

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет математики и информатики
Кафедра информационных и управляющих систем
Направление подготовки 09.04.04 – Программная инженерия
Направленность (профиль) образовательной программы Управление разработкой программного обеспечения

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Зав. кафедрой

_____ А.В. Бушманов

«_____» _____ 2019 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему: Моделирование транспортных потоков на примере г. Благовещенск

Исполнитель

студент группы 757-ом

(подпись, дата)

И.Ю. Смолко

Руководитель

доцент, канд. физ.-мат. наук

(подпись, дата)

В.В. Ерёмина

Руководитель научного со-
держания программы маги-
стратуры

профессор, доктор техн. наук

(подпись, дата)

И.Е. Ерёмин

Нормоконтроль

инженер кафедры

(подпись, дата)

В.Н. Адаменко

Рецензент

(подпись, дата)

Благовещенск 2019

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация содержит 84 с., 24 рисунка, 5 таблиц, 6 приложений, 35 источников.

ТРАНСПОРТНЫЙ ПОТОК, УЛИЧНО-ДОРОЖНАЯ СЕТЬ, ГОРОД, МОДЕЛИРОВАНИЕ, СИСТЕМА, СЕТЬ, МОДЕЛЬ

В работе производится проектирование модели улично-дорожной сети города Благовещенск.

Основу методологии работы составляет гравитационная модель транспортных потоков с учетом дополнительных параметров

На основании гравитационной модели была спроектирована модель транспортной сети, система моделирования, построена модель улично-дорожной сети города Благовещенск.

Целью исследования является изучение существующей ситуации транспортного моделирования и разработка метода моделирования транспортных потоков для города Благовещенск.

Новизна темы заключается в моделировании транспортной сети города Благовещенск.

Научная новизна работы характеризуется спецификой модели, построенной на базе улично-дорожной сети города Благовещенск.

Тема моделирования транспортных потоков имеет *практическое значение*, поскольку позволяет применять полученные модели в деятельности профильных организаций и учреждений с целью оптимизации транспортных систем.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Предметная область проводимого исследования	9
1.1 Обзор источников	9
1.2 Обзор программ-аналогов	10
1.3 Объект исследования	16
1.4 Общая постановка решения задачи	19
2 Алгоритмическое обеспечение решения задачи	20
2.1 Математические модели транспортных потоков	20
2.2 Обеспечивающие подсистемы. Математическое проектирование программного обеспечения	32
2.3 Алгоритм решения задачи	40
3 Программное обеспечение решения задачи	43
3.1 Описание модели. Характеристика функциональных подсистем	43
3.2 Анализ информационной системы	46
3.3 Инструменты разработки. Обоснование выбора	51
4 Практический раздел. Подробное описание разработанного программного продукта	54
4.1 Алгоритм проведения эксперимента	54
4.2 Прототипирование интерфейса	57
4.3 Разработка структуры программного обеспечения	60
4.4 Техническое обеспечение системы	62
4.5 Построение транспортной модели (руководство программиста)	63
Заключение	76
Библиографические ссылки	79
Библиографический список	81
Приложение А. Классификация моделей транспортного потока	85
Приложение Б. Диаграмма вариантов использования	86

Приложение В. Диаграммы последовательности	87
Приложение Г. Образец формата описания модели	91
Приложение Д. Диаграмма классов	94
Приложение Е. Сертификат участника конференции	95

ВВЕДЕНИЕ

Транспортная инфраструктура – одна из важнейших инфраструктур, обеспечивающих жизнь городов и регионов. В последние десятилетия во многих крупных городах исчерпаны или близки к исчерпанию возможности экстенсивного развития транспортных сетей. Поэтому особую важность приобретает оптимальное планирование сетей, улучшение организации движения, оптимизация системы маршрутов общественного транспорта. Решение таких задач невозможно без моделирования транспортных сетей.

Моделирование транспортных потоков является важнейшим актуальным направлением имитационного моделирования, поскольку имеет большое практическое значение, особенно для моделирования транспортных процессов городских образований. Построенные модели позволяют определить трафик, узкие места транспортных сетей, проектировать транспортные развязки и оптимизировать транспортный поток города, сократив тем самым затраты на содержание дорожных сетей и увеличив безопасность жителей. Моделирование транспортных потоков позволяет определить будущие требования города в дальнейшем расширении транспортной сети.

Цель исследования – изучение существующей ситуации транспортного моделирования и разработка метода моделирования транспортных потоков для города Благовещенск.

Цель работы – разработка адекватного современным условиям дорожного движения метода имитационного моделирования транспортных потоков в городской дорожной сети и разработка необходимой для достижения поставленной цели системы компьютерного моделирования.

Для достижения поставленных целей были поставлены следующие задачи:

- изучить предметную область проводимого исследования;
- разработать программное и алгоритмическое обеспечение решения задачи;
- разработать программный продукт для построения модели транспортной системы города Благовещенск.

Основными и исходными данными темы является транспортная автомобильная сеть города Благовещенск.

Тема моделирования транспортных потоков имеет практическое значение, поскольку позволяет применять полученные модели в деятельности профильных организаций и учреждений с целью оптимизации транспортных систем городских поселений, районов и областей Российской Федерации.

Новизна темы заключается в моделировании транспортной сети города Благовещенск. Используемые на данный момент модели, в основном, представляют собой независимые модели, рассматривающие отдельные виды транспортных потоков крупных городов.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования полученных результатов для практического применения в оптимизации транспортных потоков с учетом различных видов транспорта. Данные результаты могут быть использованы для:

- организации дорожного движения;
- строительства и реконструкции дорожной инфраструктуры;
- градостроительной деятельности;
- развития общественного транспорта.

Показателем качества выполненной магистерской работы являются практические выводы и рекомендации по управлению транспортной сетью города Благовещенск Амурской области.

В рамках работы над магистерской диссертацией были сформулированы тезисы доклада для участия в конференции «Дни науки АмГУ», апробация текущих результатов диссертации на XIX региональной научно – практической конференции «Молодежь XXI века: шаг в будущее», а также в международной научно-практической конференции «Традиционная и инновационная наука: история, современное состояние, перспективы», опубликована статья в электронном научном журнале «Матрица научного познания».

1 ПРЕДМЕТНАЯ ОБЛАСТЬ ПРОВОДИМОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Обзор источников

Математическим аспектам моделирования в специализированной литературе по моделированию транспортных потоков традиционно уделяется большое внимание, в частности об это свидетельствуют труды А.В. Гасникова [1], рассматривающего моделирование транспортных систем на основе теории равновесия с попыткой представить теоретический базис для интеллектуальных транспортных технологий.

Широко освещены вопросы представления транспортных сетей с использованием различных подходов и моделей [2], на графах (в частности в работах А.П. Буслаева [3], рассматривающего динамический подход в моделировании, В.А. Карнаухова [4], применившего общие подходы теории графов к процессам управления воздушным движением), с использованием клеточных автоматов (Долгушин Д.Ю., Мызникова Т.А. [5] – попытка перенести опыт использования клеточных автоматов из других сфер промышленной и научной деятельности), методов линейного (с учетом современных тенденций логистики и принципов эффективности функционирования экономических систем –Еремеева Л.Э. [6], с позиций общих положений системотехники и практическим применением на моделях процессов трубопроводного пневматического транспорта – Комов П.Б., Комов А.Б. [7]) и сетевого программирования [8].

Большое внимание уделяется вопросам железнодорожных перевозок, наземного пассажирского транспорта (Вакуленко С.П. [9], Захаров Н.С., Бояркина Е.Ф. [10]), рассматриваются вопросы построения и моделирования транспортных сетей городских агломераций [11, 12, 13, 14]. Освещены вопросы проектирования и построения информационных систем на автомобильном транспорте с точки зрения функционирования систем транспортной телематики [15].

Интерес представляют работы В.Г. Живоглядова [16], рассматривающего вопросы взаимодействия транспортных и пешеходных потоков с учетом отечественной и зарубежной практики, а также монография А.Ю. Михайлова (в соавторстве с

И.М. Головных) [17], рассматривающая актуальные проблемы проектирования улично-дорожных сетей.

Отдельно стоит акцентировать внимание на научных трудах А.Н. Рахмангулова, С.В. Трофимова, С.Н. Корнилова [18], изучивших проблемы управления транспортом и транспортными системами как простых технических систем управления и как больших социально-экономических систем. В их работе рассмотрены проблемы построения информационных моделей управления, моделирования транспортных систем и изложены принципы логистического подхода к управлению потоками в транспортных системах.

1.2 Обзор программ-аналогов

Поскольку тема моделирования транспортных потоков в различных аспектах широко представлена в научных и промышленных кругах, имеется большое количество программ как отечественных, так и зарубежных производителей.

Рассмотрим наиболее распространенные из них.

AnyLogic – является универсальным средством имитационного моделирования, позволяющего использовать различные методы моделирования в различных отраслях человеческой деятельности. Получила большое распространение из-за набора готовых компонентов, из которых возможно быстрое построение различных моделей. Для создания новых компонентов и библиотек возможно использование существующих, а также написание нового функционала на языке программирования Java.

Преимуществами является 3D-визуализация построенных моделей и большое количество доступного материала для изучения, включая учебные пособия на русском языке. Недостатками является повышенные требования к аппаратным ресурсам, что осложняет моделирование транспортных сетей на уровне городских агломераций, а также необходимость предварительного обучения перед использованием продукта.

PTV – представляют собой специализированную серию программных продуктов, предназначенных для моделирования различных элементов транспортного потока, симуляции дорожных ситуаций, планирования и проектирования транспорт-

ных сетей и т.д. Требуется обязательное обучение перед использованием, имеются партнеры в России, готовые представлять комплексную поддержку и участвовать в поддержке разрабатываемых проектов с участием данных программных комплексов. Имеет высокие требования к аппаратным ресурсам.

Bentley Systems – серия продуктов по проектированию и моделированию транспортных сетей (а также мостов и проектной документации). Особенность программного продукта – комплексный подход к решениям, основанный на инфраструктурном представлении коммуникаций. Компания имеет представительство в России, предлагающее обслуживание, сопровождение и обучение персонала продуктам компании. Продукты предоставляются индивидуально с различными условиями поддержки и обслуживания в зависимости от потребности заказчиков. Работа ориентирована на крупных заказчиков (министерства, ведомства, лидеры отрасли и т.д.).

Aimsun – среда моделирования и проектирования транспортной сети. Имеет удобный визуальный интерфейс проектирования транспортной сети, основанный на использовании готовых компонентов. Позволяет:

- проводить оценку и оптимизацию трафика автобусных маршрутов;
- проводить расчет и представлять технико-экономическое обоснование введения платных полос в транспортные сети городских агломераций;
- осуществлять общий анализ влияния спроектированной дорожной инфраструктуры на транспортный поток;
- проводить анализ воздействия транспорта на окружающую среду;
- рассчитывать плату за проезд;
- проводить оценку эффективности стратегии управления спросом на поездки;
- осуществлять анализ безопасности дорожного движения;
- проводить анализ механических характеристик автомобильных дорог.

Actor Pilgrim – система имитационного моделирования общего назначения, разработка НИУ «МЭИ» совместно с московским финансово-промышленным университетом «Синергия». Поддерживает различные виды моделирования. Для описания динамики моделей имеет собственный язык программирования Actor

Pilgrim. Ориентировано на промышленное использование, представляется техническая поддержка программного продукта.

AGNES (AGent NEtwork Simulator) – российская система имитационного моделирования, основанная на использовании агентно-дискретном методе представления моделей. Описание моделей производится на языке программирования Java. Разработчик: Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения РАН. Данная система предназначена для решения проблемно-ориентированных и научно-исследовательских задач.

Arena – система имитационного моделирования основанная на дискретном методе представления модели. Имеет простой и удобный интерфейс, собственный язык описания моделей SIMAN. Имеет собственную систему визуализации Cinema Animation. Имеет обширную библиотеку компонентов (шаблоны решений) из которых возможно быстрое прототипирование и построение моделей с последующим уточнением их параметров. Среди инструментов выделяется мощный аналитический построитель отчетов и представлений статистики по проектируемой модели в различной форме.

Enterprise Dynamics – платформа моделирования и анализа систем.

Предоставляет:

- возможность тестирования модели на всех стадиях работы;
- возможность построение нескольких вариантов модели (форки) с их последующим тестированием;
- различные варианты расчетов параметров;
- собственную библиотеку готовых моделей, собранную из представляемого набора компонентов;
- развернутые и настраиваемые средства анализа моделей;
- встроенные средства визуализации;
- расширенные возможности экспорта/импорта моделей из аналогичных систем сторонних производителей;
- гибкий инструмент автоматического создания серии экспериментов по указанным правилам.

