбора маршрута описывает механизм определения оптимального маршрута исходя из места пребывания и места назначения, а также правила реагирования на изменяющуюся ситуацию на дороге во время следования по пути. Программа микромоделирования AIMSUN имитирует поведение каждого автомобиля в потоке по всем вышеперечисленным моделям поведения.

Существует два основных подхода в микромоделировании. Задача первого подхода – моделировать движение автомобилей в заданной транспортной сети, при этом на каждом перекрестке в процентах задается количество автомобилей, которые повернут направо, налево или проедут прямо. То есть для отдельного транспортного средства не задается пункт назначения и задается только вероятность поворота его в ту или иную сторону на перекрестке. Другой подход заключается в том, что транспортная сеть делится на районы и устанавливается определенное количество автомобилей, которые переезжают из одного района города в другой, такие передвижения называют межрайонной корреспонденцией. На основе собранных данных составляют матрица корреспонденции. В англоязычной литературе принято название OD-matrix (Origin/Destination matrix). Так как реальная дорожная ситуация меняется с течением времени, создают несколько матриц для разных периодов времени. Оба этих подхода реализованы в AIMSUN.

Если провести обобщение микроскопических моделей, то основными исходными данными для их функционирования являются: количество полос для движения, ширина полос для движения, структура транспортного потока, интенсивность транспортных потоков или матрица межрайонных корреспонденции, допустимая скорость движения, приоритетные направления движения, параметры светофорного регулирования. В результате работы микроскопических моделей, как правило, получают следующие выходные данные: длину очереди, задержки транспортных средств, уровень обслуживания, среднюю скорость, максимальную или минимальную скорость, время движения, анимационное изображение локального участка сети.

В качестве плюса микромоделей можно назвать возможность получения оценок с высокой точностью. Однако скрупулезная детали-

зация в микромоделях влечет за собой следующие недостатки, которые можно охарактеризовать следующим образом:

- большие затраты временных, трудовых и материальных ресурсов для сбора исходных данных;
- для получения надежных результатов требуется большое количество прогонов имитационной модели;
- необходимость калибровки параметров. В настоящий момент существует ряд статистических процедур, которые могут быть использованы для оценки качества модели, однако отсутствуют стандарты определения необходимости калибровки модели;
- высокая чувствительность модели к ошибкам в исходных данных.

2.3. Модель «Следование за лидером»

Модели следования за лидером, например, эмпирическая модель Джиппса позволяет учитывать такие локальные факторы, как, например, «квалификация» водителя (выполнение или невыполнение водителем предписаний), геометрия секции (условия движения в пределах секции).

Модель включает в себя два компонента, которые описывают ускорение и торможение. Компонент, описывающий ускорение, представляет намерение транспортного средства достичь более высокой скорости. Компонент, описывающий торможение, воспроизводит ограничения впереди идущего транспортного средства, движущегося со скоростью ниже, чем желаемая скорость для последующего автомобиля.

Модель устанавливает максимальную скорость, которую автомобиль n способен набрать за период времени $(t, t + T)$

$$V_a(n, t + T) = V(n, t) + 2,5a(n)T \left(1 - \frac{V(n, t)}{V^*(n)} \right) \sqrt{0,025 + \frac{V(n, t)}{V^*(n)}},$$

где $V(n, t)$ скорость автомобиля n в момент времени t ; $a(n)$ – максимальное ускорение автомобиля n ; T – время реакции.

С другой стороны, максимум скорости, который тот же автомобиль n способен достичь в продолжение интервала $(t, t + T)$, исходя из собственных характеристик и ограничений при наличии ведущего автомобиля $(n - 1)$, равен

$$V_b(n, t + T) = d(n)T + \sqrt{d(n)^2 T^2 - d(n) \left\{ 2[x(n-1, t) - s(n-1) - x(n, t)] - V(n, t)T - \frac{V(n-1, t)^2}{d'(n-1)} \right\}},$$

где $d(n)$ – максимальное (со знаком минус) торможение автомобиля n ; $x(n, t)$ – позиция автомобиля n в момент времени t ; $x(n-1, t)$ – позиция ведущего автомобиля $(n-1)$ в момент времени t ; $s(n-1)$ – эффективная длина автомобиля $n-1$; $d'(n-1)$ – оценка значения торможения автомобиля $n-1$.

В любом случае итоговая величина скорости автомобиля n на интервале $(t, t + T)$ определяется как минимум из приведенных выше значений:

$$V(n, t + T) = \min\{V_a(n, t + T), V_b(n, t + T)\}.$$

Тогда позиция автомобиля n на текущей полосе обновляется с учетом этой скорости в контексте уравнения движения

$$x(n, t + T) = x(n, t) + V(n, t + T)T.$$

2.4. Сравнение моделей

Неоднократно делались попытки сравнительной оценки точности воспроизведения реальных режимов движения в связке лидер-

ведомый различными программами моделирования. Наиболее известной из них является оценка результатов моделирования на основе данных о реальных режимах движения, полученных исследовательской группой *Bosch*. Экспериментальные данные были получены в условиях движения на городских магистралях в г. Штутгарте (Германия). При движении записывались скорость, ускорение лидирующего и ведомого автомобилей и дистанция между автомобилями. На рис. 2.1 и 2.2. приведены графики зависимости параметров движения в этом эксперименте.

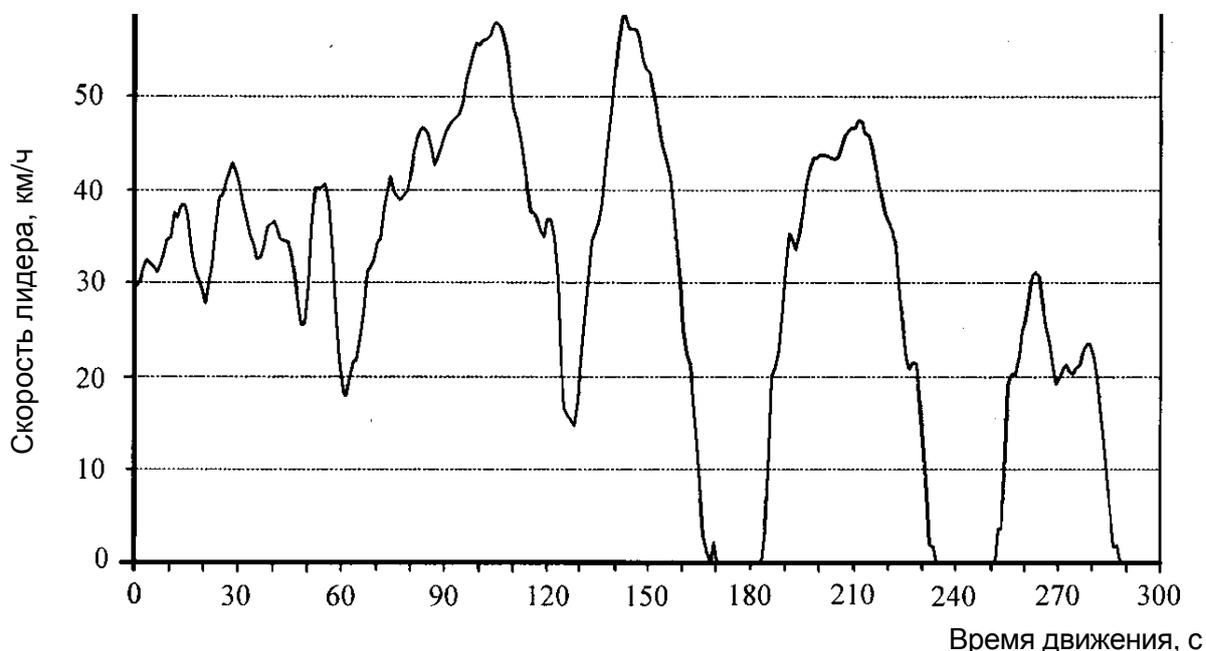


Рис. 2.1. Изменение скорости движения лидера

Анализ изменения скорости движения лидера показывает, что движение осуществляется в сложных условиях на городской улице при небольшой скорости движения, но с высокой неравномерностью движения и тремя остановками. Можно сказать, что выбранный профиль движения полностью соответствует задаче тестирования поведения моделей, поскольку есть два главных ситуационных условия для проверки адекватности моделей – резкие изменения скорости и торможение до полной остановки.

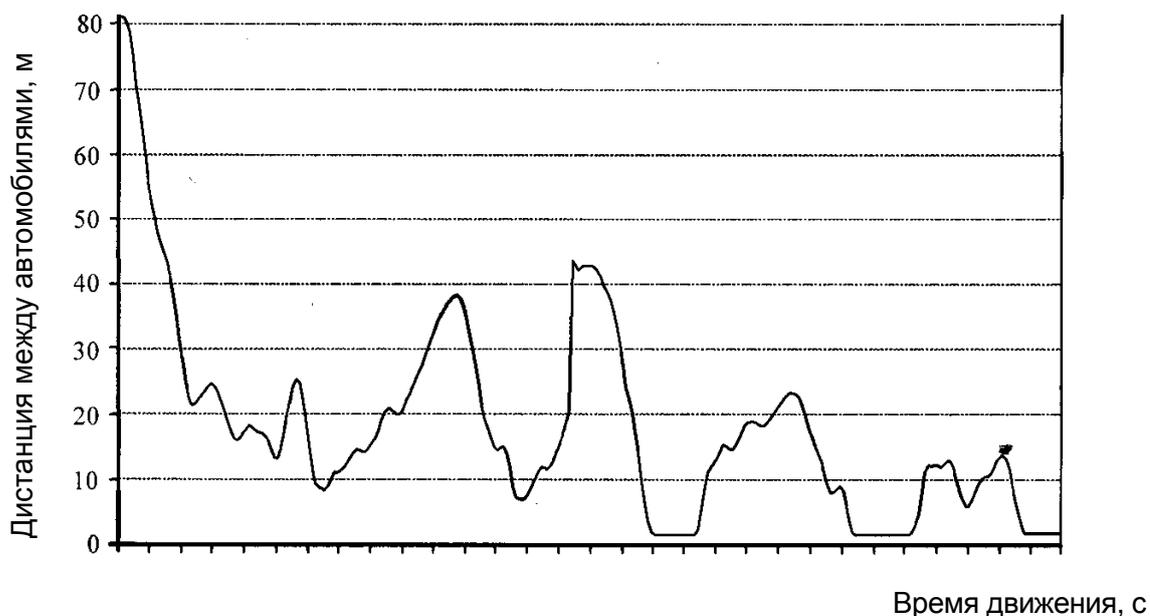


Рис. 2.2. Изменение дистанции между автомобилями

Достаточно высокий уровень относительной скорости между лидером и ведомым автомобилем и изменение дистанции в широком диапазоне показывают, что существует возможность проверить все возможные ситуации и пороговые значения для психофизиологических моделей следования за лидером.

Результаты этого эксперимента были использованы для сравнительной оценки некоторых интегрированных пакетов моделирования, которые основаны на моделях следования за лидером. Это следующие программы моделирования:

- модель MITSIM, разработанная в Массачусетском технологическом институте. Модель базируется на типе модели следования за лидером Р. Хермана;
- модель PELOPS, разработанная в техническом университете Аахена, основана на модели следования за лидером Р. Вейдемана;
- модель VISSIM, которая также использует модель следования за лидером Р. Вейдемана;
- модель NSM Нагеля-Шекенберга основана на гипотезе сотовых автоматов;

- модель OVM оптимальной скорости, разработанная М. Бандо, основанная на допущениях, что водители выбирают режим движения в соответствии с разницей между скоростью в данный момент времени и оптимальной скоростью при движении на соответствующей дистанции;
- T³ модель, основанная на выборе ускорения или замедления ведомого автомобиля по регрессионным моделям;
- модель AIMSUN, которая основана на модели следования за лидером П. Джиппса.

В качестве критерия для сравнения соответствия расчетных параметров моделирования экспериментальным данным использовалась взвешенная логарифмическая ошибка при выборе дистанции, а для того, чтобы устранить влияние больших отклонений эта ошибка определялась по следующей формуле

$$EM = \sqrt{\sum \left[\log \frac{d_s}{d_f} \right]^2},$$

где d_f – мгновенная дистанция между лидером и ведомым автомобилем зафиксированная в эксперименте; d_s – мгновенная дистанция между лидером и ведомым автомобилем, полученная расчетным путем по каждой из моделей.

В табл. 2.1 содержатся сравнительные результаты оценки отклонения результатов моделирования от экспериментальных данных, приведенные в анализируемых работах.

Таблица 2.1

Сравнительные данные оценки отклонений расчетной дистанции от реальной для различных моделей

Значение ошибки EM	Наименование модели						
	MITSIM	PELOPS	VISSIM	NSM	OVM	T ³	AIMSUN
	3,75	14,01	10,67	24,51	9,37	2,4	3,47

Более точные сравнительные исследования, которые обеспечили полную идентичность входных данных, были позднее проведены для трех программ моделирования AIMSUN, VISSIM и PARAMICS (табл. 2.2). Для каждой программы также использовались данные, полученные исследовательской группой Bosch в реальных условиях. Для оценки результатов использовались два статистических критерия – среднеквадратическая ошибка RMSE, которая рассчитывается по следующей формуле:

$$RMSE = \sqrt{\sum_{n=1}^N \left(\frac{d_s}{d_f}\right)^2}$$

и взвешенная логарифмическая оценка EM для реальной и моделируемой дистанции между лидером и ведомым автомобилем.

Таблица 2.2

Точность моделирования некоторых программ

Наименование критерия	Наименование программы моделирования			
	AIMSUN	VISSIM		PARAMICS
EM	2,55	4,78	4,50	4,68
RMSE	4,99	5,72	5,05	10,43

Следует отметить, что эти результаты соответствуют тому моменту времени, когда они были получены. Более поздних сравнительных данных не приводилось.

Рекомендации по применению программно-моделирующих комплексов при управлении транспортными потоками в условиях интеллектуальных транспортных систем.

В настоящее время в мире сформировался круг современных программно-моделирующих комплексов в сфере управления дорожным движением в условиях интеллектуальных транспортных систем.

Хотя все эти программно-моделирующие комплексы разработаны за рубежом и нет отечественных разработок, тем не менее, необходимо тщательно оценить необходимость разработки собственных программно-моделирующих комплексов, поскольку решение проблемы достоверности, надежности и устойчивости таких сложных комплексов и, главное, практическая апробация потребуют значительного времени и ресурсного обеспечения.

Для выполнения функций интеллектуальных транспортных систем в дорожном движении следует в первую очередь обращать внимание на те программно-моделирующие комплексы, которые позволяют функционировать в режиме реального времени и прошли проверку в реальных системах управления.

Признаком современных программно-моделирующих комплексов является возможность интеграции моделирования на основе различных подходов – макро, мезо и микроуровнях.

Для повышения доверия к моделям, входящим в эти комплексы, необходимо анализировать микромодели движения автомобилей, включенные в эти комплексы. Некоторые программно-моделирующие комплексы представляют свои микромодели как «черный ящик». Очевидно, что предпочтение должны иметь те программно-моделирующие комплексы, которые дают полное описание моделей.

Практически на каждом объекте моделирования и управления возникают оригинальные задачи, которые не входят в стандартные программно-моделирующие комплексы. Поэтому должен быть сделан выбор в пользу программно-моделирующих комплексов, которые имеют удобный программный интерфейс для создания собственных подпрограмм в соответствии с требуемыми функциями и включения этих подпрограмм в стандартный пакет для совместной работы.

Желательно, чтобы программно-моделирующий комплекс имел интерфейс связи с другими программно-моделирующими комплексами, поскольку практически невозможно иметь в одном пакете абсолютно все функции для моделирования интеллектуальных транспортных систем.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Перечислите основные недостатки макро моделирования.
2. Какая основная особенность задания движения автомобиля при микро моделировании?
3. В чем преимущества использования модели следования за лидером?
4. Какие программно-моделирующие комплексы являются наиболее эффективными для использования?