Инструмент имеет платную бессрочную лицензию (приобретается единственный раз), включающую бесплатные обновления и техническую поддержку. Имеет ознакомительную и студенческую версии.

ExtendSim – система имитационного моделирования, поддерживает разные методики представления моделей. Особый акцент в системе сделан на визуализации процессов, протекающих в модели.

Представляет собственный программный интерфейс для использования объектов программы другими приложениями.

Имеет развернутые возможности анализа (особенно широко представлены статистические инструменты анализа моделей) и представления результатов экспериментов с возможностью экспорта в общераспространенные форматы.

Из-за большого количество аналитических инструментов и расширенного набора визуализации, представляемый пакет имеет повышенные требования к аппаратным ресурсам. Особенностью системы является возможность оценки ресурсных затрат протекающих процессов модели.

GALATEA (Glider with Autonomous, Logic-based Agents, Temporal reasoning and Abduction) – система мультиагентного моделирования. Основана на использовании теории моделирования Зейглера. Имеет собственный язык программирования, а также поддерживает программирование на языке Java. Позволяет задавать внутреннее состояние агентов, от которого зависит их поведение. Имеет большое количество библиотек компонентов и готовых моделей сторонних разработчиков. Распространяется бесплатно, практически не имеет русскоязычных источников.

Дорожный менеджер – программа имитационного моделирования транспортных потоков. Ориентирована на:

- создание моделей улично-дорожной сети города с учетом большого количества возможных элементов (светофоры, пешеходные переходы, карманы для автотранспортных средств, велосипедные дорожки и т.д.);
- установки калибровочных коэффициентов, позволяющих адаптировать проектируемую модель к реальным наблюдениям за улично-дорожной сетью;
- ускоренный режим симуляции и обсчета результатов эксперимента;

- предоставление возможностей искусственных препятствий в улично-дорожной сети (перекрытие дороги, аварии и т.д.);
- работу пассажирского транспорта, оценку интенсивности пассажиропотока, возникновение внештатных ситуаций в пассажиропотоке;
- использование реальных данных, полученных с устройств контроля за улично-дорожной сетью (видеокамеры, счетчики автотранспортных средств и т.д.);
- использовать возможность выбора одной из нескольких предлагаемых стратегий водителя автотранспортного средства.

TransNET – программа моделирования автотранспортных и пассажирских потоков улично-дорожной сети городских агломераций. В основу модели положена концепция равновесного распределения потоков. Разработка Института Системного анализа РАН, тестирование проводилось на основе данных г. Москва.

Учитывает:

- время передвижения;
- дополнительные временные издержки (парковки, время ожидания и пр.);
- денежные затраты (плата за проезд, платные магистрали и т.д.);
- условные временные задержки для коррекции модели в соответствии с наблюдаемые результатами настоящей улично-дорожной транспортной сети города.

Предоставляет:

- графический редактор для проектирования улично-дорожной сети;
- средства моделирования: блок матричных вычислений, алгоритмы распределения потоков в сети, собственные функции пользователя, собственный командный язык и возможность пакетной обработки запросов;
- средства графического представления данных и отчетов по результатам проводимых экспериментов.

Ниже в таблице 1 приведены сравнительные характеристики наиболее популярных существующих программ для имитационного моделирования.

Из таблицы 1 видно, что программ для имитационного моделирования на рынке представлено в достаточном количестве. Но не все из них доступны широкому кругу пользователей.

Таблица 1 – Преимущества и недостатки существующих программ для имитационного моделирования

Наименование программного продукта	Преимущества	Недостатки
AnyLogic	<ul style="list-style-type: none"> - 3D-визуализация построенных моделей; - большое количество доступного материала для изучения 	<ul style="list-style-type: none"> - повышенные требования к аппаратным ресурсам, что осложняет моделирование транспортных сетей на уровне городских агломераций.
Enterprise Dynamics	<ul style="list-style-type: none"> – развернутые и настраиваемые средства анализа моделей. 	<ul style="list-style-type: none"> – имеет платную лицензию с высокой стоимостью.
PTV	<ul style="list-style-type: none"> – имеются партнеры в России, готовые представлять комплексную поддержку и участвовать в поддержке разрабатываемых проектов. 	<ul style="list-style-type: none"> – требует обязательного обучения перед использованием; – имеет высокие требования к аппаратным ресурсам.
Actor Pilgrim	<ul style="list-style-type: none"> – представляется техническая поддержка программного продукта. 	<ul style="list-style-type: none"> – для описания динамики моделей имеет собственный язык программирования Actor Pilgrim, требующий долгого обучения.
Bentley Systems	<ul style="list-style-type: none"> – компания имеет представительство в России, предлагающее обслуживание, сопровождение и обучение персонала продуктам компании. 	<ul style="list-style-type: none"> – работа ориентирована на крупных заказчиков (министерства, ведомства, лидеры отрасли и т.д.); – высокая стоимость ПО.
GALATEA	<ul style="list-style-type: none"> – имеет собственный язык программирования, а также поддерживает программирование на языке Java. 	<ul style="list-style-type: none"> – практически не имеет русскоязычных источников; – высокая стоимость ПО.
Arena	<ul style="list-style-type: none"> – имеет простой и удобный интерфейс, собственный язык описания моделей SIMAN; – имеет собственную систему визуализации Cinema Animation. 	<ul style="list-style-type: none"> – коммерческий продукт; – высокая стоимость ПО; – требует долгого обучения персонала для работы с данным программным продуктом.

Наименование программного продукта	Преимущества	Недостатки
Дорожный менеджер	– в программе реализовано имитационное моделирование сложных динамических систем на основе дискретно-событийного подхода, что дает возможность выполнить симуляцию движения и взаимодействия десятков тысяч транспортных средств на УДС.	– повышенные требования к аппаратным ресурсам; – необходимость предварительного обучения перед использованием продукта.

Недостатками существующих решений являются повышенные требования к аппаратным ресурсам, что осложняет моделирование транспортных сетей на уровне городских агломераций, а также необходимость долгого предварительного обучения перед использованием продукта и зачастую большая стоимость программных продуктов.

1.3 Объект исследования

Объектом исследования выступает транспортная сеть города Благовещенск Амурской области. Объект находится в ведении администрации города Благовещенск, за его состояние отвечает Министерство транспорта и строительства Амурской области.

Объект состоит из следующих элементов:

- автомобильные дороги;
- аэропорт федерального значения;
- речные маршруты;
- железнодорожная сеть.

Автомобильные дороги. Протяженность внутренних дорог города составляет 323 км, состояние дорожного покрытия удовлетворительное (министерство транспорта и строительства Амурской области совместно с администрацией города ве-

дут программу по частичной реконструкции дорожного полотна). Транспорт представлен: собственными легковыми и грузовыми автомобилями граждан, такси, автобусным парком города. Отмечено старение автобусного парка – более 150 автобусов, срок эксплуатации которых превышает 10 лет, до 30 % автобусов автотранспортных предприятий используются сверх нормативного срока службы. Органы местного самоуправления для организации перевозок не имеют муниципальных автобусов в достаточном количестве и соответствующих требованиям безопасности. Потребность органов местного самоуправления в автобусах различной вместимости составляет 58 единиц.

На рисунке 1 представлена карта автомобильных дорог города Благовещенск.

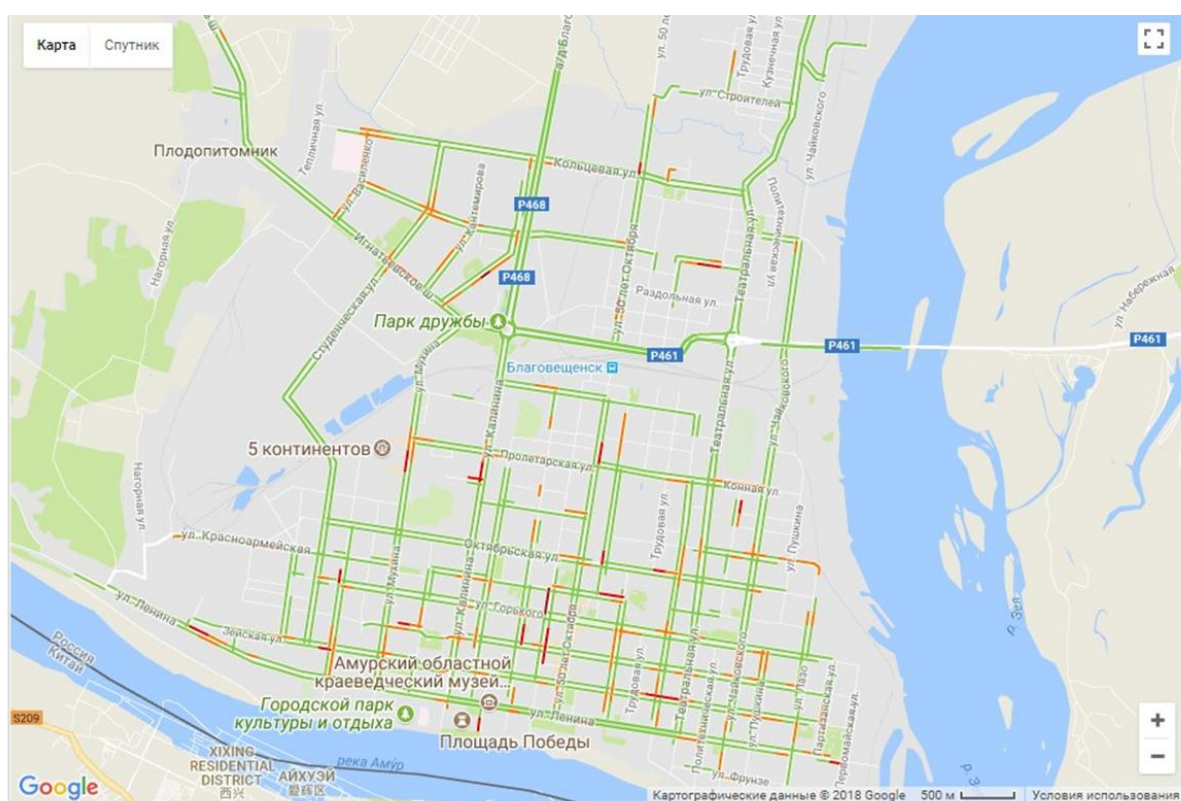


Рисунок 1 – Карта автомобильных дорог г. Благовещенск.

Аэропорт федерального значения (Распоряжение Правительства Российской Федерации от 20 апреля 2016 года № 726-р «Об утверждении перечня аэропортов федерального значения»), расположенный рядом с селом Игнатьево (15 км от г. Благовещенск). Является шлюзом для внутрироссийского и международного сообщения грузов и пассажиров, имеет 44 места для стоянки самолетов. Пассажиро-

оборот в 2016 году 323,9 тыс. человек. Имеются вопросы, связанные с организацией транспортировкой грузов и пассажиров местных воздушных линий (недостаток финансирования, износ воздушного флота). Планы ПАО РЖД по сокращению перевозок на местных направлениях требует строительства местных взлетно-посадочных полос и реконструкции аэропортового комплекса «Игнатьево». Актуальными становятся вопросы безопасности авиаперевозок.

Речные маршруты. Имеют не большое транспортное значение внутри транспортной сети. Являются шлюзом для международной торговли с Китаем (по реке Амур, основной пункт приема в Китае – город Хэйхе). Активно используется в связи с расположением города Благовещенск на стыке рек Амур и Зея. С помощью речных маршрутов осуществляется до 30 % (около 880 тыс. человек) пассажиропотока через русско-китайскую границу, в том числе автобусами по наплавным (понтонным) мостам. Имеются вопросы, связанные со старением речного флота региона. Отмечено снижение пассажиропотока паромным транспортом (высокие внутренние издержки, ужесточение требований к организации перевозок и т.д.). Торговый порт Благовещенска располагает 52 единицами флота, в том числе: 1 единица – пассажирский, 12 единиц – буксирный, 2 единицы - самоходный сухогрузный, 23 единицы – несамоходный сухогрузный, 7 единиц – вспомогательный флот, 6 плавучих кранов и 1 земснаряд проекта Р-010, производительностью 250 куб/час.

Железнодорожная сеть. Является шлюзом для внутрироссийского и международного сообщения грузов и пассажиров. Связывает город Благовещенск с Байкало-Амурской магистралью и Транссибирской железнодорожной магистралью, а также имеет внутриобластное значение. На основании предложения министерством транспорта и дорожного хозяйства области совместно с Забайкальской региональной дирекцией железнодорожных вокзалов прорабатывается возможность создания на территории железнодорожного вокзала Благовещенск транспортно-пересадочного узла.

Для рассмотрения в работе предлагается использовать только улично-дорожную сеть города Благовещенск, поскольку:

- речной транспорт не представляет большого транспортного значения;
- железнодорожная сеть ориентирована на представление транспортных услуг за пределами города Благовещенск;
- авиаперевозки ориентированы на представление транспортных услуг за пределами города Благовещенск, аэропорт территориально расположен за пределами города.

1.4 Общая постановка решения задачи

Стремительно развивающаяся автомобилизация в г. Благовещенск привела к значительному росту интенсивности и плотности транспортных потоков. Существенное отставание развития городской улично-дорожной сети (УДС) приводит к несоответствию ее пропускной способности для эффективного и безопасного движения транспортных потоков.

В результате исследования и анализа предметной области была выявлена проблема. На основных магистралях г. Благовещенск (особенно в часы «пик») возникают заторовые ситуации (вплоть до транспортных «пробок»), сопровождающиеся значительными транспортными задержками, которые в свою очередь, ведут к неоправданным потерям в сфере производственной деятельности, к росту уровня загрязнения окружающей среды, к повышению вероятности возникновения дорожно-транспортных происшествий.

Исходя из этого было принято решение создать программный продукт для моделирования улично-дорожной сети города, проведения экспериментов с моделью и получением результатов эксперимента, на основе информации, полученной при исследовании транспортных потоков. Это, несомненно, позволит демонстрировать, а также прогнозировать ситуацию на дорогах г. Благовещенск.

Таким образом, в ходе работы был проведен обзор существующих методов решения задач рассматриваемой проблематики. Также была произведена общая постановка решения задачи.

2 АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

2.1 Математические модели транспортных потоков

Имитационные модели представляют собой детальное представление транспортного потока, включая его изменение во времени. Особенностью данного моделирования является детальное представление всех (или подавляющего большинства) элементов транспортного потока (дороги, перекрестки, развязки, транспортные средства, пешеходы, средства регулирования потоков – светофоры, знаки, шлагбаумы и т.д.), могущих иметь самостоятельное внутреннее состояние и независимое от остальных элементов поведение. В основе имитационных моделей могут лежать различные принципы представления реальных объектов (диаграммы зависимостей, функции, агенты (объекты) и т.д.), а также применяться различные методики (например, представление модели как системы массового обслуживания, агентно-ориентированный подход и т.д.). Частое использование в имитационном моделировании расчетов, основанных на учете большого количества параметров независимых участников транспортного потока, приводит к повышенным требованиям к аппаратным ресурсам, реализующим модель транспортных потоков. Целями имитационного моделирования являются:

- изучение поведения полученной модели;
- эксперименты с параметрами модели, направленные на изучение свойств модели в различных условиях;
- получение выводов, рекомендаций и прогнозов для сложных систем, для которых построение натуральных моделей является затруднительным (например, моделирование транспортной сети города);
- построение симуляторов и тренажеров;
- техническое обоснование заключений на объект, для которого построена модель;
- получение данных о возможностях управления и регулирования процессов, протекающих в моделях.

Рассмотрим классификацию моделей транспортного потока.

Модели, применяемые для анализа транспортных сетей, весьма разнообразны.

При этом на данный момент не существует исчерпывающей классификации методов моделирования.

Наиболее приемлемой считается классификация моделей транспортного потока по двум важным характеристикам: уровню детализации и методу моделирования. Данная классификация представлена в приложении А.

Рассмотрим более подробно основные модели транспортных потоков.

Гравитационная модель исторически возникла одной из первых и часто используется при моделировании взаимодействия внутри сложных систем различного характера. Она заключается в представлении, основанном на некоторых центрах, создающих основу для взаимодействия друг с другом (например, промышленная зона или коммерческий центр города создают потребность в транспортном потоке из жилых кварталов утром и обратно вечером). Такие модели с некоторыми поправками описываются формулами, похожими на формулу Ньютона для закона всемирного тяготения – два центра масс (взаимодействий, влияния, потребностей) создают некоторый поток (денежный, транспортный и т.д.).

Сама модель представляет собой расчет взаимодействия всех центров между собой и позволяет спрогнозировать плотность и загруженность транспортного потока.

Гравитационная модель в классическом виде имеет вид:

$$p_{ij} = k \frac{s_i d_j}{c_{ij}^2}, \quad i \in S, \quad j \in D \quad (1)$$

где s_i – общий объем исходящего трафика из пункта $i \in S$;

– d_j – общий объем входящего трафика в пункт $j \in D$;

– c_{ij} – затраты на перемещение из пункта i в пункт j ;

– k – поправочный коэффициент, $k > 0$.

Рассматривая данную модель, можно утверждать, что в данном виде, она не в полной мере отвечает требованиям моделирования транспортных потоков. Проблемой классической гравитационной модели является несоответствие объемов

трафиков s_i и d_j и результирующему объему p_{ij} , так увеличение s_i и d_j в 2 раза приведет к увеличению p_{ij} в 4 раза, что не соответствует практическим наблюдениям за транспортным потоком уличных дорожных сетей.

Энтропийная модель. Как и гравитационная модель, энтропийная является универсальным подходом для описания процессов, проходящих в сложных системах с участием большого количества небольших самостоятельных агентов (таких как автотранспортные средства). В основу энтропийной модели положено наблюдение за потоком, состоящим из большого числа дискретных элементов, пришедшее из физики. Данные элементы стремятся равномерно заполнить представленный им объем (место, возможность) при накладываемых ограничениях.

Рассмотрим пример. Имеется две конечные точки А и Б, между которыми проложено два маршрута (например, маршрут А является автомобильным, маршрут Б является железнодорожным). При одинаковой стоимости передвижения оба потока будут иметь одинаковую плотность, в соотношении 1: 1. Допустим, имеется потребность в перемещении 300 человек. Тогда соотношение составит 150 человек автотранспортом и 150 человек железнодорожным транспортом. При снижении стоимости проезда на железнодорожном транспорте в два раза – 1: 2 (100 и 200 человек соответственно). При этом энтропийная модель утверждает, что, несмотря на снижение стоимости, часть транспортного потока все равно останется на автомобильном транспорте (это объясняется иными факторами помимо стоимости проезда – престиж, удобство использования и т.д.). Для построения корректной модели в энтропийную модель вводят различные ограничения (такие как стоимость проезда) – пропускная способность потока, потребности конечных точек маршрута, скорость потока, время движения и т.д. Аналогично гравитационной модели, энтропийная модель строится на обсчете всех узлов системы.

Математический аппарат энтропийной системы во многом соответствует формулам равновесного состояния жидкости (газа), где величину корреспонденций между пунктами p_{ij} выражают через $P(p)$:

$$P(p) = v(p)Q(p) \tag{2}$$

где $v(\rho)$ – вероятность каждой реализации матрицы ρ ;

– $Q(\rho)$ – количество состояний системы, соответствующих ρ .

Важным условием корректности результатов энтропийной модели является условие соблюдения баланса:

$$\sum_{j=1}^n p_{ij} = s_i, \sum_{j=1}^m p_{ij} = d_i, p_{ij} \geq 0, i \in S, j \in D \quad (3)$$

где n – источник трафика;

– m – приемник трафика;

– s_i – общий объем исходящего трафика из пункта $i \in S$;

– d_j – общий объем входящего трафика в пункт $j \in D$;

Для соответствия модели реальным наблюдениям в энтропийные модели могут вводиться и другие ограничения.

Модель промежуточных возможностей Стауффера. Данная модель основана на предположении о том, что взаимосвязи между точками маршрута в таких сложных системах, как транспортная система городской агломерации, порождают огромное количество альтернативных маршрутов. Участники транспортного потока регулярно оценивают альтернативы и выбирают оптимальный на основании имеющихся у них сведений. При этом следует учитывать, что самый короткий маршрут часто не является самым оптимальным по иным критериям (например, дорожная пробка может сделать самый короткий по расстоянию маршрут самым длинным по времени нахождения в потоке). Достигая некоторых контрольных точек, участники транспортного потока проводят оценку оптимальности маршрута и, при необходимости, меняют его на более оптимальный с их точки зрения (время проезда, стоимость проезда, узлы, которые необходимо обязательно посетить в маршруте и т.д.).

Для модели с одним центром отправления:

$$p_n = O\lambda_n \prod_{j=1}^{n-1} (1 - \lambda_j) \quad (4)$$

где p_n – корреспонденция;

– O – объем отправления;

– λ_n – вероятность остановки в узле n , при условии возможности его достижения.

Из (4) следует, что объем корреспонденции для узла n прямо пропорционален произведению вероятности остановки в данном узле на вероятность того, что участник движения не делал остановки ранее.

Основываясь на (4) для модели с несколькими центрами отправления:

$$p_{ij} = O_i (\exp(-\lambda U_j) - \exp(-\lambda U_{j+1})) \quad (5)$$

где O – объем отправления;

– λ – константная вероятность остановки в узле, при условии возможности его достижения;

– U_j – кумулятивная емкость по прибытию всех центров, предшествующих центру j .

Модель равновесного распределения потоков основана на оценке участников транспортного потока цены передвижения в конечную точку.

Перемещаясь между узлами, участники движения проводят оценку стоимости движения и вырабатывают новый маршрут, оптимальный по стоимости перемещения.

Оценка их стоимости движения определяет интенсивность движения и плотность потока на определенных участках маршрута (между узлами).

Ключевой особенностью модели равновесного распределения потоков является наступление равновесия, при котором:

– все используемые маршруты из точки А в точку Б будут иметь одинаковую цену В;

– все возможные, но не используемые маршруты из точки А в точку Б будут иметь цену превосходящую минимальную В.

При равновесном движении ни один из участников движения в транспортном потоке не может уменьшить стоимость передвижения, так как предполагается, что он уже выбрал наиболее оптимальный по стоимости маршрут.

В отличие от модели промежуточных возможностей все ограничивающие факторы пересчитаны в один показатель – стоимость движения до конечной точки маршрута.

Рассмотрим функцию распределения потоков:

$$F(u) = \sum C_a(u_a) \quad (6)$$

где $C_a(u_a)$ – функция стоимости потока;

u_a – суммарный поток по дуге $a \in A$, A – множество дуг в сети.

Для формулы (6) в транспортном потоке характерна минимизация стоимости потока (так как водители транспортных средств стремятся оптимизировать маршрут настолько насколько возможно), поэтому данная модель не подходит для анализа пассажиропотока общественного транспорта (где пассажир не может заставить транспортное средство перемещаться по кратчайшему маршруту).

Модель оптимальных стратегий наиболее часто применяется для оценки пассажиропотока общественного транспорта.

Она исходит из того, что действия пассажиров основываются на построении оптимальной стратегии перемещения до конечной точки в пути следования. В данном случае оптимальная стратегия — это некоторый набор правил, инструкций, руководств, следуя которым пассажир достигает цели с минимум затрат.

При простом следовании в соответствии с маршрутом данная модель с точки зрения пассажира вырождается в модель равновесного распределения потоков.

Но в пути следования пассажир, в случае получения какой-либо информации, может менять свой маршрут (например, на ожидая на остановке участник движения может принимать решение об использовании того или иного автобусного маршрута – ждать автобус с оптимальным маршрутом следования или выбрать бо-

лее быстрый, но не соответствующий оптимальному маршруту и начать движение немедленно).

Основная стратегия пассажира:

- для каждого центра (узла графа) в котором может оказаться пассажир, он составляет некий набор возможных маршрутов (продолжений), без учета остальных. Такие маршруты считаются плановыми, они формируются пассажирами до начала перемещений в транспортном потоке;
- оказавшись в центре, в процессе перемещения в транспортном потоке, пассажир, выбирает первый возможный вариант обслуживания (первое транспортное средство, предоставляющее возможность достижения цели).

Стратегия пассажира должна удовлетворять критериям оптимальности:

- в маршруте должны отсутствовать циклы (пассажир не возвращается в центре, если уже был там);
- стратегия гарантирует доставку пассажира в конечный пункт перемещения;
- пассажир выбирает маршрут с меньшей стоимостью, меньшим числом центров и меньшими временными затратами.

Количество пассажиров, использующих стратегии, не удовлетворяющих критериям оптимальности, незначительно и практически не влияет на модель.

LW модель. В основе LW модели (названной так по первым буквам фамилий авторов модели) лежит использование математического аппарата, используемого при расчетах кинематических волн. Расчет кинематических волн учитывает зависимость плотности потока от скорости в нем (то есть определенная загруженность дороги возможна только в случае движения автомобиля с определенными скоростями, при иных скоростях плотность потока изменяется).

Общее уравнение модели имеет вид:

$$\partial_t p + \partial_x (pV) = 0 \quad (7)$$

где p – плотность транспортного потока;

– V – скорость транспортного потока;

– t – время в потоке;

– x – место в потоке.