3. ПРОЦЕСС ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

3.1. Этапы имитационного моделирования

Использование имитационной модели является практически незаменимым инструментом при тестировании и сопоставлении альтернативных проектных решений. Данный метод позволяет проводить эксперименты не с физической системой, а с компьютерной моделью, являющейся ее аналогом. При принятии решений на результаты компьютерных экспериментов можно опираться как на количественный базис. Имитационная модель может трактоваться как компьютерная лаборатория, с помощью которой можно проводить эксперименты и выносить суждения, справедливые по отношению к моделируемой системе. Кроме того, имитация может рассматриваться как средство получения с помощью модели выборок данных о параметрах реальной системы. Таким образом, изменения модели системы соответствует развитию самой системы, что позволяет, применяя технологии статистического анализа, на основании необходимых выборок значений переменных делать заключения о поведении системы. Схематически данное утверждение проиллюстрировано (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Экспериментальная природа имитационного моделирования

От сформированной имитационной модели зависит надежность принятия решений. Необходимо, чтобы модель отображала поведение имитируемой системы с высокой точностью. Выполнение этого

условия позволит в ходе экспериментов использовать модель в качестве замены реальной системы.

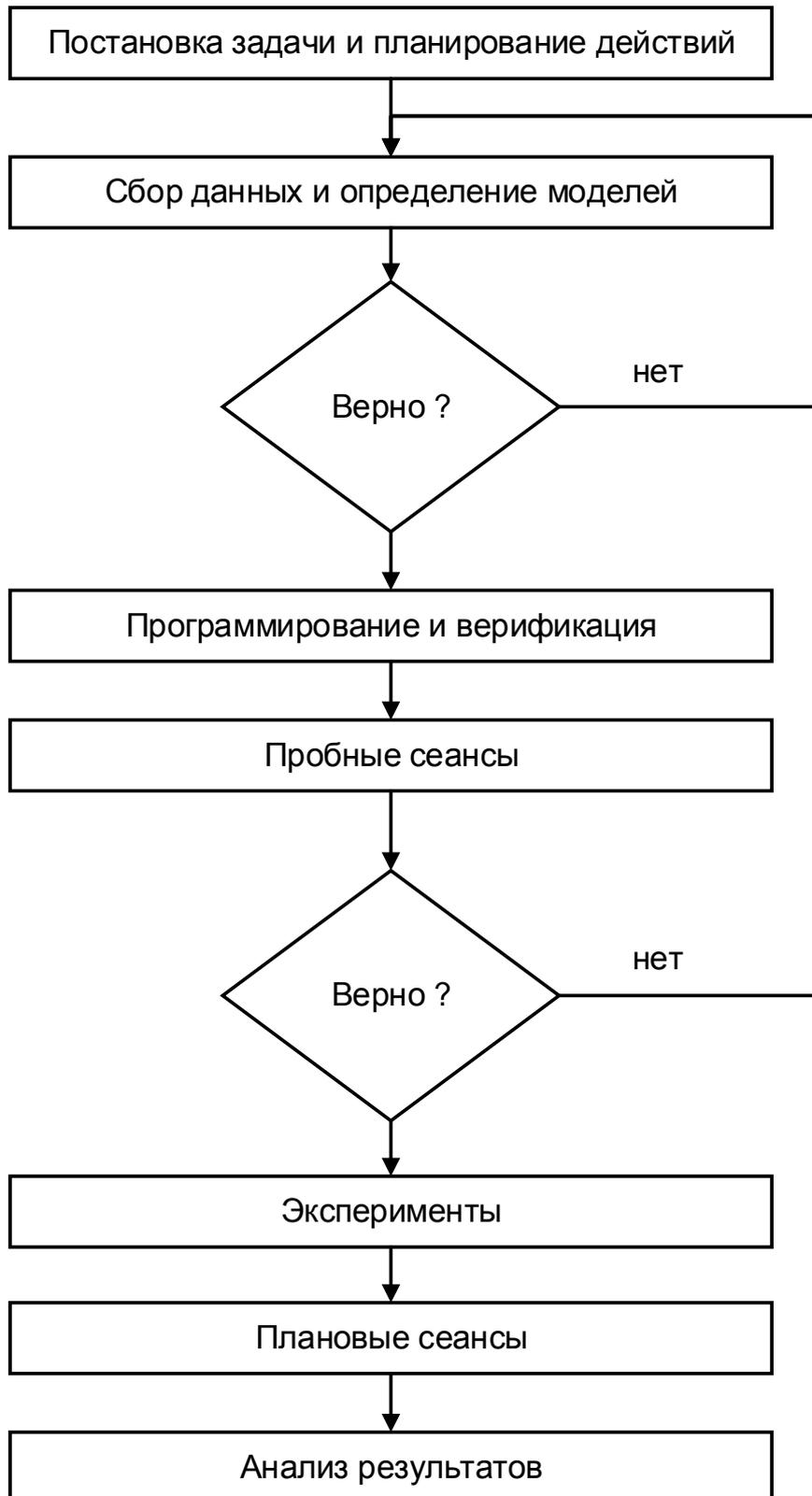


Рис. 3.2. Процесс имитационного моделирования

Степень точности модели, как правило, осуществляется в ходе ее аттестации. Процесс аттестации включает в себя калибровку параметров модели и сравнение их с характеристиками реальной системы. Понимание различий между полученными параметрами позволяет улучшать модель до приемлемой точности. Обобщенная диаграмма процесса имитационного моделирования изображена на рис. 3.2.

Процесс имитационного моделирования состоит из следующих этапов:

- формулирование проблемы и планирование операций. Данный этап заключается в распознавании природы задачи и определении требований к отысканию ее решения;
- сбор исходных данных и формирование модели. На этом этапе получают эмпирические свидетельства о характеристиках поведения системы, выдвигают гипотезы и преобразуют их в терминах соответствующего формального представления;
 - контроль адекватности модели;
 - трансляция модели в форму компьютерной программы;
 - проверка функционирования компьютерной модели;
 - выработка проектных решений по преобразованию гипотез в формат вычислительных экспериментов;
- проведение имитационных компьютерных экспериментов и анализ результатов.

3.2. Сбор исходных данных

При формировании исходных данных необходимо проводить следующие работы:

Этап №1. Сбор предварительных данных

Сбор предварительной информации необходим для первичного определения границы участка сети дорог. Данный шаг позволит опре-

делить границы сбора информации первого этапа, если в техническом задании таковые не будут предусмотрены (рис. 3.3).

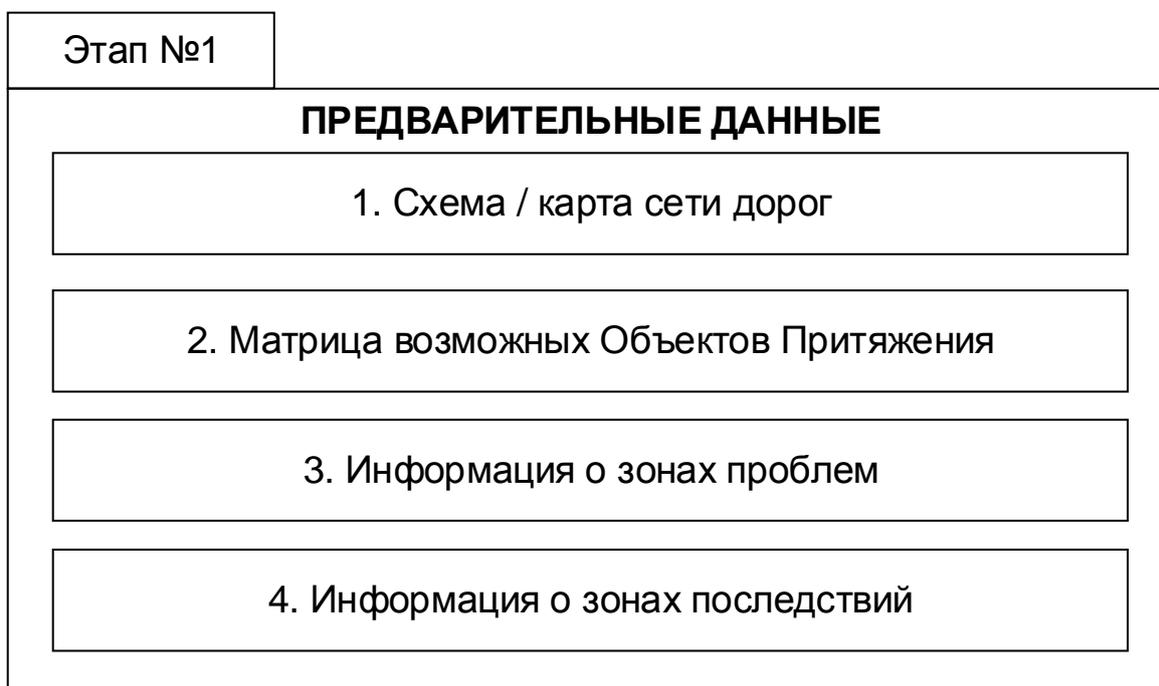


Рис. 3.3. Этап сбора предварительных данных

Для выполнения данной работы потребуется следующая информация:

- карта/схема сети дорог;
- матрица возможных ОП;
- информация о зонах проблем:
 - 1) месторасположение;
 - 2) актуальный интервал времени;
 - 3) направление ТП, движение которых затруднено.
- информация о зонах последствий:
 - 1) протяженность;
 - 2) актуальный интервал времени.

Если же границы участка сети дорог заданы в техническом задании, то данную информацию необходимо будет собирать в рамках первого этапа.

мую статистическую информацию, сбор которой либо невозможен, либо займет слишком много времени (рис. 3.5).

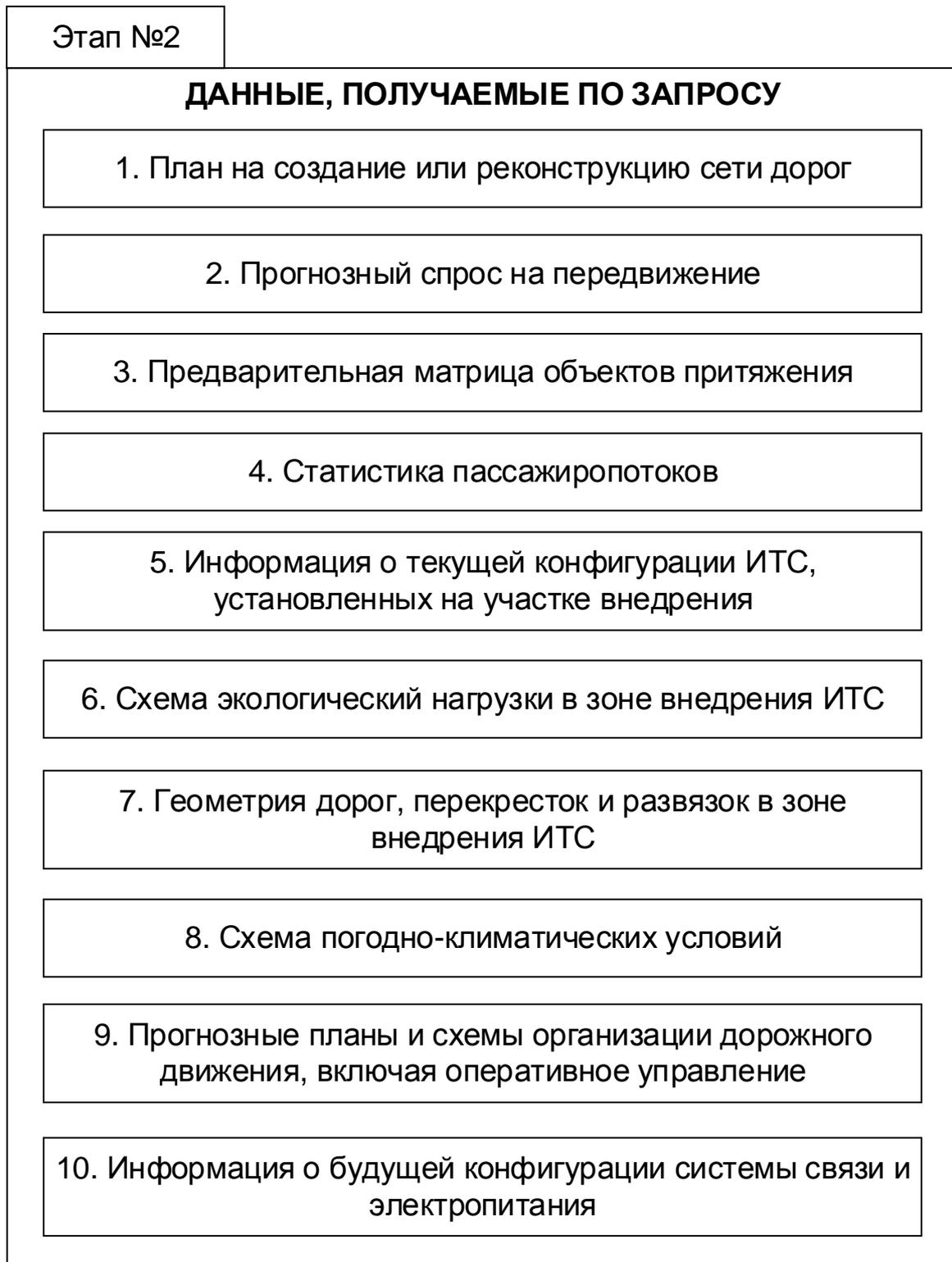


Рис. 3.5. Этап получения данных, получаемые по запросу

Последовательность сбора данных на данном этапе не принципиальна.

Если по каким-либо причинам не удалось получить с помощью запроса некоторые данные, то необходимо организовать сбор недостающих данных с помощью замеров и анализа насколько это представляется возможным. Только после полного сбора данных следует приступать к определению причин возникновения проблемы.

Этап №3. Определение причин возникновения проблемы, определение ограничений и окончательной границы рассматриваемого участка сети дорог

Определение причин допускается проводить экспертным методом на основе данных, полученных на этапе сбора данных по запросу. Причиной проблемы может быть один из следующих факторов, либо их совокупность:

- некорректная организация дорожного движения;
- систематические ДТП на определенном участке дороги, пересечении дорог;
- геометрия дороги;
- недостаточная пропускная способность дорог;
- погодные условия, систематически появляющиеся на определенных участках дорог.

Данная операция проводится если изначально в техническом задании не указаны границы рассматриваемого участка сети дорог, либо имеется возможность их изменить. Необходимо предусмотреть расширение рассматриваемого участка сети дорог, в следующих случаях:

- зона последствий выходит за рамки рассматриваемой сети дорог (пример: затор на дороге начинается еще до границ рассматриваемого участка). При этом границы рассматриваемого участка необ-

ходимо расширять до ближайшего населенного пункта, находящегося перед затором или за один километр до его начала;

- существуют альтернативные маршруты движения ТС, у которых хотя бы один съезд располагается вне границ рассматриваемого участка сети дорог. При этом границы рассматриваемого участка необходимо расширять в пределах 500 метров до съезда на альтернативный маршрут, и 100 метров после съезда с него на рассматриваемую федеральную дорогу;

- возможная причина проблемы находится за пределами рассматриваемого участка сети дорог. При этом границы рассматриваемого участка необходимо расширять как минимум до месторасположения самой причины проблемы.

Кроме расширения рассматриваемого участка сети дорог также допускается уменьшить границы рассматриваемой сети дорог, если зона последствий, причина проблемы и альтернативные маршруты движения находятся на значительном удалении вглубь от границ рассматриваемого участка.

Этап № 4. Сбор данных, получаемых с помощью замеров и анализа

На данном этапе исполнителем проводится сбор данных с помощью дополнительных замеров непосредственно на самом рассматриваемом участке сети дорог, а также анализируются данные, полученные ранее по запросу (рис. 3.6).

Перечисленные данные необходимо собирать строго в указанной последовательности, так как каждый последующий пункт так или иначе опирается на предыдущие данные. Если сеть дорог имеет достаточно простое строение (прямолинейный участок со съездами на незначительные дороги, максимум одна крупная развязка), то допустимо использование обычной МК вместо КМК.

Часть собранной информации используется после проведения сбора информации, часть из нее понадобится для создания базовой модели рассматриваемого участка сети дорог в программах имитационного моделирования.

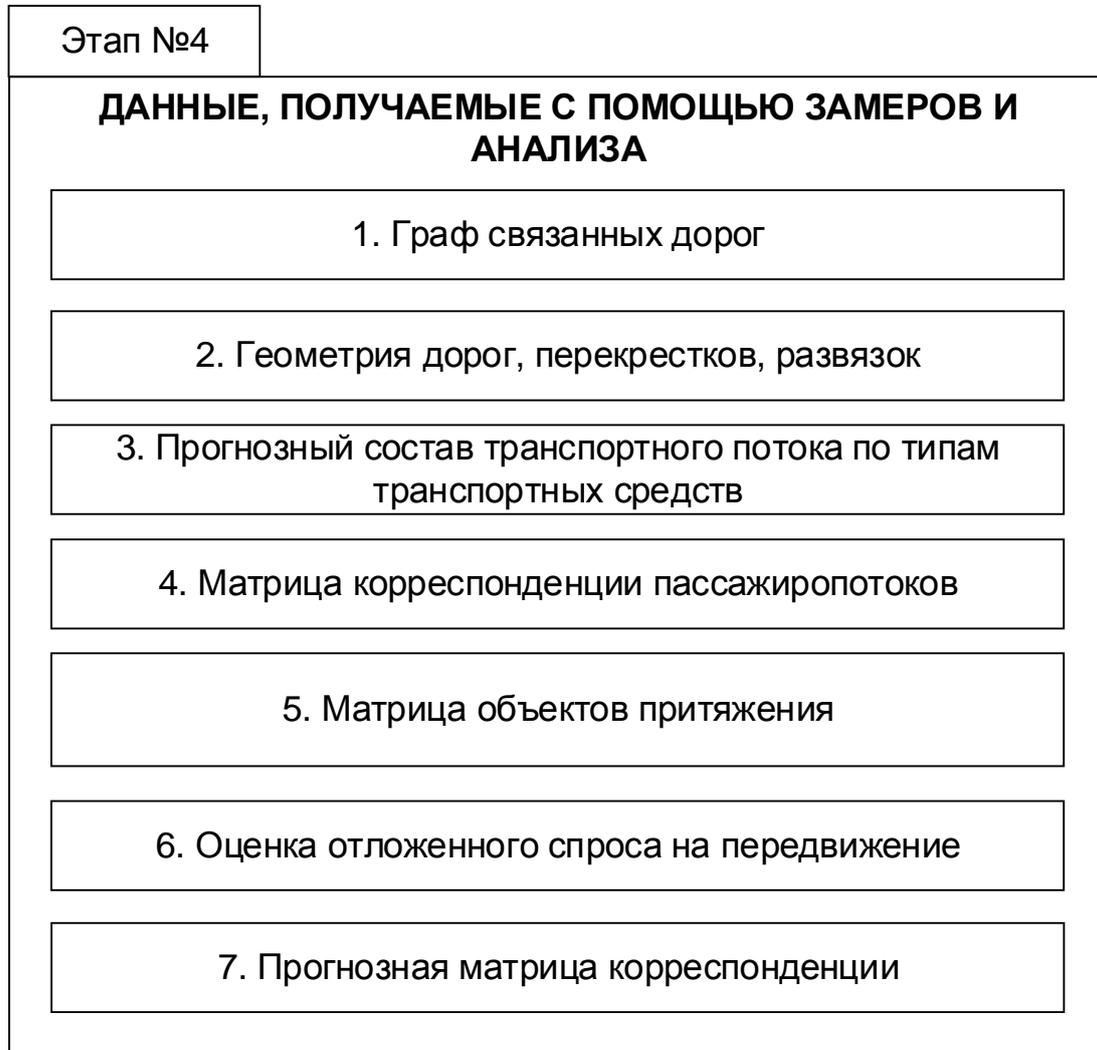


Рис. 3.6. Этап сбора данных, получаемых с помощью замеров и анализа

Создание базовой модели позволит в дальнейшем точно определить зону установки ИТС, исследовать эффективность различных подсистем, определить локации установки оборудования и определить зону слияния ИТС. Эти шаги позволят добиться максимальной эффективности разрабатываемых систем, а также предотвратить негативное влияние ИТС на другие участки сети дорог. Собранные дан-

ные должны предоставлять исчерпывающую информацию для решения следующих задач:

а) создание базовой модели графа дорог

Минимально необходимые данные для создания модели сети дорог:

- карта/схема/граф дорог рассматриваемого участка сети дорог;
- протяженность дорог, входящих в рассматриваемый участок

сети дорог;

- геометрия дорог, пересечений/развязок;
- количество полос дорог.

б) создание базовой модели ОДД

Минимально необходимые данные для создания модели ОДД:

• информация о горизонтальной дорожной разметке, описанной в п. 6 ГОСТ Р 52289-2004;

• информация об установленных на рассматриваемом участке сети дорог дорожных знаках;

• информация о светофорном регулировании на участке сети дорог;

• информация о расписании и маршрутах движения городского маршрутного транспорта;

Необходимые данные при наличии систем КУТП:

• ОП, относительно которых происходит информирование водителей ТС;

• узлы сети дорог, на которых происходит перераспределение ТП;

• теоретически возможные проценты перераспределения ТП;

• фактический процент перераспределения ТП;

Необходимые данные при наличии систем ДУТП:

• принцип корректирования светофорных фаз;

- расположение управляемых светофоров;

Необходимые данные при наличии систем диспетчеризации:

- маршруты ТС, находящиеся под влиянием систем;
- принцип корректировки маршрутов движения маршрутного транспорта;
- принцип корректировки расписания движения маршрутного транспорта;

Необходимые данные для иных систем, влияющих на ТП:

- локации взаимодействия (информирования) с водителями ТС;
- фактическая эффективность систем (доля водителей, следующих рекомендациям систем).

в) создание базовой модели транспортного потока

Наиболее оптимальным будет использование максимального количества имеющейся информации для создания базовой модели участка сети дорог, но вполне допустимо использование набора минимально необходимых данных.

Минимально необходимые данные для создания модели ТП:

- интенсивность ТП;
- средняя скорость ТП;
- состав ТП по типам ТС (легковые автомобили, грузовые автомобили и др.);
- данные о потоке пешеходов на нерегулируемых пешеходных переходах;
- КМК / МК;
- величина отложенного спроса на пропускную способность сети дорог.

Требования к точности описания рассматриваемого участка сети дорог должны быть указаны в техническом задании, разрабатываемом

заказчиком при участии научно-экспертного сообщества. При этом должны указываться следующие требования к точности описания:

- информации о карте, схеме или графе сети дорог рассматриваемого участка;
- информации о полосах движения;
- данных о дорожной разметке.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Какие основные этапы имитационного моделирования вы знаете?
2. Какие основные этапы сбора исходных данных вы знаете?
3. Какие минимальные данные необходимы для создания модели транспортного потока?
4. Какие исходные данные для создания имитационной модели получают по запросу в соответствующие органы?

4. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ИТС

Процесс создания ИТС представляет собой совокупность упорядоченных во времени, взаимосвязанных, объединенных в стадии и этапы работ, выполнение которых необходимо и достаточно для создания системы, соответствующей заданным требованиям. Таким образом, процесс развития ИТС представляет собой жизненный цикл ИТС, схожий с жизненным циклом АСУ, но имеющий более сложную структуру и ряд специфических особенностей, обусловленных особенностями транспортно-дорожного комплекса.

ИТС включают в себя 11 идущих в строгой последовательности этапов, каждый из которых характеризует результат проведенных мероприятий. К ним относятся:

- 1) формирование задания на создание ИТС;
- 2) разработка матрицы индикаторов эффективности ИТС;
- 3) разработка идеалистической модели ИТС;
- 4) уточнение ограничений;
- 5) подбор технологий, проведение ТЭО;
- 6) разработка уточненной модели ИТС;
- 7) формирование порядка разработки проекта ИТС;
- 8) разработка ИТС;
- 9) внедрение ИТС;
- 10) функционирование и обслуживание технических средств ИТС;
- 11) модернизация ИТС.

Общий граф процесса проектирования ИТС представлен на рис. 4.1.

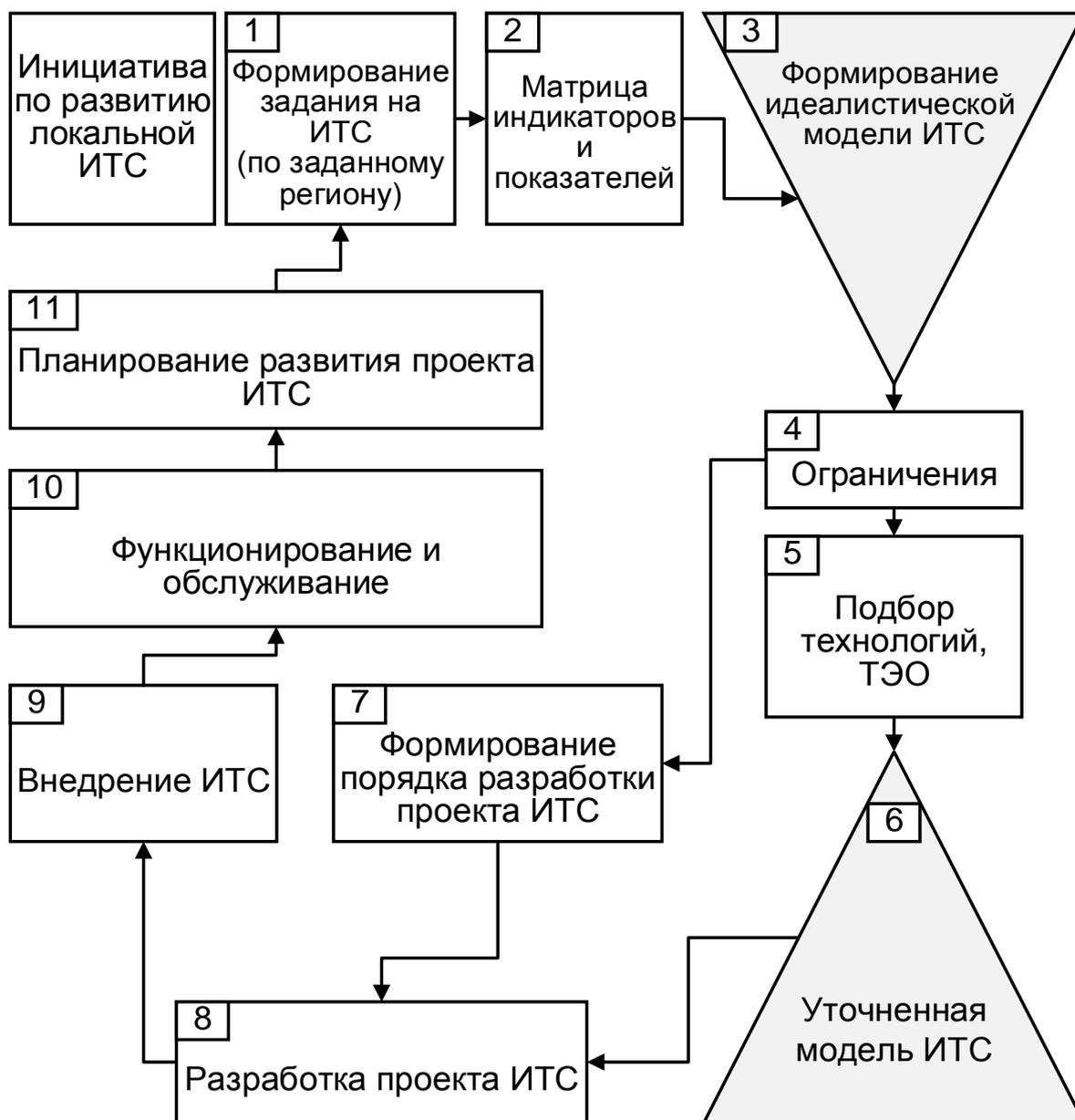


Рис. 4.1. Граф процесса проектирования ИТС

1. Формирование задания на создание ИТС

Инициатива по развитию ИТС формируется на основании поручений по улучшению транспортной активности, совершенствованию рынка услуг участка дороги (региона), улучшению безопасности на дорогах в соответствии с планом развития уполномоченными (компетентными) органами – заказчиками. При обосновании необходимости внедрения ИТС учитываются транспортные показатели участка дороги (региона), возможное транспортное планирование и экономическая

активность региона (участка дороги), на котором предполагается внедрение ИТС. Результатом является обоснование необходимости внедрения ИТС, анализа участка проектирования, формирования целевых требований к внедряемому ИТС.

2. Разработка матрицы индикаторов и показателей эффективности ИТС.

При получении от заказчика задания на обоснование проектирования ИТС, для проектируемого ИТС создается индивидуальная матрица индикаторов и показателей эффективности. Индикаторы и показатели эффективности внедрения ИТС выражены в снижении аварийности, в улучшении пропускной способности, комфортности в пути и др. Результатом является матрица индикаторов и показателей.

3. Разработка идеалистической модели ИТС.

На основании потребности внедрения ИТС с учетом целевых требований, а также знаний об ИТС, формируется идеалистический его облик, доменная, физическая и функциональная архитектура.

4. Корректировка с учетом ограничений, опыта и специфики

Корректировка идеалистического облика ИТС проводится на основании нормативно-правового и нормативно-технического регулирования, ограничений по землеотводу, свода общественных, организационных правил и специфических условий. Результатом является требования к технической политике ИТС.

5. Подбор технологий, проведение ТЭО.

В рамках данного этапа проводится анализ предлагаемых решений в сфере ИТС и подбор оптимальных решений с использованием методик зонирования, иерархии подсистем, логистики расстановки оборудования, ТЭО и др. Определяются требования к физической и функциональной архитектуре ИТС, к линейному и бортовому оборудованию. Результатом является сформированный набор технологий и

подсистем ИТС, ТЭО ИТС. Неотъемлемой и наиболее важной частью ТЭО является проведение имитационного моделирования с целью первичного определения потенциальных возможностей и экономического эффекта от внедрения рассматриваемых ИТС. Данная мера позволяет на ранних стадиях достаточно точно определить целесообразность разработки и внедрения различных ИТС.

6. Разработка уточненной модели ИТС.

На основании подбора подсистем ИТС и технологий уточняется идеалистическая модель ИТС, определяются структуры заинтересованных субъектов (государственных, рыночных), формируется иерархия компетенции органов исполнительной власти для объектов внедрения, определяется перечень и содержание регламентов межсубъектного ситуационного и оперативного (диспетчерского) взаимодействия. Результатом является уточненная архитектура ИТС.

7. Формирование порядка разработки проектов ИТС.

Опираясь на уточненный облик ИТС и анализ технических решений ИТС, формируется план мероприятий, включающий порядок действий для разработки и внедрения ИТС, определяются меры по стимулированию бизнес-перевозок в регионе внедрения, определяются перечни необходимых мер по поддержке ИТС. Результатом является план мероприятий по разработке и внедрению ИТС.

8. Разработка ИТС.

На данном этапе, на основании плана мероприятий по разработке и внедрению ИТС формируется поэтапный план построения и обслуживания ИТС, разрабатывается смета.

9. Внедрение ИТС.

На данном этапе разрабатывается техническое задание на реализацию проекта в рамках утверждения конкурсной документации, формируется структура подрядных организаций для реализации ИТС, прово-

дится согласование проекта с приложениями на уровне ответственных лиц субъектов, утверждается схема распределения ответственности и методик ее контроля на этапах реализации ИТС. Результатом является техническое задание на реализацию проекта, регламент межсубъектного взаимодействия, план реализации и последующей эксплуатации ИТС, и схема распределения ответственности на данных этапах.

10. Функционирование и обслуживание технических средств ИТС.

На данном этапе формируются требования к контролю работоспособного состояния технических средств ИТС. Результатом является аппарат контроля за функционированием и обслуживанием ИТС.

11. Модернизация ИТС.

На данном этапе проводится аудит, рассмотрение планов развития и усовершенствования ИТС, например, вносятся коррекция или дополнения в систему знаний об ИТС, формируются стандарты и др. Как и в случае с первичной разработкой ИТС, неотъемлемой частью модернизации ИТС является проведение имитационного моделирования, с помощью которого изучаются потенциальные возможности и экономический эффект ИТС с учетом того или иного рода модернизации. Результатом является стратегический и тактический план модернизации ИТС.

Таким образом, можно с абсолютной уверенностью сказать, что имитационное моделирование играет не столько важную, сколько ключевую роль в процессе проектирования и функционирования различных ИТС. Именно на основе результатов имитационного моделирования формируется решение о том будет ли воплощена в жизнь (продолжит существование) та или иная ИТС.