Средние значения:

$$V(x, t) = V_{\varepsilon}(p(x, t)) \quad (8)$$

где – $V(x, t)$ – средняя скорость в потоке;

– $p(x, t)$ – средняя плотность потока;

– V_{ε} – равновесное значение скорости при данной плотности автомобилей.

Данная модель имеет ряд недостатков, связанных с искусственной неравномерностью скорости движения на дорожном полотне (например, выезды на сложные развязки, мосты и т.д. снижают скорость транспортного потока, данная модель подобные факторы не учитывает).

Кроме того, кинематические волны скачкообразно меняют зависимость скорость от плотности потока, что в случае с транспортным потоком наблюдается не всегда (в пробках автомобили вынуждены резко трогаться и останавливаться).

Также LW модель не позволяет получить корректных результатов при значительно большом и пренебрежительно малом количестве автотранспорта.

Кинетические модели за основу берут сходство поведения автотранспортных средств с поведением молекул и атомов в различных средах с использованием математического аппарата микроскопической теории процессов в неравновесных средах с помощью кинетических уравнений.

Рассчитанные параметры поведения транспортного средства переносятся на поток, результатами которых возможно определить общее количество автотранспортных средств, и как следствие установить плотность транспортного потока.

В кинетической модели есть несколько начальных условий, которым должна удовлетворять модель:

- в результате обгона скорость участников движения не изменяется;
- скорость автомобилей, следующих перед данным не меняется;
- скоростной режим автомобиля в результате взаимодействия меняется мгновенно;

- возможно взаимодействие только пар автомобилей;
- взаимодействие является точечным (без учета размеров автомобилей и расстояний между ними);
- скорости автомобилей не коррелированы между собой.

Основные недостатки кинетической модели:

- некорректные результаты при неоднородности транспортного потока;
- скорости автомобилей зависят от других участников дорожного движения.

Для их устранения используют различные варианты кинетических моделей, в тоже время кинетические модели устанавливают важную зависимость скорости потока от его плотности (рисунок 2).

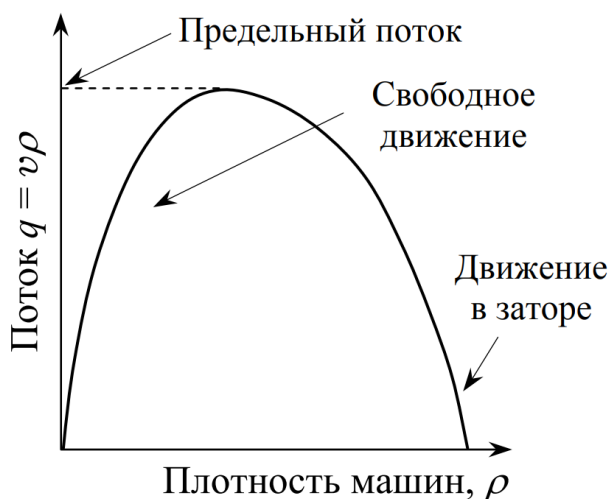


Рисунок 2 – Зависимость плотности транспортного потока от его скорости

Модель следования за лидером основана на предположении, что большинство водителей автотранспортных средств пытаются адаптировать свою скорость в соответствии со скоростью первого автомобиля (лидера транспортного потока).

В обобщенном виде такая модель не учитывает безопасную дистанцию между автомобилями, а также иные реальные процессы потока (заторы, ударные волны и т.д.). Также модель следования за лидером не учитывает фундаментальной особенности транспортного потока – зависимости плотности потока от скорости перемещения автотранспортных средств. Модель следования за лидером не учитывает поведение отдельного автотранспортного средства (так как у него нет лидера, то

и скорость его должна быть равна нулю). В настоящее время модель следования за лидером в чистом виде не применяется, в тоже время существует большое количество различных модификаций, одна из которых модель оптимальной скорости.

В общем виде модель следования за лидером представляется как:

$$v_n(t) = \frac{1}{\tau} [v_{n-1}(t) - v_n(t)] \quad (9)$$

где $v_n(t)$ – скорость движения автомобиля;

τ – время адаптации.

Равновесное уравнение зависимости скорости от плотности потока:

$$V_e(\rho) = V_0 \left[1 - \left(\frac{\rho}{\rho_{max}} \right)^{m2-1} \right]^{1/(1-m1)} \quad (10)$$

где V_e – равновесная скорость;

V_0 – скорость без помех (желаемая скорость движения автотранспортного средства);

ρ – плотность автомобилей на участке;

ρ_{max} – максимально возможная плотность автомобилей в потоке;

$m1, m2$ – константы, получаемые на основе наблюдений за реальным автотранспортным потоком.

Модель оптимальной скорости отличается от основной модели следования за лидером использованием поправочных коэффициентов и членов уравнения, учитывающих некоторые особенности транспортного потока. В качестве особенностей транспортного потока выступает безопасное расстояние между автомобилями (и как следствие безопасная скорость).

Таким образом, привязываясь к лидеру, возможно рассчитать скорость автомобиля в транспортном потоке и определить количество автомобилей на указанном участке дороги.

Как и в общей модели следования за лидером, модель оптимальной скорости не прослеживает фундаментальной зависимости плотности потока от скорости перемещения транспортных средств.

В математическом выражении модель оптимальной скорости представляет собой попытки исправить недостатки модели следования за лидером путем введения дополнительных зависимостей.

Адаптация по скорости запаздывания реакции:

$$v_n(t + \Delta t) = v'_e(d_n(t)) \quad (11)$$

где – $v'_e(d_n)$ – скорость движения за лидером с учетом безопасного расстояния;

– d_n – дистанция (расстояние до лидера);

– Δt – разница в изменении скорости движения по отношению к лидеру (запаздывание реакции водителя на изменение скоростного движения лидирующего транспортного средства).

Общий вид в соответствии с моделью следования за лидером:

$$v_n(t) = \frac{1}{\tau} (v'_e(d_n(t)) - v_n(t)) \quad (12)$$

где – $v_n(t)$ – скорость движения автомобиля;

– $v'_e(d_n)$ – скорость движения за лидером с учетом безопасного расстояния;

– τ – время адаптации.

Модель Трайбера (модель разумного водителя) предполагает, что ускорение автотранспортного средства представляет собой непрерывную функцию скорости, чистой дистанции до лидера и скорости относительно лидера.

Данная модель удобна, тем, что может рассчитываться индивидуально под параметры конкретного автотранспортного средства (группы транспортных средств с одинаковыми характеристиками).

Имеет результаты, более сочетающиеся с наблюдаемыми в сравнении с моделью оптимальной скорости.

Модель Трайбера вводит расчет чистой дистанции:

$$s_n = d_n - l_n \quad (13)$$

где – s_n – полное расстояние;

– d_n – дистанция до лидера;

– l_n – длина автотранспортного средства.

Динамика ускорения автомобиля:

$$\varphi_n = a_n [1 - (\frac{v_n}{v_n^0})^\delta] \quad (14)$$

где – a_n – ускорение автомобиля;

– v_n – скорость автомобиля;

– v_n^0 – начальная скорость автомобиля;

– δ – калибровочный параметр разгона для адаптации к наблюдаемым результатам.

Торможение при взаимодействии с лидером:

$$Q_n = a_n [s_n^* \frac{(v_n \Delta v_n)}{s_n}]^2 \quad (15)$$

где – a_n – ускорение автомобиля;

– v_n – скорость автомобиля;

– Δv_n – изменение скорости автомобиля;

– s_n – дистанция;

– s_n^* – желаемая дистанция.

Непрерывная функция скорости:

$$v_n = \varphi_n - \varrho_n \quad (16)$$

где – v_n – скорость автомобиля;

– φ_n – динамика ускорения автомобиля;

– ϱ_n – торможение при взаимодействии с лидером.

Моделирование с помощью клеточных автоматов рассматривает участников транспортного потока как набор некоторых параметров, обсчет которых требуется проводить индивидуально, но с учетом влияния соседних наборов. Способно учитывать ускорение, торможение, случайные возмущения и движение отдельного транспортного средства в общем потоке [19].

Особенностью клеточных автоматов является возможность строить детальные микроскопические модели различных элементов транспортной системы (ограничено только представленными вычислительными мощностями).

Например, моделирование перекрестка позволяет отследить положение и параметры каждого автотранспортного средства на каждом шаге функционирования модели, вести запись данных состояний и отслеживать возникающие закономерности. Для этого представленные участки дороги разбивают на большое количество одинаковых ячеек, в которых могут находиться автотранспортные средства (как правило, только одно).

2.2 Обеспечивающие подсистемы. Математическое проектирование программного обеспечения

Для решения поставленной задачи моделирования транспортных потоков г. Благовещенск предлагается использовать собственную макроскопическую модель транспортной сети на основе базовых принципов гравитационной модели.

Представим модель как граф [20], узлами которого являются центры притяжения потоков (в городских агломерациях ими являются различные объекты – жилые районы, промышленные зоны, деловые центры и т.д.).

Узлы имеют набор параметров, описывающих центры притяжения потоков:

- количество имеющихся транспортных средств – `count_trans`;
- максимальная вместимость транспортных средств центра – `max_trans`;
- величина случайного распределения – показатель количества транспортных средств, игнорирующих центры масс и хаотично распределяющихся в транспортной системе города – `value_random`, в диапазоне от 0 до 1.

Величина случайного распределения необходима для коррекции гравитационной модели, так как не все автотранспортные средства совершают перемещения и создают транспортные потоки строго в соответствии с формулами взаимодействия двух центров (например, не все едут с утра на работу, а автобусные маршруты не являются кратчайшими расстояниями до центра притяжения потока). Случайное распределение равномерно загружает всю транспортную сеть (в результате плотность отдельного транспортного потока увеличивается незначительно).

Между центрами притяжения потоков располагаются промежуточные звенья (например, перекрестки, развязки) – также узлы графа, соединяющие ребра с разными характеристиками (не имеют параметров).

Ребрами графа являются пути достижения центров притяжения потоков (улицы, образующие улично-дорожную сеть города), имеют следующие показатели:

- максимальная вместимость транспортного потока (`maximum`) – максимальное количество автотранспортных средств, которые могут находиться на данном пути (может быть установлена отношением рабочей площади дорожного полотна по отношению к средней площади автотранспортного средства с учетом безопасного расстояния между автомобилями);
- ограничительный коэффициент (`limit`) – величина, уменьшающая плотность транспортного потока, с помощью него учитываются такие элементы транспортного потока как пешеходные переходы, знаки ограничения скорости и т.д. Данный показатель может интерпретироваться как средняя скорость автотранспортных средств на участке транспортного потока (представляет собой диапазон значений от 0 до 1). Данный показатель может быть получен наблюдением за участком транспортного потока.

– плотность потока (traffic) – расчетное количество автомобилей, находящихся на участке транспортного потока.

Показатели участка транспортного потока привязываются к единице времени, например, максимальная вместимость транспортного потока за один час и т.д.

Динамика модели определяется следующим образом:

- в центры притяжения потоков вносятся количество имеющихся транспортных средств *count_trans* (приблизительная оценка, получаемая путем наблюдения за центром притяжения потока значительный период времени). Максимальная вместимость транспортных средств центра (*max_trans*) и величина случайного распределения (*value_random*) являются постоянными величинами, также полученными в результате длительных наблюдений за объектом;
- для каждого центра притяжения вычисляется потребность *need_trans*, как:

$$need_trans = max_trans - count_trans \quad (17)$$

– для каждого центра притяжения строится распределение транспортных средств по правилу: расчет начинается для центров притяжений с максимальным значением *need_trans* путем построения маршрутов от центров притяжений с минимальным значением *need_trans*.

В качестве алгоритма поиска маршрутов предлагается использовать алгоритм полного перебора всех узлов графа для получения конечных маршрутов.

Рассмотрим простую модель графа (рисунок 3).

Предположим, что в городской агломерации закончился рабочий день, и люди едут с работы домой (то есть направление следования от узла 1 к остальным). Привязка к ритму жизни города в течение суток является важным элементом модели, так как влияет на количество имеющихся транспортных средств (*count_trans*) в каждом центре притяжения.

Интерпретация узлов в модели:

- 1 – деловой центр;
- 2 – жилой район;

- 3 – жилой район;
- 4 – перекресток;
- 5 – жилой район.