4.1. Создание базовой модели

Создание базовой модели включает в себя следующие этапы:

1. Формирование географической подосновы

Для формирования географической подосновы были скомпонованы карты, полученные со спутника. Предпочтение данным со спутника было отдано по причине наиболее точного отображения реальной протяженности дорог и существующей на данный момент ситуации. В процессе работы понадобилось 12 элементов, которые составили полную карту города.

2. Создание секций

На готовой географической подоснове были сформированы геометрические элементы сети, находящейся в пределах города. При проектировании сети использовались определенные базовые объекты, которые послужили основой для построения более сложных компонентов. Одним из базовых объектов является секция.

Секция – это группа непрерывных полос с одинаковым направлением движения. Разделение транспортной сети на секции обычно обусловлено наличием физических ограничений площади и существованием направлений поворота. В городской сети секция соответствует участку дороги между соседними перекрестками. В сетях автострад секцией может быть часть дороги между двумя близлежащими примыканиями (развязками).

На рис. 4.2 показано, как определяются стороны секции участка дороги, въезд на нее и выезд в зависимости от направления движения.



Рис. 4.2. Стороны секции участка дороги

Полосы в секции принято разделять на главные и боковые. Используя главную полосу, автомобиль может въехать на нее с предыдущей секции и выехать на последующую: главная полоса одновременно является полосой въезда и выезда. Боковая полоса располагается либо в правой, либо в левой части секции, и выполняет только одну функцию – полосы въезда или выезда (рис. 4.3). Если без одной или нескольких главных полос секция существовать не может, то боковые полосы, напротив, необязательны. Секция не может иметь более одной боковой полосы с каждой стороны.



Рис. 4.3. Типы боковых полос

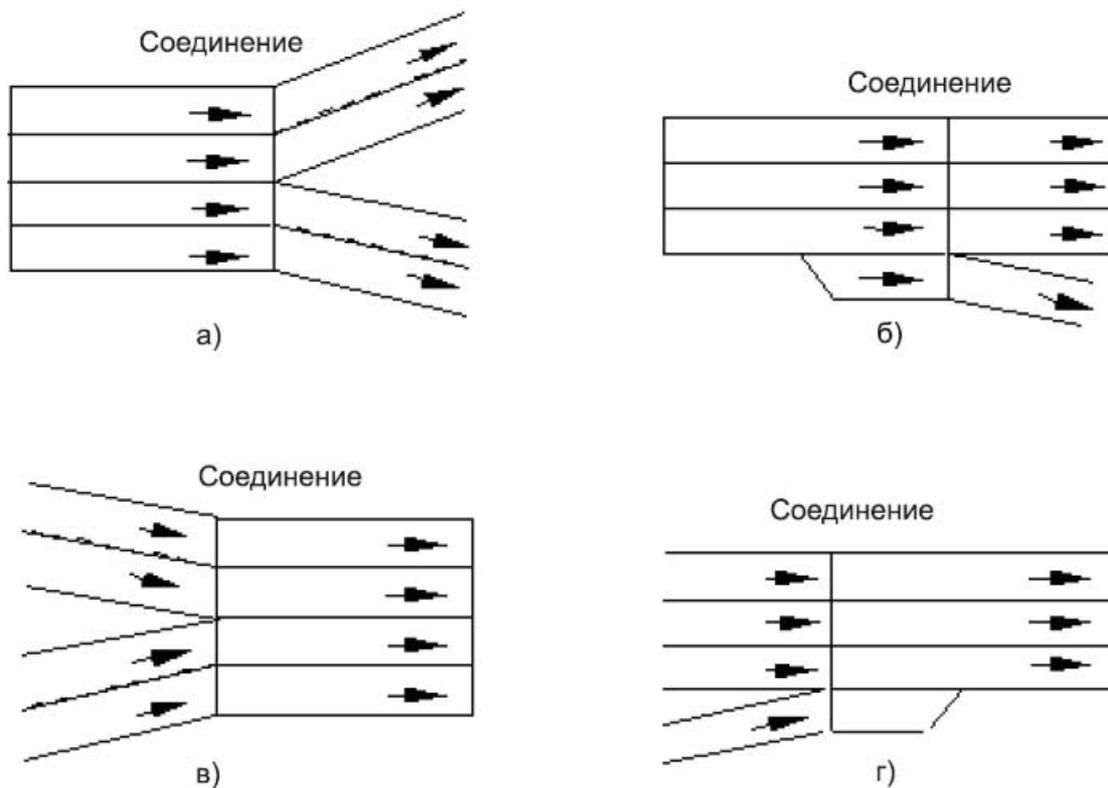
Секция определяется, главным образом, положением ее осевой линии, а боковые полосы характеризуются шириной и длиной. Секция может состоять из нескольких прямо- и/или криволинейных сегментов, угловая ориентация которых поддается изменениям. Для предотвращения возможности перемещения автомобилей между двумя соседними полосами последние разделяют сплошной линией.

3. Создание узлов

Узел – это точка или область в сети, где автомобили изменяют направление следования и/или характер рассредоточения. Узел охватывает одну или несколько исходных секций и одну или несколько целевых секций. Принято различать два типа узлов: соединение и пересечение. Различие между ними состоит в том, что в узле-пересечении существует пространство между исходными и целевыми секциями, а в узле-соединении такого пространства между смежными секциями нет. При соединении количество исходных и целевых полос совпадает. Уз-

лы-пересечения можно часто найти на магистралях и улицах, соединения – на дорогах общего назначения и автострадах. Aimsun автоматически идентифицирует узлы соединения/пересечения и при работе Aimsun Micro применяет наиболее адекватную модель имитации.

Соединения часто используют для представления пересечений (рис. 4.4).



*Рис. 4.4. Примеры соединений:
а) разветвлений; б) съездов; в) слияний; г) въездов*

Повороты имеют место на пересечении дорог. Для разрешения конфликтов, возникающих при поворотах на нерегулируемых перекрестках, расставлены знаки «Уступи дорогу» и «Стоп». На регулируемых перекрестках проблемы разрешены за счет проектирования надлежащей последовательности сигналов.

Повороты – это разрешенные направления движения в пределах узла между исходными и целевыми секциями. Как показано на

рис. 4.5, в общем случае не все полосы в секциях обеих категорий могут быть вовлечены в поворот.

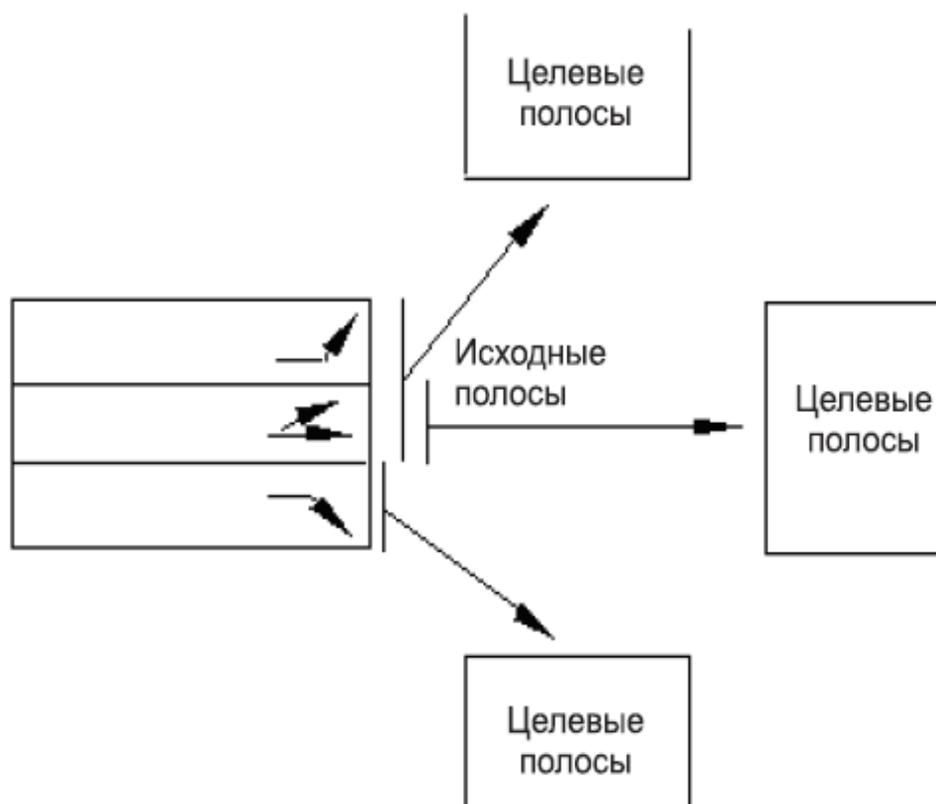


Рис. 4.5. Обозначения, применяемые для поворотов

Далее в программе определяется тип узла (обычный или круговой) и задаются приоритеты движения на нем.

Для повышения степени реалистичности модели повороты на перекрестках были сделаны плавными. Далее были модифицированы точки перекрестка, на которых транспорт должен останавливаться для выполнения предписания «Уступи дорогу».

4. Создания запроса на трафик

Запрос на трафик может быть задан в виде матрицы Источник/Цель или состояниями трафика.

Состояния трафика

Состояние трафика определяется для периода времени и складывается из описаний состояния трафика для каждой секции сети.

Состояние трафика в пределах секции характеризуется следующими усредненными показателями:

- для входных секций (не связанных в начальных точках с другими секциями) – интенсивность входного потока по типам транспортных средств;
- для всех последующих секций – процент поворотов.

Состояние трафика охватывает все входные потоки, которые генерируются в сети для определенного типа транспортного средства, заданного периода времени и процентных соотношений поворотов в узлах (когда с секции допускается более одного поворота).

Матрицы Источник/Цель

Матрица Источник/Цель содержит значения интенсивности потока по типам транспортных средств из каждого источника к каждому приемнику в течение заданного периода времени. Матрица определяет также набор допустимых маршрутов движения от источников к приемникам. Если запрос на трафик задан в виде матрицы Источник/Цель, необходимо определить центроиды, которым соответствует матрица. Центроид – это источник и /или приемник транспортного потока.

Матрица Источник/цель включает данные обо всех рейсах, которые будут сгенерированы для конкретного типа транспортных средств и определенного периода времени. Ячейка (i, j) матрицы содержит число, представляющее количество автомобилей, следующих от центроида i к центроиду j .

Для запроса на трафик в виде состояний трафика сбор исходных данных является менее трудоемким и выполняется методом зондирующего автомобиля.

В базовой модели был использован запрос на трафик в виде состояний трафика.

5. Создание плана управления

План управления определяет параметры управления, которые применяются к набору пересечений и ограничителей и действуют в пределах заданной области, начиная с определенного момента времени.

К числу основных параметров управления пересечениями можно отнести:

- тип управления – нерегулируемый, постоянный, активный или внешний;
- флаг критического пересечения – во внешней модели критическое пересечение может трактоваться иначе, нежели в других случаях;
- смещение – используется для задания начала последовательности фаз относительно исходного момента функционирования плана управления с целью синхронизации смежных пересечений;
- фазы – определяют различные периоды времени активизации сигналов.

На первом этапе были созданы группы сигналов на тех узлах, где это было необходимо.

Группа сигналов представляет собой набор разрешенных направлений поворота при зеленом сигнале светофора. Применяется подход, в соответствии с которым цикл функционирования дорожного пересечения делится на фазы, и каждая активизирует определенную группу сигналов.

Группы сигналов определяются для каждого узла со светофорным регулированием.

Для каждого узла был создан отдельный план управления, в рамках которого были определены фазы в соответствии с исходными данными.

Программа поддерживает четыре типа системы управления узлом:

- нерегулируемый – движение на узле регулируется с помощью знаков «Стоп» и «Уступи дорогу». Светофоры, если таковые установлены, отключены;

- фиксированный – узел управляется светофорами с постоянной длительностью фаз зеленого цвета. На различные промежутки времени могут быть назначены разные планы управления, отвечающие дорожным условиям на протяжении определенных периодов суток;
- активный – используется система управления, соответствующая стандартам NEMA (Национальная ассоциация производителей электрооборудования);
- внешний – система управления постоянного типа, дополненная внешними функциями.

При создании планов управления в базовой модели использовались фиксированный и нерегулируемый типы.

После того, как планы управления для всех узлов были созданы, был сформирован главный план управления.

6. Создание линий общественного транспорта

Основное отличие общественного транспорта от других субъектов дорожного движения состоит в том, что первый движется по фиксированным маршрутам и в соответствии с преопределенным расписанием.

Линия общественного транспорта включает в себя маршрут и набор остановок, а также соответствующие графики движения. Графики движения определяются для конкретного типа транспортных средств (автобусы, микроавтобусы и пр.), обслуживающих линию.

Маршрут общественного транспорта представляет собой фиксированную последовательность секций. Первая секция маршрута является его началом, где транспортные средства въезжают в пределы сети, а последняя – конечным пунктом, где транспортные средства выезжают из сети. Частота въезда на маршрут определяется графиком движения.

Остановки общественного транспорта (например, автобусные) – это пункты вдоль маршрута, в которых каждый автомобиль, обслужи-

вающий линию, должен остановиться на определенное время для высадки и посадки пассажиров.

Существует три типа остановок общественного транспорта, различаемых в Aimsun: Обычная, Стоянка и Станция.

Все линии общественного транспорта были созданы в соответствии с исходными данными, полученными в ходе первичного исследования объекта.

После создания базовой модели можно проводить необходимые эксперименты при условии наличия достаточного количества данных.

4.2. Моделирование концентрации вредных веществ

С помощью имитационного моделирования можно также прогнозировать количество выбросов вредных веществ от транспортных потоков. В примере, который приведен далее, моделировалась концентрация вредных веществ в тоннеле. При данном моделировании основной акцент был сделан на динамику процесса, то есть основное внимание проезду плотных групп транспортных средств, а также остановкам движения в тоннеле в результате чрезвычайной ситуации. После попыток описать в аналитическом виде динамику распределения транспортных средств в тоннеле, оказалось, что нет математических инструментов, позволяющих высококачественно описать движение транспортных средств и их взаимодействие. В результате было принято решение использовать программный инструмент AIMSUN, который позволяет детально моделировать режим движения транспортных средств в рассматриваемом тоннеле с помощью средств микромоделирования. В программном продукте предусмотрены психомоторные модели, благодаря которым транспортные средства обгоняют друг друга, тормозят и разгоняются в режиме, максимально близком к реальности.

4.2.1. Математическая модель движения воздуха и распространения вредных веществ в тоннеле

Программа AIMSUN позволяет моделировать движение транспортных средств в тоннеле, причем транспортные средства на каждом участке (в случае данного исследования – 10 м) обладают определенной скоростью и выбрасывают в окружающую среду определенное количество вредных веществ. Концентрация вредных веществ изменяется в зависимости от распределения транспортных средств внутри тоннеля. Кроме того, транспортные средства вызывают колебания воздуха, что принято называть поршневым эффектом, который связан не только со скоростью транспортных средств, но и с их размерами и зависит от формы поперечного профиля тоннеля.

При выводе математических формул для данной модели не учитываются турбулентность, диффузия вредных веществ, градиенты давления и местные факторы. Принцип расчета основан на идее, что силы, действующие на массы воздуха, должны быть уравновешены, т.е. справедливо импульсное уравнение, когда импульс силы равен количеству движения. Движение воздуха в тоннеле обусловлено воздействием следующих сил:

- сила тяги вентилятора Q_{fan} ;
- сила тяги транспортных средств (поршневой эффект) Q_{pist} ;
- воздействие ветра на порталы Q_{vtr} ;
- падение давления, вызванное трубным эффектом (в пересчете на силу, действующую на массы воздуха в тоннеле) Q_{vzt} ;
- введенные сопротивления в тоннеле, действующие против преобладающего направления потока воздуха (которые тормозят поток воздуха в тоннеле).

Благодаря моделированию появляется возможность следить за динамикой движения воздуха в исследуемом тоннеле длиной 2 км. Например, при движении транспортных средств со скоростью 80 км/ч и интенсивности потока 1500 авт./ч, воздух в течение 3 мин. будет придана скорость 4,2 м/с. В то же время при аналогичной скорости, но при интенсивности 50 авт./ч (ночной режим), скорость будет существенно меньше (2,3 м/с) и будет достигнута только через 6 мин. Исследование динамики движения воздуха, вызванного движением транспортных средств, оказывает принципиальное влияние на проект управления вентиляцией. Далее рассчитывается установившаяся скорость движения воздуха в тоннеле в зависимости от скорости транспортных средств и от интенсивности движения (рис. 4.6).

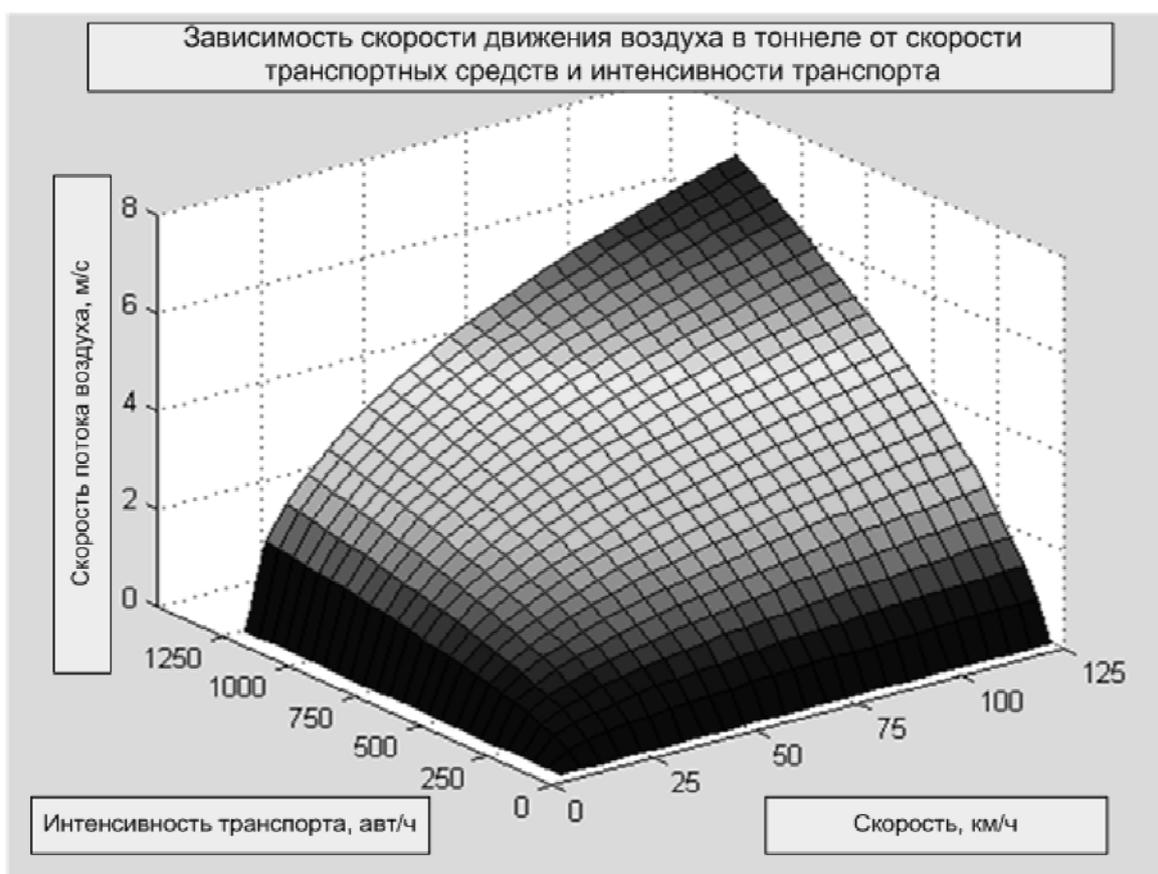


Рис. 4.6. Зависимость скорости движения воздуха в тоннеле от скорости транспортных средств и интенсивности движения после установления равновесия в течение одного часа

Под установившейся скоростью подразумевается скорость воздуха после достижения равновесия между силой тяги транспортных средств и сопротивлением воздуха в тоннеле.

4.2.2. Расчет накопления вредных веществ

Для процесса имитации накопления вредных веществ в тоннеле используется метод моделирования изменения характеристик движения транспортного потока в тоннеле. Результатом является описание транспортной ситуации в пространстве и во времени. Пространственно-временные координаты представляют собой сетку, образованную участками длиной 10 м и интервалами времени, равными 1 секунде. Для каждого из этих участков, т.е. для каждого участка тоннеля длиной 10 м, и для каждой секунды рассчитывается скорость транспортных средств, интенсивность движения, выброс вредных веществ и другие характеристики транспортного потока. Выходными данными программы является совокупность файлов с описанием транспортной ситуации в отдельных участках тоннеля (для каждой секунды один файл). Таким образом, один час моделирования представляет собой 3600 самостоятельных файлов, которые подлежат дальнейшей обработке. Процесс накопления вредных веществ рассчитывается по трансформированной матрице, одна координата которой представляет собой участки длиной 30 м, а вторая координата – интервалы времени длительностью 3 секунды. Для каждого интервала времени рассчитывается соответствующая кривая скорости движения воздуха в тоннеле. Таким образом, по методу приращений можно получить кривую изменения скорости воздуха в тоннеле в течение всего времени моделирования. Расчет накопления вредных веществ проводится с помощью следующего алгоритма (движение воздуха считается одинаковым на протяжении всего тоннеля): для n -го интервала времени рас-

считывается перемещение воздуха и имеющиеся в нем вредные вещества. Вредные вещества из каждого участка длины j разделяются на часть $\Delta 1$, которая в следующем интервале времени $i + 1$ останется в участке j и на часть $\Delta 2$, которая перейдет в участок $j + 1$. Справедливо, что $\Delta 1 + \Delta 2$ равно количеству вредных веществ, возникших в i -м интервале времени на j -м участке длины. Следовательно, в интервале времени $i + 1$ к только что выделенным вредным веществам на участке j прибавится $\Delta 1$ и к вредным веществам, выделенным на участке $j + 1$, будет прибавлено то, что поступило из предшествующего интервала времени, т.е. $\Delta 2$. Полученное таким образом количество вредных веществ опять разделяется в соответствии с фактической скоростью воздуха в i -м интервале времени.

В рамках проекта тестировались три транспортные ситуации. В качестве примера приводятся выбранные результаты первого эксперимента: повышенная интенсивность движения транспортного потока с остановкой транспортных средств. В первом тесте интенсивность движения составляла приблизительно 1400 транспортных средств в час. Программа AIMSUN генерировала транспортный поток псевдослучайным способом, моделирование проводилось в течение одного часа. Во время эксперимента на одной полосе движения была проведена имитация чрезвычайной ситуации – двухминутная остановка транспортного средства, повлекшая за собой значительное замедление движения остального потока. Несмотря на то, что на графике интенсивности движения ситуация практически не отразилась, так как двухполосная дорога позволяет объезжать остановившееся транспортное средство, на графике плотности транспортного потока данная ситуация проявилась достаточно четко.

Во время процесса имитации на 10-й мин транспортное средство остановилось на расстоянии около 90 м от портала и стояло на одной

полосе движения в течение двух минут. Экспериментально было установлено, что плотность возрастала в направлении против движения подъезжающих транспортных средств вплоть до расстояния приблизительно 750 м. После того, как транспортное средство начало движение, значение плотности очень быстро уменьшилось до первоначального.

Можно утверждать, что количество вредных веществ в месте скопления транспортных средств возрастает. Повышенная концентрация от места возникновения чрезвычайной ситуации (около 900 м) под воздействием естественного течения, суммируясь с концентрацией вредных веществ, соответствующей нормальному транспортному потоку, перемещается к выходу из тоннеля. В результате, в течение 20 мин. на выходе имеет место максимальная концентрация CO, составляющая более 6 мг/м³. По истечении дополнительных 5...7 мин. повышенная концентрация, вызванная остановкой транспортного средства, будет уже за пределами тоннеля.

4.3. Разработка комплекса имитации движения участников дорожного движения

Графопостроитель

Основное назначение создания и наполнения трехмерных моделей (далее – редактор) – существенное уменьшение времени создания трехмерных моделей за счет автоматизации большей части производственного процесса. Редактор позволяет импортировать векторные данные из общедоступных форматов и на основе этих данных генерировать трехмерную модель. Полученные результаты генерации впоследствии можно дорабатывать средствами редактора, для повышения качества модели.

Формирование трехмерной модели максимально приближенной к реальной достаточно трудоемкая работа, требующая огромного ко-

личества времени и построения с каждым новым участком проектирования индивидуального графа. Качество трехмерной модели должно соответствовать и быть наиболее приближенным к реалистичной, что может влиять на качество получения данных во время исследования.

Необходимо использовать графопостроитель в учебных целях, привлекая студентов к построению участков трехмерных объектов УДС, формированию банка трехмерных объектов.

Поэтапное формирование достоверной трехмерной модели для симулятора.

Запуск среды графопостроения

Этап 1. Получение первоначального облика

1.1. Получение карты исследуемого участка

1.2. Формирование стандартных образов объектов вдоль всех дорог.

Этап 2. Формирование необходимой информации для создания модели

2.1. Получение видео панорамной картинки

2.2. Формирование индивидуальных стилей объектов УДС:

- дорожная разметка;
- дорожная инфраструктура;
- переход;
- фасады домов.

Этап 3. Формирование настроечных параметров:

- векторы теней;
- влияние погодных условий.

Этап 4. Формирование банка мобильных объектов

- создание банка подвижных моделей;
- создание банка сооружений.

Модуль импорта внешних данных

Модуль импорта внешних данных (далее – импортер) предназначен для перевода форматов внешних данных в формат редактора. Импортер поддерживает импорт следующих форматов:

- SHP – распространенный векторный формат;
- OSM – общедоступные векторные карты;
- GeoTIFF – растровый формат, содержащий гео-информацию;
- JPEG, TGA, PNG, TIFF и прочие распространенные растровые форматы.

Если у импортируемых файлов присутствует гео-информация, то импортер предлагает использовать ее, присваивая результатам импорта соответствующие координаты. Дальнейшая работа по обработке данных ведется в локальных координатах, однако информация о глобальном смещении и о типе проекции хранится в базе.

Данные «Сеть автомобильных дорог» – импортируются из линейного векторного слоя SHP-файлов, либо из карт OSM.

Здания – импортируется из полигонального векторного слоя SHP-файлов, либо из карт OSM. Результатом импорта являются грубые трехмерные модели зданий с заданной этажностью и расцветкой.

Средствами редактора можно перемещать, вращать, масштабировать и удалять полученные грубые модели, но нельзя редактировать их геометрию. В случае необходимости, можно заменять грубые модели на более детализированные, созданные вручную в 3ds Max-e.

Растительность – импортируется из полигонального векторного слоя SHP-файлов, либо из карт OSM. Результат импорта – массивы растительности, состоящие из заранее подготовленных трехмерных моделей (модели растительности входят в состав редактора).

В импортируемом векторном файле может содержаться информация о плотности и о разновидности растительности.

Карта высот – импортируется из формата GeoTIFF или любого распространенного растрового формата. Используется при генерации трехмерной модели ландшафта.

Фоновая подложка – импортируется из любого распространенного растрового формата. Как правило, в качестве фоновой подложки используются снимки из космоса или схемы локаций.

Трехмерные модели – импортируются из формата Nebula 2, поддерживаемого 3D Инструктором. Используются для более детального наполнения локаций.

Модуль двумерного редактирования локаций

Модуль двумерного редактирования (далее – векторный редактор) предназначен для редактирования и настройки векторных данных, полученных в результате импорта. Векторный редактор позволяет, как обрабатывать результаты импорта, так и создавать все необходимые данные вручную. Для этого в редакторе предусмотрены следующие инструменты:

- инструмент создания сети дорог – позволяют создавать сеть автомобильных дорог и соединять их перекрестками любой формы;
- инструмент настройки разметки – позволяет задавать межполосную разметку, стоп-линии, пешеходные переходы и разметку на перекрестках;
- инструмент настройки логики проезда перекрестков – позволяет задавать логику проезда перекрестков такую как приоритеты, разрешенные направления, наличие светофорного регулирования;
- инструмент настройки профиля дорожного полотна, позволяющий гибко настраивать геометрические свойства дороги, такие как:
 - 1) количество полос для движения в каждом направлении;
 - 2) ширина полос;
 - 3) наличие пешеходных тротуаров;

4) наличие оградительных барьеров, островков безопасности;

5) наличие трамвайных путей.

Данные, полученные в векторном редакторе, передаются в модуль генерации ландшафта.

Модуль генерации ландшафта

Данный модуль генерирует трехмерную модель ландшафта. На входе модулю подается сеть автомобильных дорог, созданная в векторном редакторе и карта рельефа. Результатом работы модуля является трехмерная модель ландшафта с рельефом.

Полученная модель может быть экспортирована в формат DAE и доработана в 3Ds Max-е или любом другом распространенном редакторе трехмерной графики.

Модуль трехмерного редактирования локации

Модуль трехмерного редактирования локации (далее – трехмерный редактор) предназначен для наполнения модели трехмерными объектами и финальной настройки правил движения автомобильного трафика.

Трехмерный редактор на входе получает уже достаточное большое количество данных, полученных с помощью автоматических генераций. Объем дальнейших работ в трехмерном редакторе полностью зависит от требований, предъявляемых к качеству модели. Ниже показан пример модели, полностью полученной путем автоматического генерирования.

Для повышения качества наполнения модели, в трехмерном редакторе предусмотрены следующие инструменты:

- инструмент редактирования трехмерных объектов, позволяющий загружать, перемещать, вращать, копировать и удалять трехмерные объекты;
- инструмент редактирования светофорных перекрестков, позволяющий создавать светофорные перекрестки любой сложности и настраивать режимы их работы;

- инструмент редактирования дорожных знаков, позволяющий расставлять знаки дорожного движения, каждому из которых приписано правило поведения для автомобильного трафика;
- инструмент задания точек старта, позволяющий задавать точки, в которых будет появляться машина пользователя при загрузке локации на автотренажере.

4.4. Зарубежный опыт использования моделирования и сбора данных при проектировании интеллектуальных транспортных систем

Зарубежный опыт в моделировании улично-дорожной сети отдельных районов и её укрупнение до масштабов крупного города можно рассмотреть на примере создания и расширения модели улично-дорожной сети острова Монреаль. Следует отметить, что разработчики модели отказались от создания статических моделей в пользу динамического моделирования и инструментов исполнения данной операции. Это являлось очень важным шагом, поскольку транспортные потоки обладают не ламинарным, а турбулентным характером из-за их ограничения светофорными объектами. Кроме того, разработчики ввели сценарии в моделирования заторов, различного рода очередей автомобилей, а также учет пешеходов. Так же разработчики настаивали, что для решения проблем дорожного движения необходимо как можно меньше нарушать ламинарность потока транспортных средств путем ограничения потока светофорами и одноуровневыми развязками. Так же для достижения максимально полезного эффекта было решено создавать модели не отдельных районов, а всего города в целом. Очевидно, что для реализации данного проекта требуется мощный инструментарий.

Программный продукт, выбранный дорожными инженерами для моделирования сети дорог Монреаля – программа имитационного мо-

делирования транспортных потоков AIMSUN версии 7.0. Данная программа очень мощная и включает в себя модули, сочетающие в себе моделирование на микро-, мезо- и макроуровне.

Особую ценность для разработчиков представлял один из вшитых в AIMSUN программных процессоров, называемый TRANSIT 13 – процессор, отвечающий за фазы переключения светофорных объектов, моделирование транспортных заторов и очередей транспортных средств на перекрестках. Так же с помощью такой составляющей программы, как «Кластерная трансмиссионная модель» стало возможным избежать частой ошибки моделирования при которой очереди ТС выстраиваются не вдоль дороги, а вертикально вверх, непосредственно перед перекрестком. Так же в AIMSUN предоставляет возможность создания динамического распределения транспортных средств по улично-дорожной сети, а не опцию «конструктора дорожной сети», что позволяет создавать отдельные элементы сети дорог.