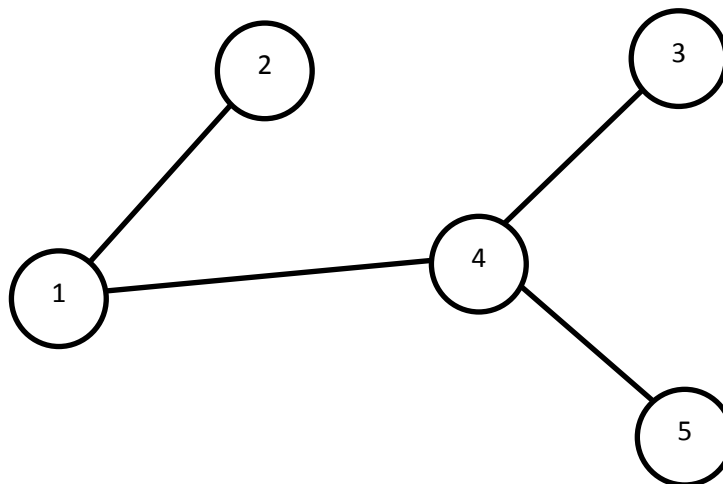


Рисунок 3 – Простейшая модель транспортной сети

Предположим, что в городской агломерации закончился рабочий день, и люди едут с работы домой (то есть направление следования от узла 1 к остальным). Привязка к ритму жизни города в течение суток является важным элементом модели, так как влияет на количество имеющихся транспортных средств (`count_trans`) в каждом центре притяжения.

Величина случайного распределения для всех центров притяжения (`value_random`) – 1 процент от количества имеющихся транспортных средств (`count_trans`) или 0,01 в абсолютном выражении.

Параметры узлов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры узлов модели

№	Наименование	value_random	max_trans	count_trans	need_trans
1	Деловой центр	0,01	2000	1800	200
2	Жилой район	0,01	1000	100	900
3	Жилой район	0,01	500	50	450
4	Перекресток	-	-	-	-
5	Жилой район	0,01	500	50	450

Для упрощения восприятия работы модели предположим, что все ребра имеют одинаковые параметры:

- maximum – 100;
- limit – 0,98.

Вычисляем случайное распределение на участках транспортного потока *traffic_random*:

$$tr = \frac{\sum(count_trance_n \times value_random_n)}{m \times n} \quad (18)$$

где, *count_trans* – количество транспорта на узлах притяжений;

- *value_random* – величина случайного распределения;
- *n* – общее количество узлов;
- *m* – общее количество транспортных потоков.

Расчет представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Случайное распределение на участках транспортного потока

№	Наименование	count_trans	value_random	traffic_random
1	Деловой центр	1800	0,01	18
2	Жилой район	100	0,01	1
3	Жилой район	50	0,01	0,5
5	Жилой район	50	0,01	0,5

Расчет для узла 4 (Перекресток) не производится. Итого, общая загрузка каждой дороги:

$$traffic_random_{общ} = (\sum traffic_random) / (m \times n) \quad (19)$$

где, *traffic_random_общ* – общая загрузка дороги;

- *n* – общее количество узлов;
- *m* – общее количество транспортных потоков.

$$\text{traffic_random}_{\text{общ}} = 20 / (5 \times 4) = 1 \text{ ед};$$

traffic_random является начальной плотностью потока, статистическая погрешность, которая всегда присутствует в транспортной сети (человек едет совершать покупки, в больницу, забирать детей из школы и т.д.).

Равномерно уменьшаем count_trans каждого узла притяжения на количество автотранспортных средств (поскольку расчет будет вестись для плотности, а не для натуральных единиц, допускается использовать дробные величины).

Начальная плотность потока – 1 ед., всего транспортных потоков – 4 шт., общее количество транспорта в распределении: $1 \times 4 = 4$ ед.

Величина, на которую следует уменьшить count_trans = $4 / 4 = 1$ ед.

Значения count_trans для каждого узла, представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Изменение количества автотранспортных средств в центрах притяжения

№	Наименование	count_trans ₀	count_trans ₁
1	Деловой центр	1800	1799
2	Жилой район	100	99
3	Жилой район	50	49
5	Жилой район	50	49

Начальная плотность транспортных потоков представлена на рисунке 4.

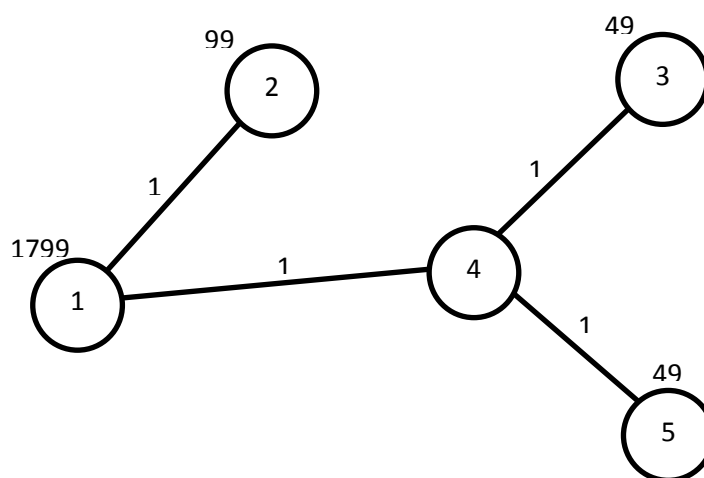


Рисунок 4 – Начальная плотность транспортных потоков

При интерпретации полученных результатов, нужно учитывать, что это условная плотность, не учитывающая параметры дорожного полотна (без учета параметров ребер графа).

Определяем маршруты.

Расположение узлов в соответствии с уровнем `need_trance`:

- узел 2 – `need_trance` = 900;
- узел 3 – `need_trance` = 450;
- узел 5 – `need_trance` = 450;
- узел 4 – не рассматриваем, поскольку он является промежуточным звеном;
- узел 1 – `need_trance` = 200, не рассматриваем, поскольку движение для него рассчитывается в обратном направлении.

Маршруты:

- узел 1 – узел 2, ребра графа: 1-2;
- узел 1 – узел 3, ребра графа: 1-4, 4-3;
- узел 1 – узел 5, ребра графа: 1-4, 4-5.

Определяем максимальную плотность.

Шаг 1.

Узел 1 – Узел 2: весь путь, максимальная плотность - 899 (`need_trance2` – начальная плотность).

Так как путь состоит из одного ребра, максимальная плотность для 1-2 = 0 + 899 = 899.

$$\text{count_trans1} = 1799 - 899 = 900.$$

Шаг 2.

Узел 1 – Узел 3: весь путь, максимальная плотность - 900 (`need_trance2` – начальная плотность).

Распределение между ребрами равномерное (максимальная плотность ничем не ограничена):

$$1-4 = 0 + 450 = 450.$$

$$4-3 = 0 + 450 = 450.$$

$$\text{count_trans1} = 900 - 450 = 450.$$

Шаг 3.

Узел 1 – Узел 5: весь путь, максимальная плотность - 449 (need_trance2 – начальная плотность). Распределение между ребрами равномерное (максимальная плотность ничем не ограничена):

Результат представлен на рисунке 5.

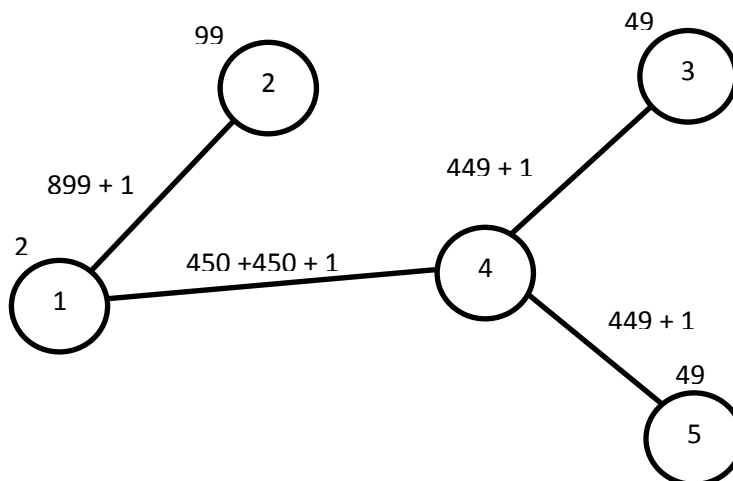


Рисунок 5 – Результат распределения максимальной плотности

$$1-4 = 450 + 450 = 900.$$

$$4-5 = 0 + 450 = 450.$$

$$\text{count_trans1} = 451 - 450 = 1.$$

Уже на данном этапе можно провести сравнение плотности потока относительно друг друга без учета параметров участков транспортного потока. Результат сравнения представлен на рисунке 6.

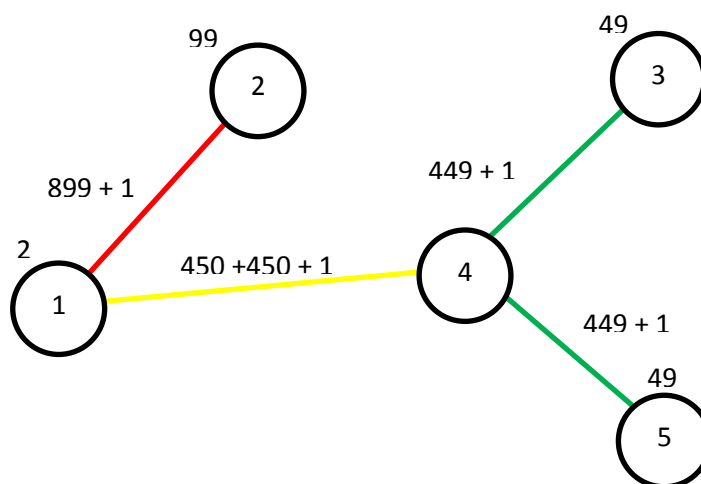


Рисунок 6 – Сравнение максимальных плотностей потока

Красным отмечена максимальная плотность, желтым средняя и зеленым низкая плотность.

Вводим временные ограничения.

Модель, построенная ранее, не учитывает параметры ребер графа (участков транспортного потока), их влияние возможно определить, введя временные координаты (максимальный поток отображен как одновременное перемещение всех автотранспортных средств за единицу времени). Для этого необходимо равномерно разделить транспортный поток на количество временных квантов. Допустим, что отсчет ведется в течении 4-х часов. Тогда поток в час:

Проведем расчет пропускной способности ребер (так как изначально считаем, что все ребра имеют одну пропускную способность). Пропускная способность ребра составит: $\text{maximum} \times \text{limit} = 98$ автотранспортных средств в час (значения взяты виртуально для представления модели).

Ребро 1-2. Ожидаемая плотность движения в час $900 / 4 = 222,5$, фактическая плотность составит 98, время на поддержание транспортного потока – 9 часов.

Ребро 1-4. Ожидаемая плотность движения в час $900 / 4 = 225$, фактическая плотность составит 98, время на поддержание транспортного потока – 9 часов.

Ребро 4-5, 4-3. Ожидаемая плотность движения в час $450 / 4 = 112,5$, фактическая плотность составит 98, время на поддержание транспортного потока – 4,5 часов.

Анализируя данную модель можно утверждать, что наиболее опасный с точки зрения образования пробок представляет маршрут 1-2 из-за значительной загруженности участка транспортного потока.

2.3 Алгоритм решения задачи

Получение алгоритма проведем методом от «общего к частному» путем последовательной детализации каждого шага описанного выше метода.

Общий вид алгоритма:

- 1 – начальная инициализация узлов сети;
- 2 – вычисление ожидаемой потребности узла в транспортных средствах (`need_trans`);

- 3 – расчет распределения транспортных средств в узлах транспортной системы;
- 4 – расчет максимальной плотности потока в ребрах ($count_trans$);
- 5 – привязка модели к временным ограничениям транспортной системы.