Зарубежные коллеги полагают, что для полноценного моделирования транспортных потоков необходимо и достаточно знать транспортную матрицу корреспонденции. На основе данной матрицы возможно не только проводить исследования, но и постоянно оценивать эффективность подобных систем, так как дорожная обстановка носит динамический характер и не имеет постоянных закономерностей – такой постоянно усложняющийся непрерывный цикл является основой оптимального функционирования любой системы, независимо от её типа. Для решения задачи сбора данных о транспортных потоках создано множество различных систем, каждая из которых имеет свои преимущества и недостатки. Очень важно собрать необходимые данные для транспортной матрицы корреспонденции с большой точностью и минимизировать потери. Одним из наиболее оптимальных способов сбора данных является установка микроволновых радар-

детекторов высокой частоты на всех направлениях перекрестка, что позволит получать точные данные без больших материальных затрат. Также радар-детекторы допускается устанавливать непосредственно на фонарные столбы, что позволяет избежать необходимости ставить дополнительные опоры, при этом возможны питание и подзарядка детекторов от солнечных батарей, монтируемых непосредственно рядом с устройством.

Но для полноценного имитационного моделирования простых числовых данных о количестве проезжающих транспортных средств недостаточно. В дополнении к количественной характеристике необходимо знать скорость транспортного средства и тип подвижного состава, так как моделирование должно учитывать правила дорожного движения. За рубежом при сборе данных широко используются системы детектирования транспортных средств с возможностью определения индивидуальной скорости каждого подвижного состава. Недостатком данных систем является то, что для каждой полосы дороги необходим свой собственный детектор. Это создает некоторые неудобства с установкой оборудования (могут понадобиться дополнительные Г- или П-образные опоры, так как в данном случае простые фонарные столбы окажутся бесполезными). Существуют системы, которые могут проводить мониторинг сразу нескольких полос, но стоимость таких систем мультиполосного мониторинга многократно дороже, и таким образом, установка нескольких TDCI-PIR детекторов все равно будет экономически выгоднее.

Но моделирование на основе одной только матрицы корреспонденции будет недостаточно точным, т.к. в таком случае программа будет распределять транспортный поток согласно вшитой в нее математической модели, а каждая модель имеет свою погрешность. В случае с транспортными потоками, как показали исследования, данная ошиб-

ка будет значительной. Таким образом, транспортные инженеры пришли к выводу, что для создания эффективных систем необходима качественная матрица корреспонденции, содержащая в себе информацию не только о количестве проезжавших транспортных средств, но и о маршрутах их движения. Для этого необходимо проводить идентификацию транспортных средств. Существует два способа осуществления идентификации: технология RFID и технология распознавания государственных номерных знаков (NPR).

Технология RFID дает возможность идентификации транспортных средств с помощью считывания RFID меток специальным идентификационным комплексом. Данная технология обладает 100% точностью распознавания без каких-либо погрешностей и ошибок. Но существует проблема оснащения автомобилей такими метками, так как нет никаких регламентов, обязывающих водителей устанавливать их. Существует метод установки радиометок в номера автомобилей и выдача этих номеров водителям при регистрации транспортных средств. Но заставить остальных водителей установить радиометки не представляется возможным. Поэтому комплекс включает в себя не только считыватель метки, но и распознаватель номерных знаков методом обработки видеоизображения. Так же надо отметить конструктивную особенность системы – устройство инфракрасной подсветки, делающее возможным идентификацию государственных номерных знаков в ночное время и сумерки. Так же система обладает мультиполосностью, т.е. осуществляет мониторинг автомобилей сразу по нескольким полосам и может монтироваться непосредственно на уже существующие опоры светофорных объектов и фонарные столбы, что является важным преимуществом.

Данные системы хороши каждая в своей области, но, наибольшая польза и эффективность возможна только от совокупности различных

модулей. Например, автоматические системы распознавания государственных номерных знаков, совмещенные с микроволновыми радар-детекторами и инфракрасной подсветкой, обладающие монополосным мониторингом, описанные в ряде зарубежных научных статей. Комбинированная система позволяет не только получать данные о количестве автомобилей, но и их скорость, маршруты движения по улично-дорожной сети, а также поддерживать фискальную систему контроля скоростного режима и составления протоколов о правонарушениях водителей независимо от времени суток. Камеры высокой четкости, аналогичные камере VIS-CAM 500 с заложенной в неё последующей обработкой снимков, позволяет получать превосходные изображения автомобилей и номерных знаков, с распознаванием которых не возникает никаких проблем. В случае загрязнения номерных знаков запрашивается изображение автомобиля, снятое с использованием инфракрасной подсветки, и, в более половины случаев распознавание увенчается успехом. Если автомобиль, зафиксированный на снимке, двигался с превышением максимально допустимой скорости, то одновременно с обычным снимком во вторичную базу данных сохраняется и второй, только с некоторыми пометками о скоростных режимах и размер штрафной санкции.

4.5. Пример создания имитационной модели

Ниже приведен пример построения имитационной модели в рамках обоснования проектов ИТС на федеральных дорогах России.

Начальные условия: техническое задание, в котором задана цель – обосновать целесообразность внедрения ИТС на рассматриваемый участок для максимизации пропускной способности сети дорог, состоящей из участка федеральной дороги М-27 (от г.Сочи включительно) до пересечения дороги А-148 с Тбилисской улицей. По условиям технического задания возможно расширение рассматривае-

мой сети дорог, но запрещено её уменьшение, также не указан тип внедряемой ИТС, поэтому необходимо производить сбор максимального количества данных.

Согласно условиям сеть дорог реальна и функционирует, проводится реконструкция развязки дороги М-27 и дороги А-148.

С помощью веб-сервиса проводится анализ участка сети дорог и статистических данных о ТП для определения месторасположения зон проблем, зон последствий и «свободных» зон (рис. 4.7).

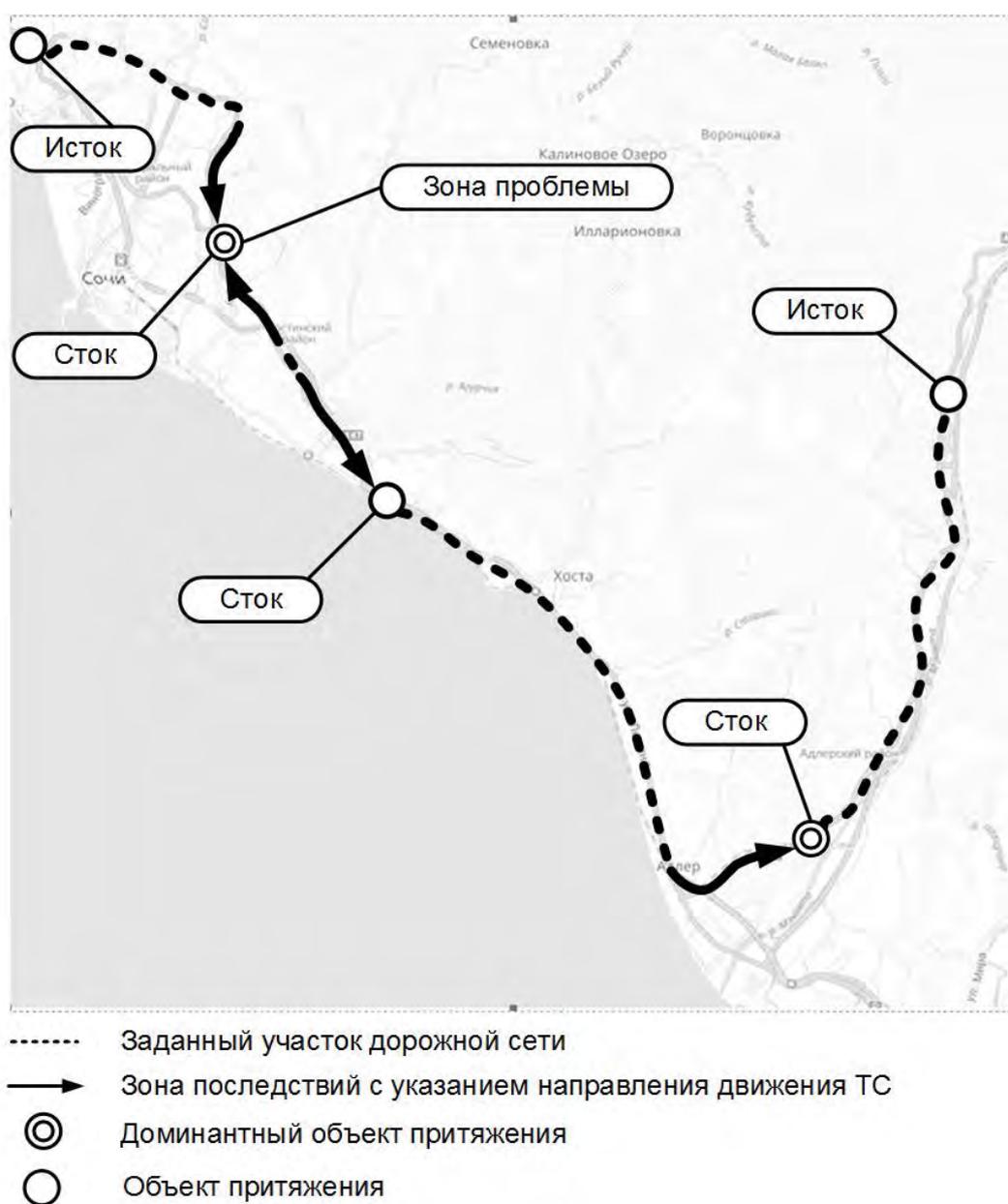


Рис. 4.7. Характеристика участка сети дорог

Согласному описанию процесса создания имитационной модели первым делом проводится сбор предварительных данных, при этом первичный анализ карты показывает, что существуют альтернативные маршруты движения. Данные дороги также включаются в рассматриваемую сеть дорог. Альтернативные дороги позволят рассмотреть вариант применения систем КУТП и не допустить перегрузку УДС города. Поэтому первый этап сбора данных будет проводиться относительно сети дорог, представленной на рис. 4.8.

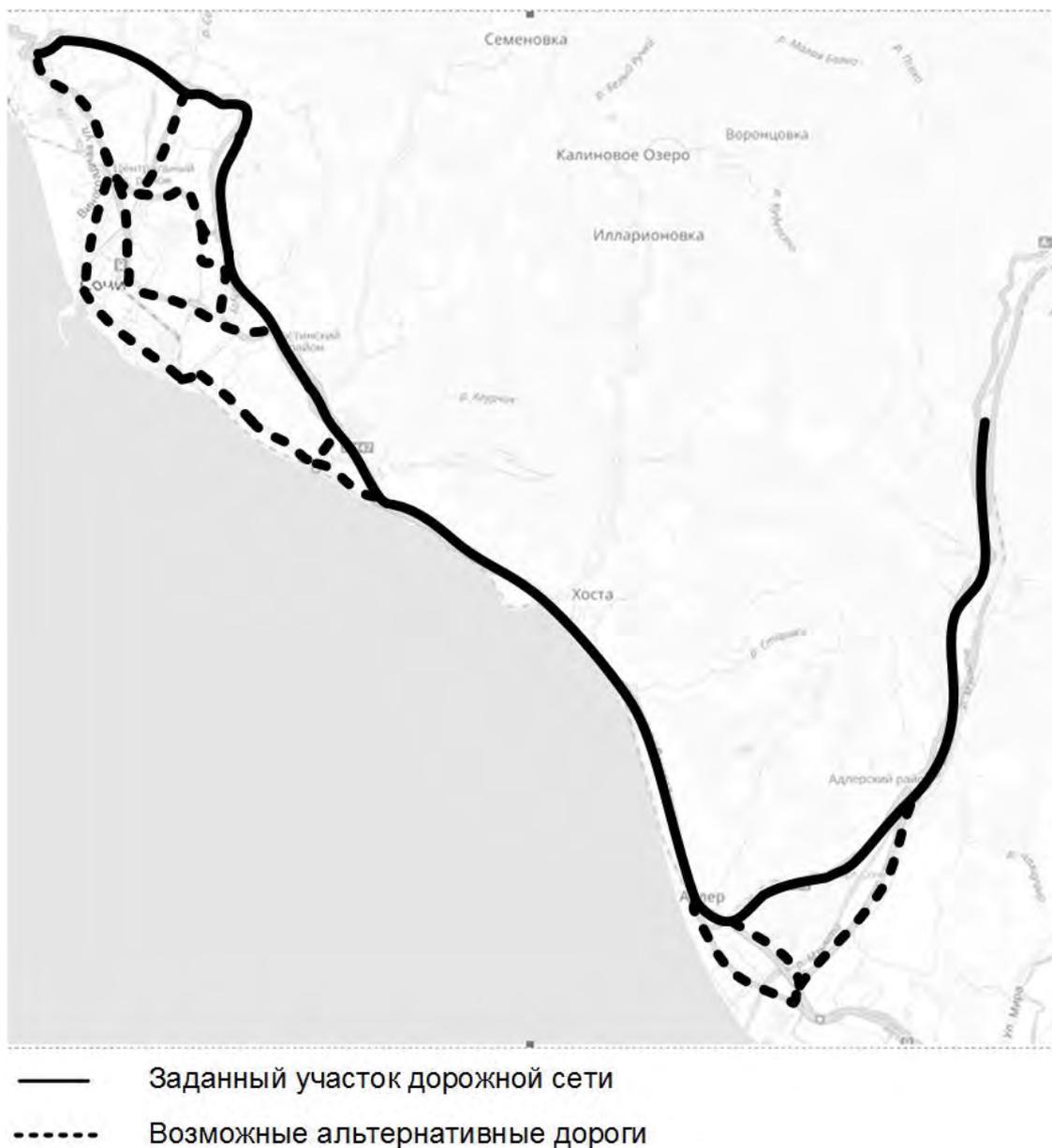


Рис. 4.8. Предварительная схема сети дорог

Затем формируются запросы в компетентные органы (возможно также привлечение самого заказчика, если в этом есть необходимость) на получение данных первого этапа.

По запросу была предоставлена следующая информация:

- паспорт дорог;
- план реконструкции развязок на рассматриваемой сети дорог;
- данные об интенсивности и плотности движения до начала реконструкции;
- плановая схема пассажирских перевозок;
- информация о системах ИТС, установленных на рассматриваемом участке сети дорог (принцип работы, эффективность, спецификация и технические характеристики оборудования);
- статистика по очагам затруднений движения и ДТП;
- параметры геометрии дорог и развязок (протяженность, радиусы поворотов, углы подъемов и др.);
- актуальные и прогнозные схемы и планы ОДД, включая оперативное управление;
- выдержки из нормативно-правовых документов, связанных с установкой оборудования (участки сети дорог, на которых запрещено монтировать какое-либо оборудование);
- панорамная фотосъемка расширенной сети дорог (инициатива заказчика).

По полученным данным проводится анализ пропускной способности альтернативных дорог, по итогам которого происходит исключение тех дорог, которые окажутся бесполезны с точки зрения систем КУТП (недостаточная пропускная способность) и утверждается итоговый вариант рассматриваемой схемы дорог (рис. 4.9).

Далее необходимо провести сбор и анализ информации, связанной с нормативно-правовыми ограничениями, которые могут вос-

препятствовать, например, установке оборудования на тот или иной участок дороги и др.