Проведем детализацию процесса:

а) начальная инициализация узлов сети:

- 1) запись начального значения количества сосредоточенных транспортных средств узла ($count_trans$);
- 2) начальная установка максимальной вместимости транспортных средств узла (max_trans);
- 3) начальная установка величины случайного распределения ($value_random$);

б) вычисление ожидаемой потребности каждого узла в транспортных средствах ($need_trans$) в соответствии с формулой (17);

в) расчет распределения транспортных средств в узлах транспортной системы:

- 1) проведем расчет случайного распределения ($traffic_random$) для каждого узла транспортной системы в соответствии с формулой 18;
- 2) определяем общую величину начальной плотности транспортного потока;
- 3) равномерно уменьшаем количество транспортных средств в узлах на величину начальной плотности транспортного потока;
- 4) равномерно распределяем величину начальной плотности транспортного потока на все ребра (участки автотранспортной сети) графа;
- 5) построим маршруты от узла N к узлу M при соблюдении условия:
 $need_trans_N > need_trans_M$;

г) расчет максимальной плотности потока в ребрах ($count_trans$) для каждого ребра в маршруте (определяем теоретическую величину максимально возможного количества автомобилей на участке пути за весь период времени как разницу ожидаемого количества автомобилей в узле ($need_trans$) и начального распределения на участке дороги (общей величины начальной плотности транспортного потока));

д) привязка модели к временным ограничениям транспортной системы для каждого ребра графа:

- 1) введем общее время наблюдения за моделью в часах;

- 2) определим плотность потока в час как общее количество автомобилей, разделенное на время наблюдения;
 - 3) учтем ограничение участка пути, определив фактическую плотность потока: если допустимая плотность транспортного потока для данного участка пути меньше расчетной, используем допустимую плотность транспортного потока;
 - 4) определим время на поддержание потока как отношение ожидаемой плотности потока в час к фактической плотности потока;
 - 5) проведем сравнение с предыдущим участком пути, если время на поддержание потока предыдущего ребра больше, то используем его как время поддержания потока на участке движения;
- е) анализ результатов работы модели транспортных потоков:
- 1) поиск наиболее загруженных участков транспортного потока (вероятность создания пробок), путем анализа времени на поддержание транспортного потока – правила выборки: время на поддержание транспортного потока превышает 1,5 кванта;
 - 2) поиск неэффективных участков транспортного потока (вероятность пробок и аварийных ситуаций), путем сравнения с предыдущим ребром маршрута, при условии, что узел, который связывает ребра, является промежуточным (перекресток, развязка и т.д.), по правилу отклонения потока более, чем в 1,5 раза от среднего.

В общем виде работа алгоритма представляет собой построение и обсчет элементов графа на основании особенностей модели.

3 ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

3.1 Описание модели. Характеристика функциональных подсистем

Описание модели будем проводить с использованием широкого распространённого и одного из самых удобных инструментов моделирования – UML 2.0. Данное средство представления моделей имеет несколько способов описания модели в различных разрезах.

Общее описание, выраженное в ожиданиях пользователей в удовлетворении своих потребностей, представляется диаграммой вариантов использования. Согласно общим требованиям, к имитационным моделям предъявляются следующие запросы:

- возможность вносить исходные данные, на основании которых строится модель (метаданные);
- возможность вносить исходные данные эксперимента;
- возможность проводить эксперимент;
- возможность получать результаты эксперимента.

Главная целевая функция разрабатываемого проекта – удовлетворение потребности в автоматизации разработки модели и проведения экспериментов с ней.

Диаграмма вариантов использования представлена в приложении Б. Важно учитывать, что данная диаграмма предназначена для начального согласования требований заказчиков, и не отражает внутреннего устройства и особенностей проекта.

Рассмотрим последовательность действий пользователя. Пользователь разрабатываемой системы:

- создает модель;
- вносит данные модели;
- проводит эксперимент;
- получает результат эксперимента.

Особенностью разрабатываемой системы является факт, того, что пользователь, в большинстве случаев плохо представляет устройство и функционирование

модели. А анализируя последовательность действий пользователя, можно утверждать, что для использования модели пользователю нет необходимости разбираться в особенностях функционирования и устройства представляемой системы. Таким образом, можно выделить базовые субъекты системы:

- пользователь – выполняет основные управляющие действия;
- подсистема «Интерфейс» – согласовывает действия пользователя с операциями в модели, а также представляет данные в удобной для пользователя форме;
- подсистема «Модель» – это компонент (возможно набор компонентов), осуществляющий имитационное моделирование согласно представленной выше модели.

Объектами, над которыми осуществляются операции, будут являться:

- данные, на основании которых строится модель (метаданные) – входные данные системы;
- параметры модели – входные данные системы;
- результаты эксперимента – выходные данные системы.

Подсистема «Интерфейс» предназначена для конвертации данных, удобных для представления человеком, в данные необходимые для работы подсистемы «Модель», а также для конвертации данных, представляемых подсистемой «Модель» в данные, удобные для восприятия человеком.

Особенностью рассматриваемой системы является подсистема «Пользователь» – человек, оператор, осуществляющий работу с программой. Пользователь является необходимой частью рассматриваемой системы – отсутствие пользователя не позволяет добиться реализации целевой функции разрабатываемой системы (система является автоматизированной – для ее работы требуется участие человека).

Проведем анализ последовательности действий пользователя при работе с системой (приложение В).

Процесс внесения данных для проведения эксперимента по характеру действий не отличается от процесса внесения данных о дорожно-уличной сети города. Ярко выражена роль подсистемы «Интерфейс», представляющей посредником

между Пользователем и подсистемой «Модель». Преимуществом такого подхода является:

- дальнейшая возможность простого сопровождения и развития предлагаемой информационной системы (изменение в алгоритме модели не приведет к изменению поведения остальных подсистем, при условии соблюдения соглашений об используемом интерфейсе);
- возможность простой отладки системы (проблема легко локализуется в рамках конкретной подсистемы);
- возможность простой смены интерфейса пользователя, без изменений алгоритма работы модели (например, предоставление национальной локализации).

Проведение эксперимента осуществляется подсистемой «Модель», а интерпретацию его результата представляет подсистема «Интерфейс».

Общие принципы внесения данных и проведения эксперимента представлены в приложении В.

В проектируемом программном обеспечении можно выделить следующие функциональные модули.

Модуль пользовательского интерфейса. Модуль пользовательского интерфейса программы является важной частью программы, так как от результатов разработки этого модуля зависит «внешний вид» ИС, ее доступность и функциональность. В этом модуле производится контроль и управление функционированием всей системы.

Модуль данных. Набор функций и процедур, необходимых для обработки данных. После внесения входных данных программа начинает их обрабатывать. Процесс обработки данных включает в себя проведение экспериментов по моделированию улично-дорожной сети. После завершения обработки формируются выходные данные.

Модуль вывода результатов. Модуль вывода результатов отвечает за обработку и сохранение данных в отчет и вывод результатов на пользовательский интерфейс.

Ниже представлена схема взаимодействия функциональных модулей программного продукта (рисунок 7).

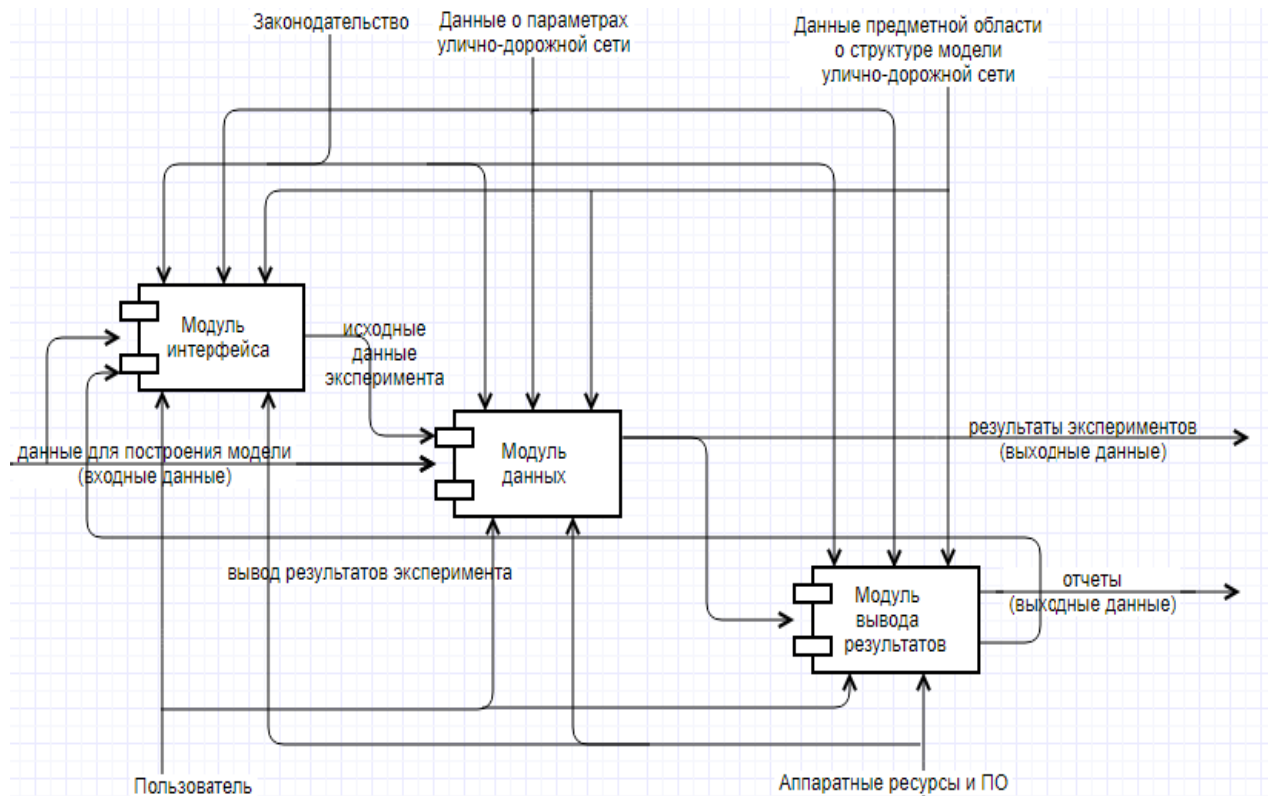


Рисунок 7 – Схема взаимодействия функциональных модулей

3.2 Анализ информационной системы

Анализ системы позволяет:

- строить модель системы и формировать проектную документацию (в частности техническое задание);
- изучать свойства систем;
- получать новые знания о составе, структуры и функциональности системы;
- предсказывать поведение системы в новых условиях.

Проведение анализа исследуемой системы достигается:

- изучением рассматриваемой системы;
- проведением классификации системы и ее подсистем, выделением их свойств и взаимосвязей;
- проведением проверки свойств системы.

Начальные представления характеризуются наличием нечетких границ системы, поскольку на данном этапе отсутствует формализованное описание системы.

Начальное представление о системе имеет вид, представленный на рисунке 8.

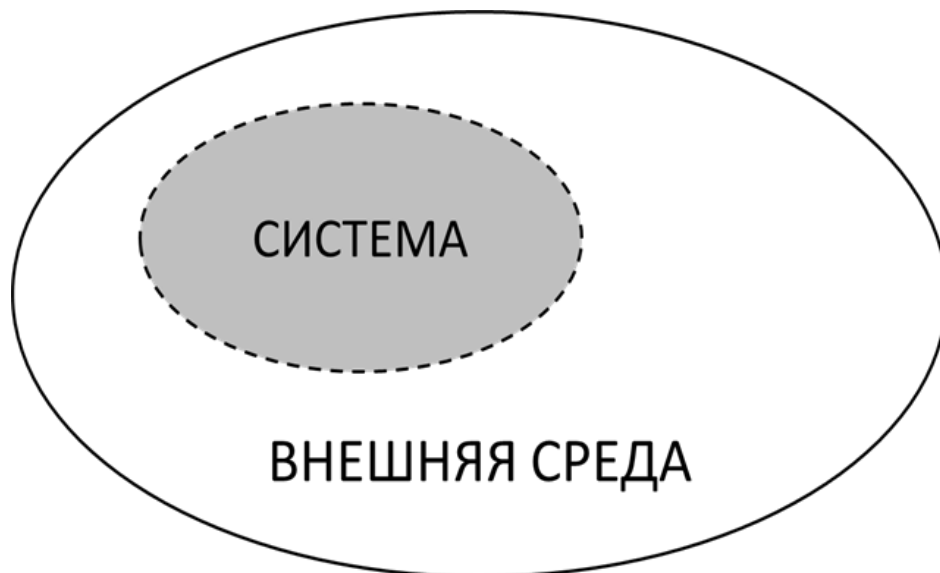


Рисунок 8 – Начальные представления о системе

Дополняя представления о системе сведениями, полученными в результате проектирования, можно описать систему более уточнено (рисунок 9). В данном случае:

- 1 – входы системы;
- 2 – выходы системы.

Сама система представляется более четкими границами, имеются требования, согласно которым можно утверждать, что любой рассматриваемый элемент является либо системой, либо внешней средой.

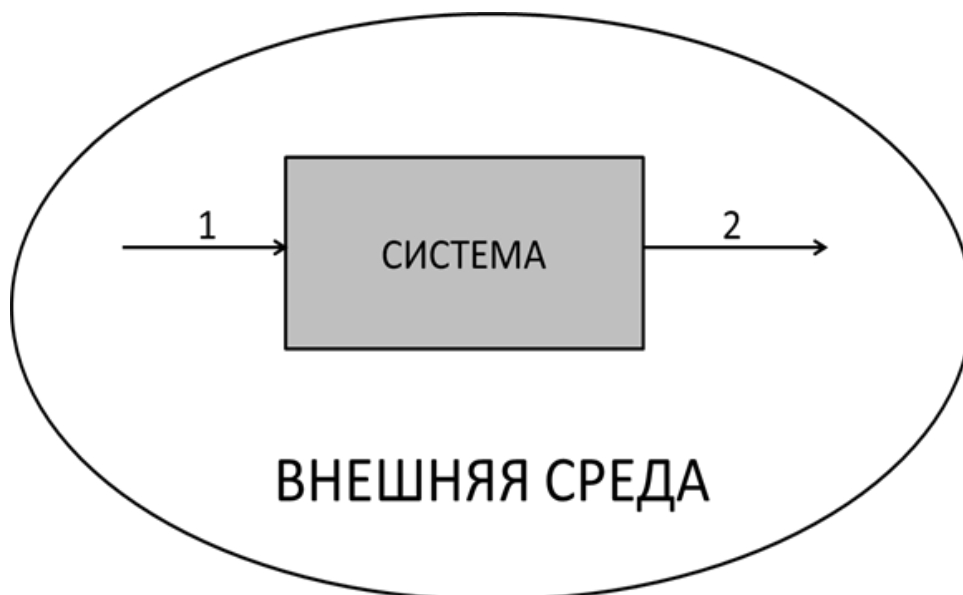


Рисунок 9 – Уточненные сведения о системе

Рассматривая нашу систему моделирования, можно обозначить границы системы – проектируемая система является программным обеспечением, представленным в виде автоматизированной информационной системы, предназначенной для проведения моделирования процессов улично-дорожной сети городской агломерации.

Входы системы:

- интерфейс программного продукта;
- данные, вносимые для построения модели (метаданные);
- данные, вносимые для проведения эксперимента.

Выходы системы:

- результаты эксперимента.

Компоненты внешней среды:

- данные предметной области о структуре модели улично-дорожной сети конкретного населенного пункта;
- данные о параметрах улично-дорожной сети в конкретный период времени;
- ресурсы, представляемые операционной системой;
- аппаратные ресурсы, представляемые вычислительной системой, необходимые для функционирования рассматриваемой информационной системы.

Основные компоненты (подсистемы) системы:

- «Пользователь»;
- «Интерфейс»;
- «Модель».

Взаимодействие и взаимосвязи подсистем представлены в приложении В.

Произведем классификацию функций системы.

Главная функция системы – проведение экспериментов по моделированию улично-дорожной сети.

Вспомогательная функция (определяются подсистемами) – возможность внесения изменений в структуру рассматриваемой модели улично-дорожной сети.

Отрицательные функции – система требует начальных навыков работы с компьютером.

Нейтральные функции – система моделирования имеет функции, не связанные с реализацией основных функций системы, но вносящие изменения во внешнюю среду – использование аппаратных и программных ресурсов (процессорное время, оперативную память, объем жесткого диска и т.д.).

Дополнительная функция системы – представление отчета.

Все представленные функции обладают высокой степенью изменчивости и интенсивности (ярко выражены системой).

Рассмотрим основные критерии эффективности, применимые к рассматриваемой системе.

Целенаправленность – рассматриваемая система является целенаправленной, выполняющей строго целевую функцию.

Показатели расхода ресурса в сравнении с иными аналогичными системами примерно соответствуют в разрезе:

- аппаратных требований;
- программных требований;
- стоимости программного продукта;
- стоимости обслуживания программного продукта;
- стоимости обучения персонала работы в программном продукте.

Адаптивность – система обладает низкой степенью адаптивности, не способна менять принципы работы, заложенные в нее изначально. Обновление программного комплекса изначально не предусмотрено (требуется новая установка иной версии продукта).

Устойчивость – система обладает первоначальной устойчивостью, при ожидаемом воздействии внешней среды система будет продолжать свою работу ожидаемым образом. Система не обладает дополнительными подсистемами, гарантирующими контроль и восстановление данных, работу во внештатных ситуациях и пр.

Оперативность – система является оперативной системой, поскольку подавляющее большинство заявленных функций выполняются за приемлимое для внешней среды время (при условии обеспечения требований функционирования системы в штатном режиме).

Синергетический эффект не может быть точно измерен так как расчет зависит от индивидуальных характеристик организации и предметной области, подлежащей автоматизации.

Проведем анализ; рассматриваемая система является:

- комбинированной системой (имеет собственное внутреннее состояние, устойчивость);
- сложной системой (подсистемы имеют сложный состав и структуру, различную сложную функциональность);
- многофункциональной системой (для достижения заявленной цели система представляет множество функций, доступных подсистемам);
- стабильной (система устойчива, не позволяет изменять свои основные подсистемы);
- хорошо организованной системой (подсистемы имеют четко выраженные предназначение, состав, функциональность и прочие параметры);
- автоматизированной системой (для реализации основной цели требуются пользователи системы, сама система не способна самостоятельно соответствовать цели автоматизации процессов предметной области);
- детерминированной системой (при наличии большого числа компонентов, входящих в состав системы, каждый элемент системы обладает четкими описанием, назначением, функциональностью и устройством);
- централизованной системой (подсистема Интерфейс управляет остальными подсистемами в зависимости от управляющих воздействий внешней среды);
- обслуживающей системой (система позволяет представлять данные для принятия решений).

Проверим свойства системы.

Система обладает эмерджентностью, так как ни одна из рассматриваемых подсистем, не их дочерние подсистемы не представляют характеристик системы (функциональности, заявленной цели, входов и выходов системы и пр.).

Система обладает целостностью, поскольку исключение любой из подсистем приведет к утрате свойств системы.

Система обладает связностью, так как изменение любых связей между подсистемами (и их дочерними подсистемами) приведут к нарушению функционирования системы, потере ее устойчивости, адаптивности и иных свойств.

Система является организованной, так как только имеющаяся структура подсистем позволяет добиться заявленной цели и иметь указанную функциональность. Изменение структуры системы повлечет за собой утрату части или всех ее свойств.

3.3 Инструменты разработки. Обоснование выбора

Для выбора подходящего языка программирования, проведем краткий обзор популярных языков программирования.

Java. Язык программирования высокого уровня. Специализация – промышленное программирование. Объектно-ориентированный язык программирования. Статическая типизация. Год возникновения – 1995 г. Различные реализации, основная JIT-компиляция. Широкое распространение, включая мобильные устройства. Порог вхождения средний.

C#. Язык программирования высокого уровня. Специализация – язык программирования общего назначения. Объектно-ориентированный язык программирования. Статическая типизация. Год возникновения – 2000 г. Реализация – JIT-компилятор. В основном Windows-платформы. Порог вхождения средний.

Паскаль/Дельфи. Язык программирования высокого уровня. Специализация – язык программирования общего назначения (изначально язык обучения программированию). Объектно-ориентированный язык программирования. Статическая типизация. Год возникновения – 1970 г. Различные реализации, основная – нативный компилятор под целевую платформу. Широкое распространение, включая мобильные устройства. Порог вхождения – низкий.

C++. Язык программирования высокого уровня. Специализация – промышленное программирование. Смешанные парадигмы программирования. Статическая типизация. Год возникновения – 1983 г. Различные реализации, основная – нативный компилятор под целевую платформу. Широкое распространение, включая мобильные устройства. Порог вхождения высокий.

Python. Язык программирования сверхвысокого уровня. Специализация – язык программирования общего назначения. Смешанные парадигмы программирования. Динамическая типизация. Год возникновения – 1991 г. Различные реализации, основная – интерпретатор. Широкое распространение (наибольшее Linux-платформы). Порог вхождения – низкий.

Ruby. Язык программирования сверхвысокого уровня. Специализация – язык программирования общего назначения. Объектно-ориентированный язык программирования. Динамическая типизация. Год возникновения – 1995 г. Различные реализации, основная – интерпретатор. Среднее распространение (наибольшее – серверные системы). Порог вхождения высокий.

PHP. Язык программирования высокого уровня. Специализация – язык программирования сценариев Интернет-страниц. Объектно-ориентированный язык программирования. Динамическая типизация. Год возникновения – 1995 г. Различные реализации, основная – интерпретатор. Широкое распространение (наибольшее – серверные системы). Порог вхождения низкий.

JavaScript. Язык программирования высокого уровня. Специализация – встраиваемый язык программирования Интернет-страниц (новое направление – язык программирование программ-оболочек плиточного интерфейса операционной системы Windows). Смешанные парадигмы программирования. Динамическая типизация. Год возникновения – 1995 г. Различные реализации, основная – интерпретатор. Широкое распространение (поддерживается большинством современных браузеров, используется в Windows 8.0 и старше). Порог вхождения – высокий.

Все представленные языки программирования имеют бесплатные реализации и допускают возможность использовать в коммерческих проектах.

Для реализации автоматизированной системы имитационного моделирования транспортных потоков предлагается использовать Паскаль (его версия Free Pascal), поскольку он имеет низкий порог вхождения, имеет большое количество библиотек и компонентов, значительно расширяющих его возможности.

Паскаль широко распространен на большом количестве платформ, что обусловлено тем, что он один из старейших языков программирования высокого

уровня. Паскаль имеет простое устройство и большое количество доступной русскоязычной документации, а также учебных примеров. Паскаль изначально был предназначен обучению программированию и традиционно имеет поддержку широкого спектра систем управления баз данных, как старых, так и возникающих новых систем.

Для работы предлагается использовать среду разработки Code Typhon корпорации Pilot Logic, бесплатный продукт, имеющий в своем составе большое количество дополнительных компонентов, редактор и средства отладки. Данная среда разработки позволяет использовать полученные программы для коммерческого использования и позволяет компилировать исходные тексты под десятки современных вычислительных платформ (включая Android), что позволяет обеспечить расширение сферы применения получаемых продуктов, а также упростить их одновременное сопровождение.

4 ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ. ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ РАЗРАБОТАННОГО ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА

4.1 Алгоритм проведения эксперимента

Анализируя полученную модель вычислений и моделирования можно установить следующее:

- имеется многократный поэтапный процесс обхода узлов графа;
- имеется многократный вызов циклических процессов при обходе узлов графа (во время обсчета параметров ребер графа).

Таким образом, в ходе выполнения эксперимента вычислительная система должна неоднократно нести накладные расходы по организации процесса, связанная с организацией повторяющихся циклических процессов. При обсчете большого числа узлов прямая организация процесса может приводить к значительному снижению производительности.

В целях оптимизации процесса предлагается разбить алгоритм на ряд шагов за счет объединения вычисления простых шагов в одних циклах. В частности, предлагается работу алгоритма представить в виде 4 шагов.

Шаг 1. Вычисление потребности `need_trans`. На данном шаге осуществляется расчет:

- `need_trans`;
- `traffic_random`;
- величину начального потока.

Шаг 2. Распределение транспортных средств. На данном этапе рассчитываются:

- величина начальной плотности;
- коррекция количества транспортных средств (`count_trans`).

Шаг 3. Построение маршрутов и расчет максимальной плотности. На данном этапе проводится расчет:

- порядка обхода узлов в соответствии с `need_trans` (для работы предлагается к использованию пузырьковая сортировка);

- путей и маршрутов от указанной точки до остальных узлов;
- производится распределение и коррекция плотности транспортных средств.

Шаг 4. Ввод временных ограничений. На данном этапе:

- рассчитывается пропускная способность ребра;
- определяется ожидаемая плотность движения на участке улично-дорожной сети;
- вычисляется время на поддержание транспортного потока.

Общий вид алгоритма проведения эксперимента представлен на рисунке 10.

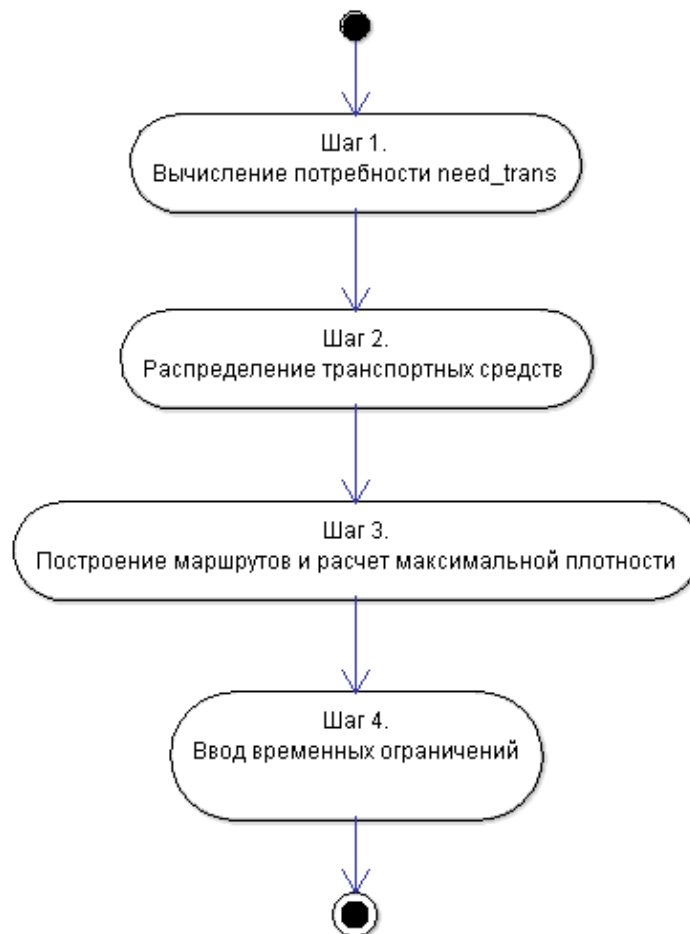


Рисунок 10 – Алгоритм проведения эксперимента

Особенностью данного алгоритма заключается в непосредственном получении отчетных сведений сразу же во время вычислений с целью экономии времени, затрачиваемого на полное время работы системы имитационного моделирования.