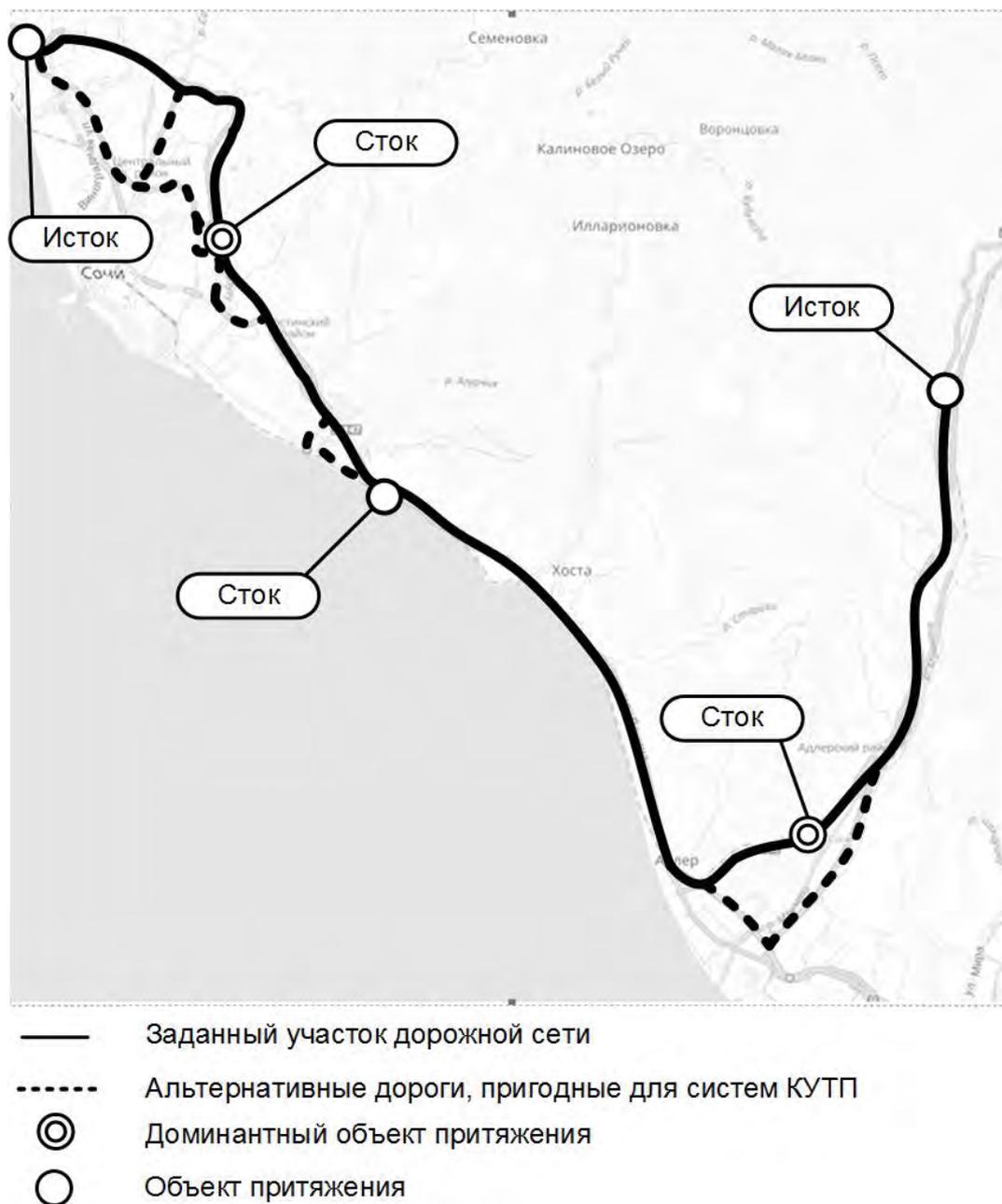


Рис. 4.9. Окончательная схема сети дорог

Второй этап сбора данных следует проводить уже относительно итоговой дорожной сети. Параллельно создается модель сети дорог в программе имитационного моделирования, так как для этого имеются минимально необходимые данные:

- карта дорог рассматриваемого участка сети дорог;

- протяженность дорог, входящих в рассматриваемый участок сети дорог;
- геометрия дорог;
- геометрия пересечений/развязок (включая планы на реконструкцию);
- количество полос дорог.

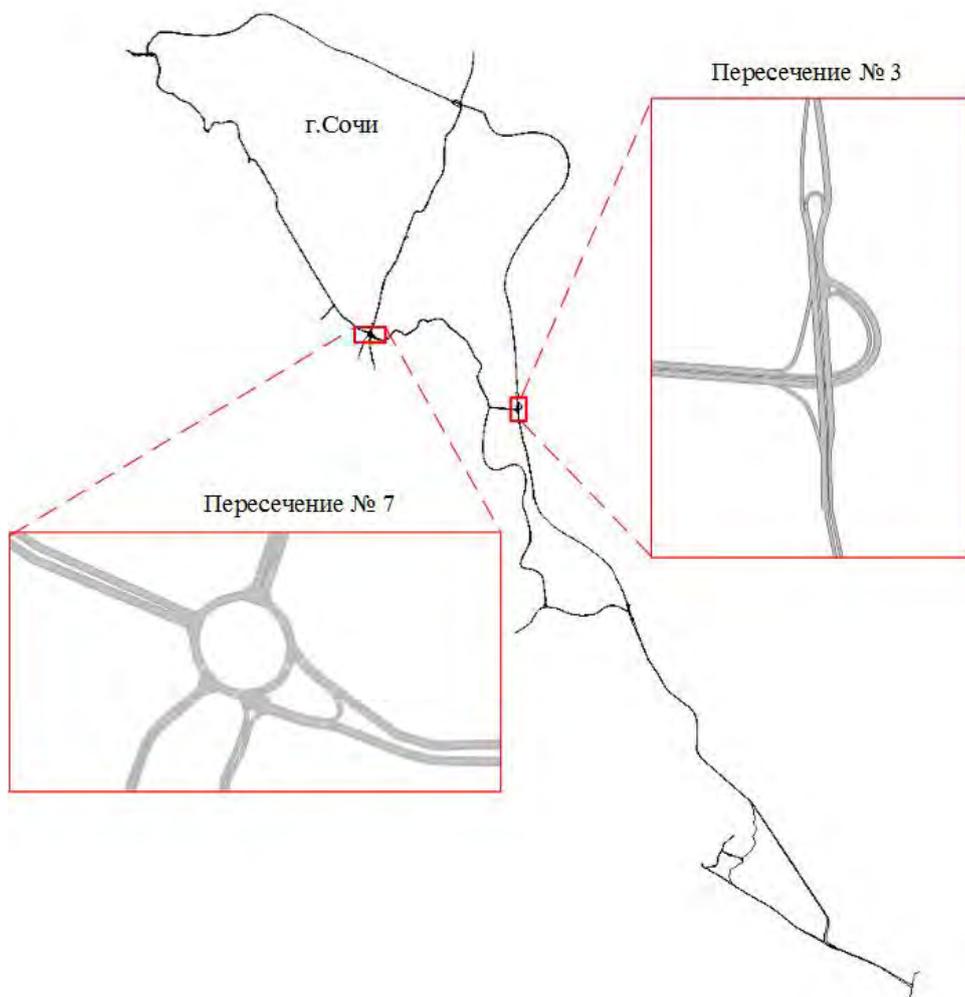


Рис. 4.10. Пример графа сети дорог г. Сочи

Данные, получаемые с помощью замеров и анализа необходимо собирать в определенной последовательности, в целях оптимизации временных и финансовых затрат:

- граф сети дорог. Получен с помощью поисково-информационного картографического сервиса, плана на реконструкцию дорог и пред-

ставленной панорамной фотосъемки. Пример графа дорог, построенного в программе имитационного моделирования, приведен на рис. 4.10;

- геометрия дорог, перекрестков, развязок. Данные получены на 1-м этапе сбора информации, в том числе из планов реконструкции дорог и паспортов дорог;

- по предоставленным на 1-м этапе данным об интенсивности и плотности движения ТП определяются ОП. В данном случае ОП являются съезды с рассматриваемой сети дорог, перекрестки, развязки, а также начало и конец изначально заданной сети дорог. Целесообразно рассматриваемые данные оформлять в виде таблицы (табл. 4.1) и схем графов дорог, отображающих месторасположение ОП (рис. 4.11). Вид таблицы может быть произвольным, как и её наполнение (или выполняется согласно требованиям Заказчика).

Доля ТП представляет собой процентное отношение количества ТС, связанных с рассматриваемым ОП, обладающим определенным характером, к общему количеству ТС рассматриваемого участка сети дорог. Упрощенный вариант определения времени жизни ОП заключается в делении суток на двухчасовые интервалы и удалении тех интервалов, в которых доля ТП меньше 10%.

Таблица 4.1

Пример оформления таблицы объектов притяжения

Название	Номер ОП	Доля ТП	Характер	Время жизни
Северная граница г. Сочи	1	56%	Исток	6:00 – 8:00
Северная граница г. Сочи	1	10%	Сток	6:00 – 8:00
Жилой район №1	2	15%	Исток	6:00 – 8:00
Жилой район №1	2	14%	Сток	18:00 – 20:00
...				

- проводится сбор данных одновременно по нескольким пунктам:
 - 1) интенсивность, плотность и средняя скорость ТП (так как точность или полнота этих данных, полученных на первом этапе оказалась недостаточной);

- 2) корректируется информация о составе ТП по типам ТС;
- 3) информация об очагах затруднения движения и ДТП;
- 4) данные с системы идентификации ТС.

На данном этапе проводится расстановка по сети дорог детекторов, собирающих параметры транспортного потока, и блоков распознавания государственных регистрационных знаков. Расстановка производится на узлах сети дорог (перекрестках, развязках). Дополнительно устанавливаются детекторы в местах затруднения движения и ДТП.

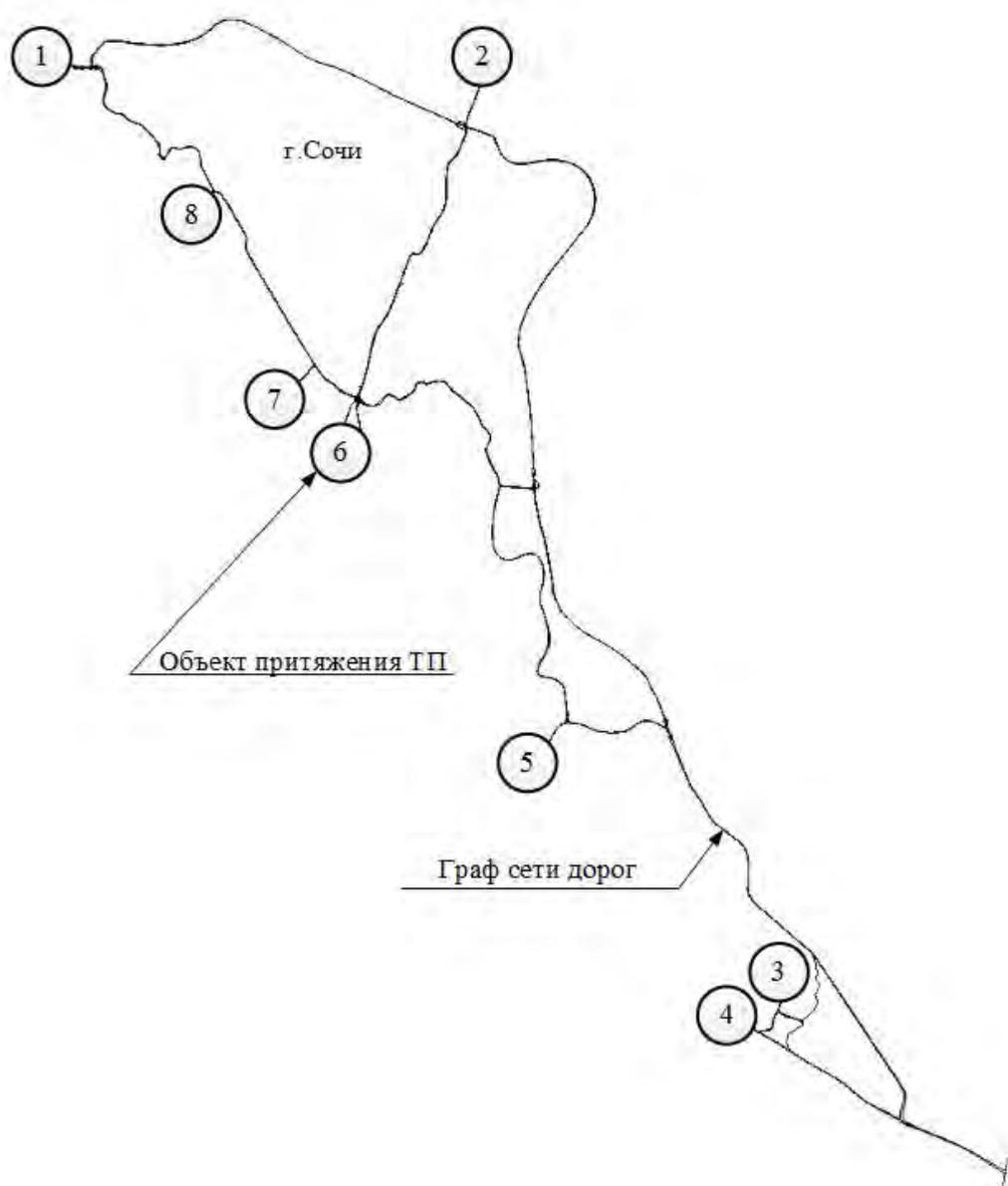


Рис. 4.11. Пример схемы месторасположения ОП, их времени жизни

Данные, полученные с блоков распознавания, удобнее представлять в виде таблицы (рис. 4.12). Формат данных выбирается произвольно, если нет соответствующих требований в техническом задании.

Гос. рег. номер	ID транспортного узла	ID блока распознавания	Дата	Время
В 574 НА 199	001	00012	28.02.2008	14:40
М 157 ОР 77	004	00018	28.02.2008	14:40
...				

Рис. 4.12. Пример оформления таблицы идентифицированных ТС

- построение качественной матрицы корреспонденции;

Построение КМК заключается в определении маршрутов движения ТС и количества автомобилей, следующих этими маршрутами, путем обработки информации, полученной с блоков распознавания государственных номерных знаков. Целесообразно оформлять КМК в форме таблиц (рис. 4.13) и графического материала (рис. 4.14).

Стоит отметить, что при графическом оформлении различные маршруты желательно указывать различными цветами.

ID маршрута	ID ОП-исток	ID ОП-сток	ID узлов сети дорог	Актуальный временной интервал	Интенсивность движения ТС, авт/ч
А	1	3	4-8	6:00 – 8:00	5000
Б	2	3	5-6-8	6:00 – 8:00	8450
...					

Рис. 4.13. Пример оформления КМК в табличном виде

- графическое оформление параметров скорости и плотности ТП;
- построение схемы спроса на пропускную способность сети дорог;
- построение матрицы корреспонденции пассажиропотоков;
- проводится оценка отложенного спроса на передвижение по участку сети дорог.

В данном случае оценка производилась методом социального опроса и анкетирования для установления приблизительного количе-

ства людей, готовых пересесты с общественного на личный транспорт при условии улучшения дорожной обстановки.

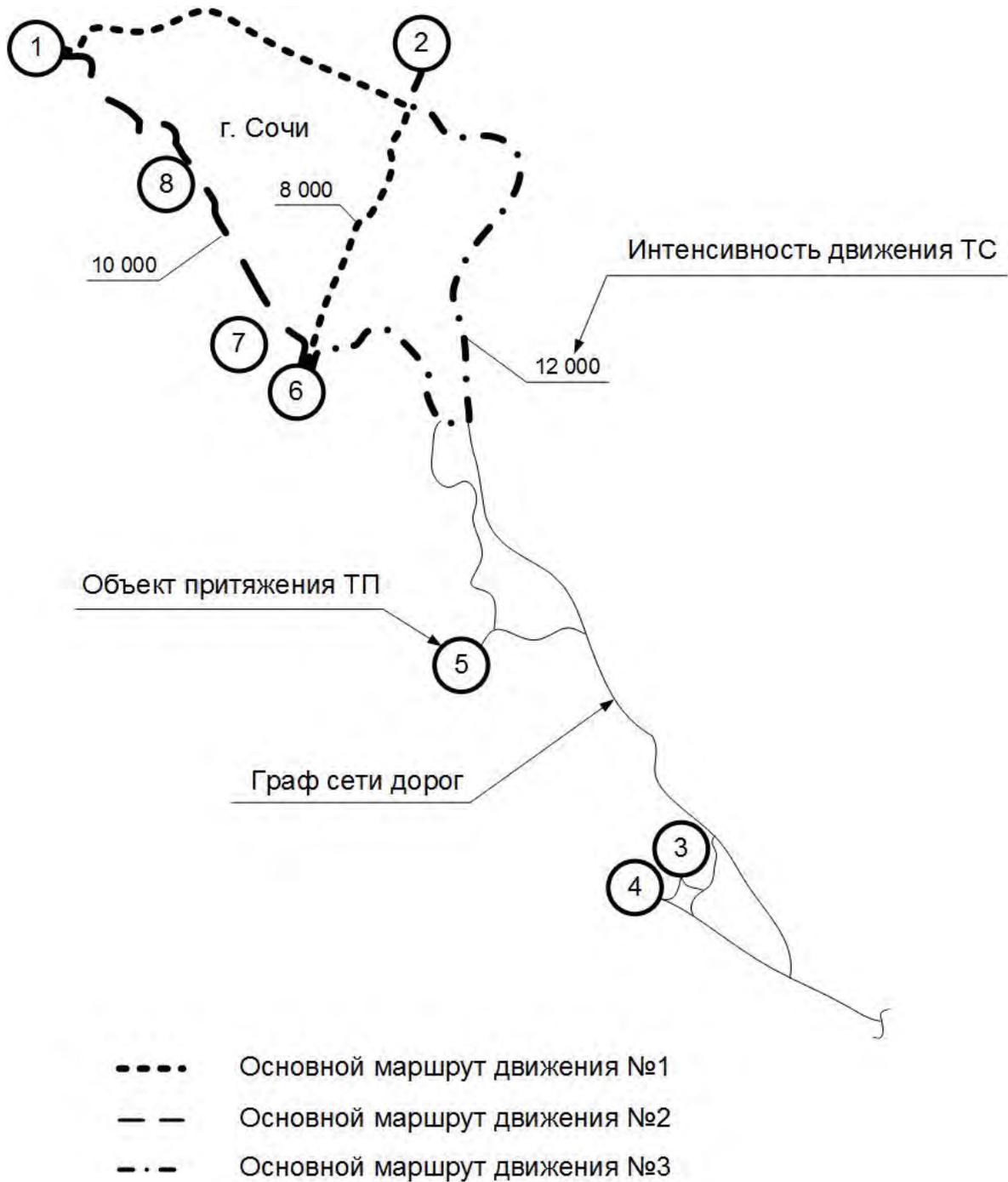


Рис. 4.14. Пример графического оформления КМК

- обзор существующих на данный момент технических и технологических ограничений систем, оборудования, каналов связи и др.

После графического оформления параметров скорости и плотности ТП, в программе имитационного моделирования начинается создание моделей ТП (рис. 4.15) и ОДД (рис. 4.16), так как все минимально необходимые для этого данные уже получены.

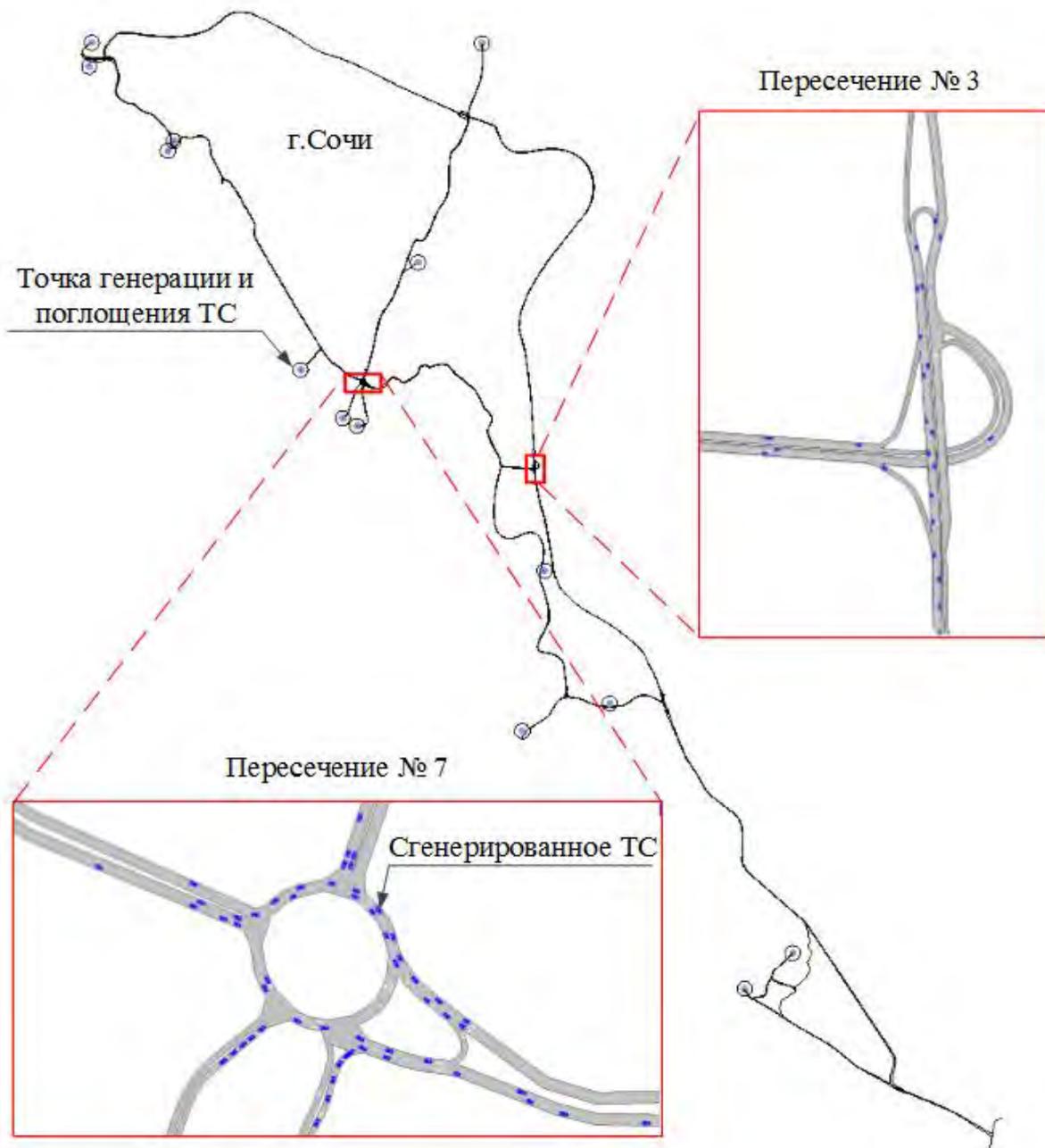


Рис. 4.15. Графическое отображение ТП в программе имитационного моделирования

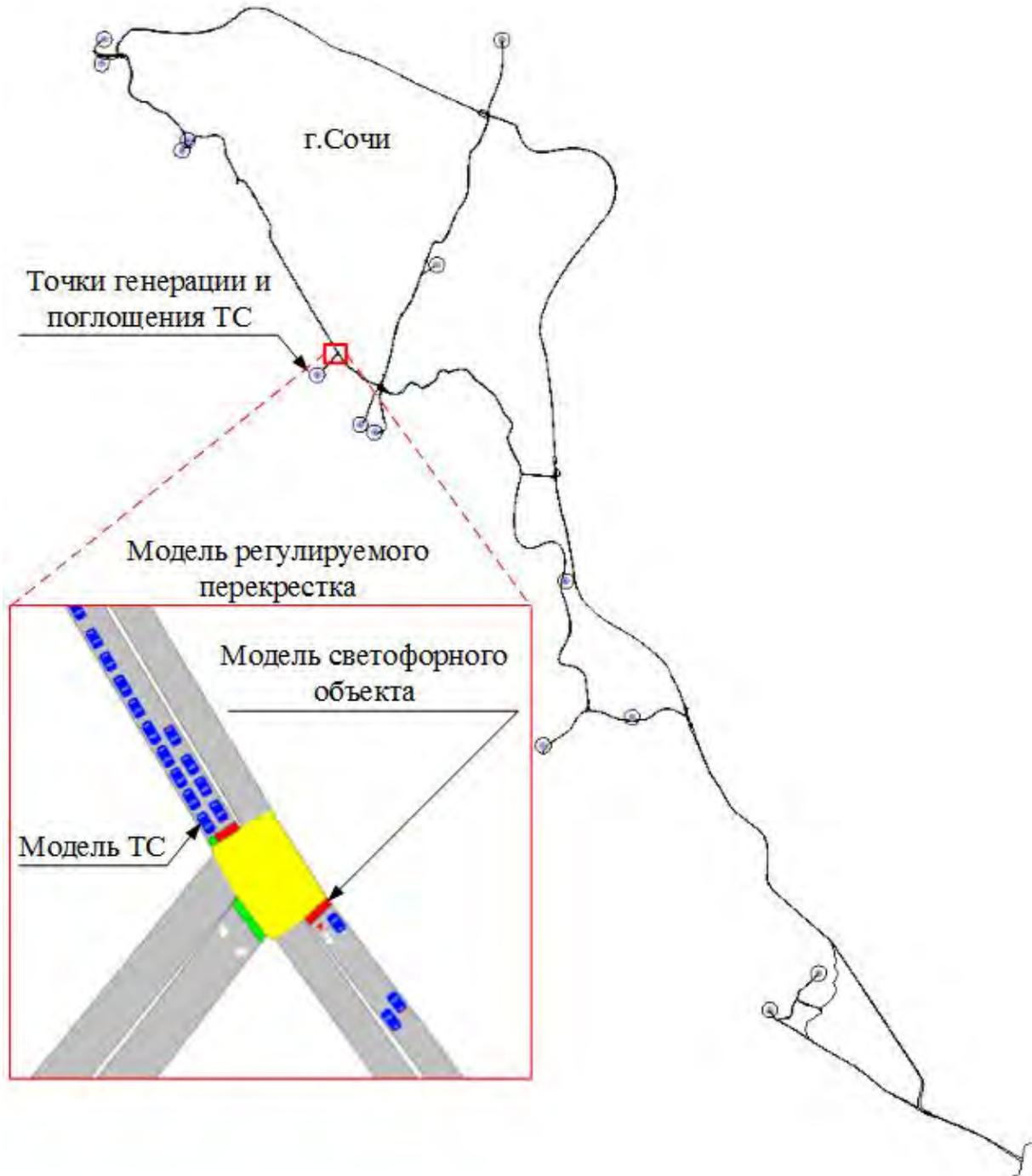


Рис. 4.16. Графическое отображение модели регулируемого перекрестка в программе имитационного моделирования

Итогами системного анализа являются пакет полученной и обработанной информации и базовая модель рассматриваемого участка сети дорог, построенная в программе имитационного моделирования (рис. 4.17), отвечающие всем предъявленным к ним требованиям.

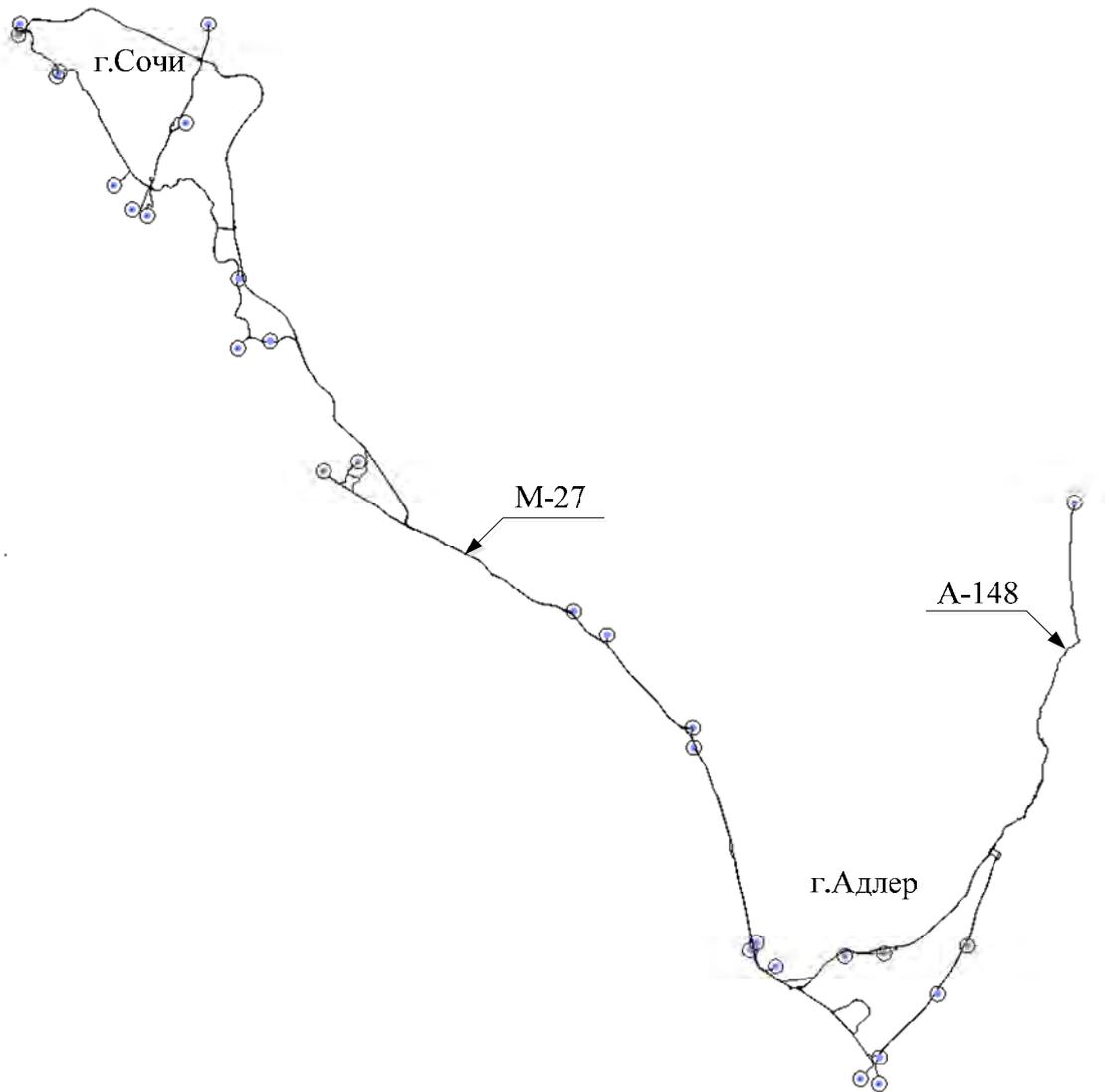


Рис. 4.17. Базовая модель рассматриваемого участка сети дорог

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Перечислите основные этапы создания базовой модели.
2. Опишите комплекс имитации движения участников дорожного движения.
3. Приведите примеры практического использования программ имитационного моделирования.
4. Какие можно выделить преимущества моделирования на основе качественной матрицы корреспонденции?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жанказиев, С.В. Становление жизненного цикла локального проекта интеллектуальной транспортной системы / С.В. Жанказиев, Р.Ф. Халилев // Автотранспортное предприятие. – 2012. – № 11. – С. 31–33.
2. Жанказиев, С.В. Разработка проектов интеллектуальных транспортных систем: учеб. пособие / С.В. Жанказиев. – М.: МАДИ, 2016. – 104 с.
3. Воробьев, А.И. Исследовательский комплекс моделирования интеллектуальных транспортных систем / А.И. Воробьев, И.С. Морданов // Автотранспортное предприятие. – 2013. – № 12. – С. 40–41.
4. Тур, А.А. Математические подходы к обоснованию проектов информирования участников дорожного движения в интеллектуальных транспортных системах / А.А. Тур // Вестник МАДИ. – 2012. – № 1(28). – С. 109–113.
5. Наумова, Н.А. Теоретические основы и методы автоматизированного управления транспортными потоками средствами мезоскопического моделирования: дис.... д-р. техн. наук: 05.22.10 / Н.А. Наумова. – Краснодар, 2015.
6. Saul Wordworth. Will and sentiment: the automated highway to heaven / Saul Wordworth // Traffic Technology International. – 2006. – October/November. – Pages 54–58.
7. A Policy on the Geometric Design of Highways and Streets. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC, 1994. Edition 2007.
8. Gipps P.G. A behavioural car following model for computer simulation. Trans. Res. B, 1981, 15, pp. 105–111.

Учебное издание

ЖАНКАЗИЕВ Султан Владимирович
ВОРОБЬЕВ Андрей Игоревич
ШАДРИН Александр Викторович
ГАВРИЛЮК Максим Викторович

**ИМИТАЦИОННОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ
В ПРОЕКТАХ ИТС**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Под редакцией д-ра техн. наук, проф. С.В. Жанказиева

Редактор В.В. Виноградова

Подписано в печать 20.02.2017 г. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 5,75. Тираж 300 экз. Заказ . Цена 190 руб.
МАДИ, 125319, Москва, Ленинградский пр-т, 64.