При разработке алгоритма работы системы в целом также необходимо учитывать большой объем цифровых данных характеризующих строение модели и ее параметры. В связи с этим фактором предлагается для возможности создания

больших моделей вносить данные в несколько сеансов работы с имитационной системой. Для этого предлагается использовать возможность хранения модели в виде отдельного самостоятельного файла.

Представим формат хранения данных.

Данные и параметры модели в целях возможности чтения человеком и упрощения процесса отладки предлагается хранить в виде текстового файла, доступного для обработки в обычном текстовом редакторе.

Формат хранения данных построен с учетом концепции секторального расположения данных. В файлах подобного рода секции имеют маркеры, обозначающие начало и конец секции, и содержимое представленное в логически завершенных фрагментах. В качестве таких фрагментов предлагается использовать общие параметры модели и узлы сети. Корреспонденции относятся к узлу, из которого они следуют до следующего узла.

Рассмотрим файл, описывающий представленный выше пример учебной улично-дорожной сети (Приложение Д):

- маркеры Param, End_Param описывают секцию общих параметров модели;
- name: – в секции параметров описывает общее обозначение модели;
- path_map: – описывает путь до изображения, на котором может быть представлена улично-дорожная сеть города (или моделируемый участок сети);
- маркеры Node, End_Node описывают секцию узла модели;
- count_trans:, max_trans:, value_random – представляют сведения о соответствующих параметрах узла в соответствии с рассматриваемой моделью;
- name: – в секции Node описывает имя (текстовое представление узла);
- id: – обозначает уникальный идентификатор узла в модели;
- x, y – координаты узла на карте, представленной path_map;
- cross – признак, что перед нами узел (FALSE) или перекресток (TRUE), данный параметр влияет на расчет узла;
- маркеры Rib и End_Rib – описывают корреспонденцию от данного узла в соответствии с параметрами модели;
- maximum:, limit:, traffic:, name: – параметры ребра (корреспонденции узла);

– id: – в секции корреспонденции описывает связь данного узла с другим.

При описании параметров регистр не учитывается (но учитывается в именах узлов и ребер).

4.2 Прототипирование интерфейса

Прототипирование интерфейса позволяет разрабатывать интерфейс взаимодействия человека с программой независимо от функционального назначения разрабатываемого программного продукта. Для данной системы интерфейс не является первостепенным фактором (назначение системы – имитационное моделирование улично-дорожной сети). В тоже время интерфейс не должен замедлять процессы моделирования.

Требования к интерфейсу:

- простота;
- удобство использования;
- связь с функциональным назначением разрабатываемого программного продукта.

Главное окно программы представлено на рисунке 11.

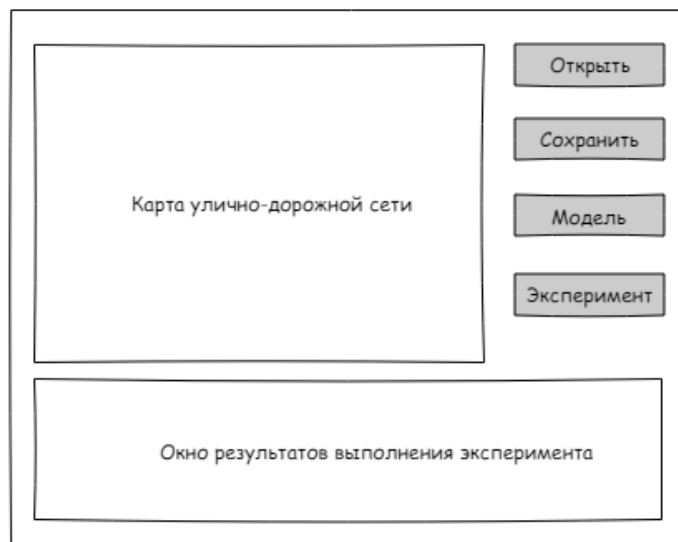


Рисунок 11 – Прототип главного окна программы

Главное окно представляет необходимый функционал:

- позволяет открыть сохраненную ранее модель;
- позволяет сохранить модель в текстовый файл;

- позволяет работать с параметрами и данными модели;
- позволяет проводить эксперимент.

Главное окно программы также имеет возможность отображения карты улично-дорожной сети, а также имеет окно результатов выполнения эксперимента, где будут отражаться сведения по результатам проведения эксперимента.

Прототип окна работы с моделью представлен на рисунке 12, его основным назначением является работа с узлами модели.

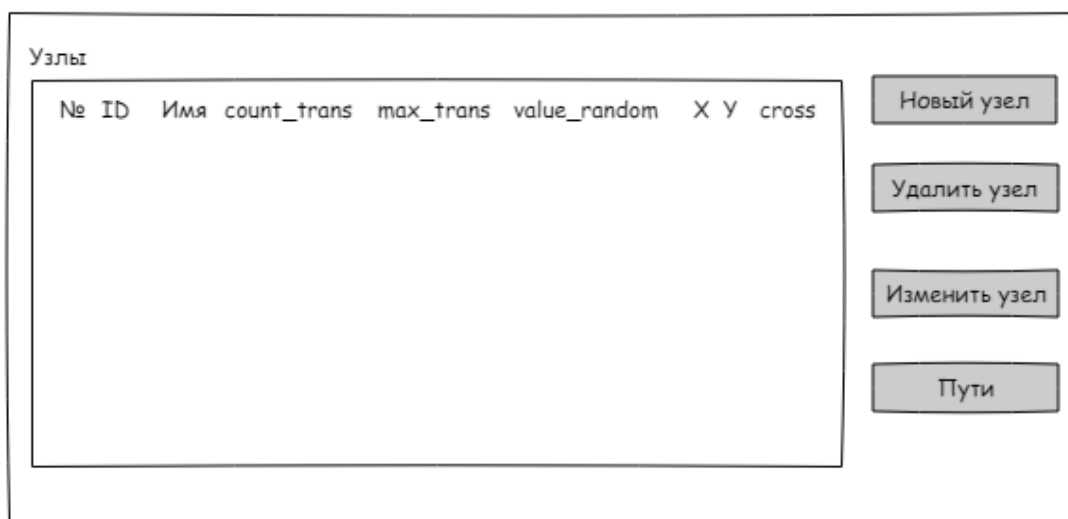


Рисунок 12 – Прототип окна работы с узлами модели

Реализуются базовые возможности:

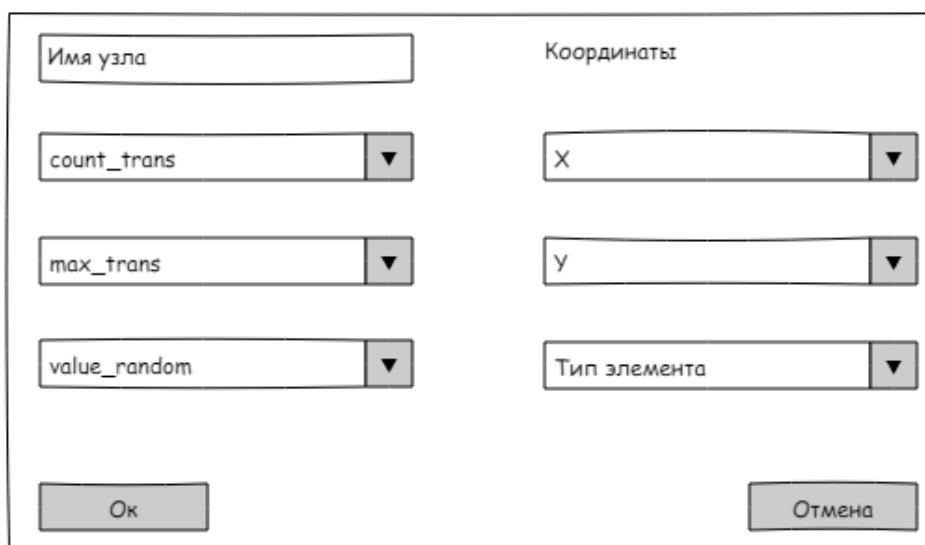
- представляет основные сведения об узлах в таблице Узлы;
- позволяет создать новый узел;
- позволяет удалить узел;
- позволяет удалить узел из модели;
- представляет доступ к окну работы с корреспонденциями выделенного узла.

Для работы с параметрами конкретного узла (при добавлении или изменении) используется окно Работа с узлом модели (рисунок 13).

Данное окно представляет собой простую анкету, в которой происходит заполнение доступных полей узла.

Особый вид некоторых полей ввода указывает на форматированный ввод данных – в данные элемента интерфейса невозможно ввести данные некорректно-

го формата (например, count_trans является целым числом, а value_random задается как процент от 1 до 100).

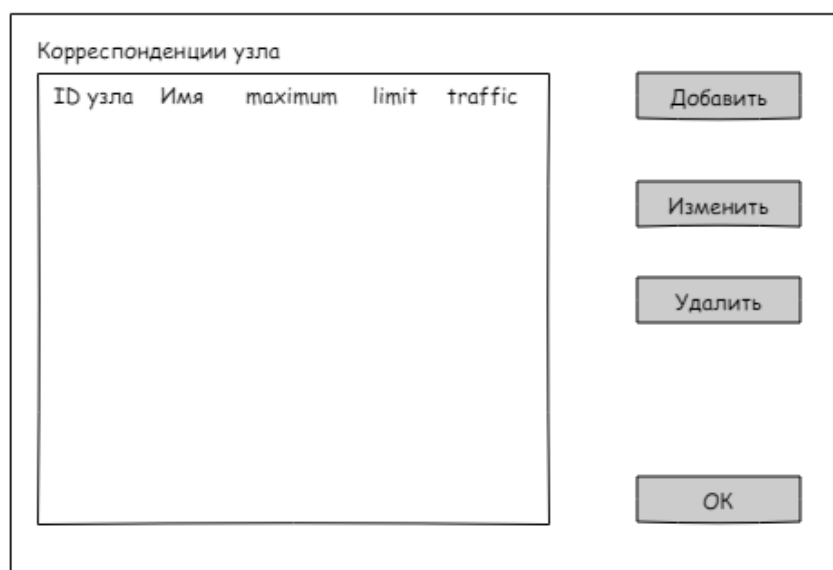


Прототип окна работы с узлом модели. Окно имеет заголовок "Имя узла" и "Координаты". В центре расположены четыре поля ввода с выпадающими списками: "count_trans", "max_trans", "value_random" и "Тип элемента". В правой части окна расположены три поля ввода с выпадающими списками: "X", "Y" и "Тип элемента". В нижней части окна расположены две кнопки: "Ок" и "Отмена".

Рисунок 13 – Прототип окна работы с узлом модели

Для работы со списком корреспонденций используется окно, прототип которого, представлен на рисунке 14.

Данный прототип по функциональности в целом соответствует прототипу окна для работы со списком узлов модели. Имеется список корреспонденций, представленный таблицей с параметрами и базовый набор функций для работы с корреспонденциями.



Прототип окна "Корреспонденции узла". Окно имеет заголовок "Корреспонденции узла". В центре расположена таблица с колонками: "ID узла", "Имя", "maximum", "limit", "traffic". В правой части окна расположены четыре кнопки: "Добавить", "Изменить", "Удалить" и "ОК".

Рисунок 14 – Прототип окна Корреспонденции узла

В данном случае кнопка ОК необходима для обеспечения функциональности – данные из-за иерархической подчиненности окон невозможно сразу внести в узел. Поэтому нажатие на кнопку ОК производит обновление сведений в модели.

Изменение параметров корреспонденций предполагается проводить, в целом, аналогично изменениям параметров узла (рисунок 15).



Параметры корреспонденции

Имя корреспонденции

ID узла maximum

limit traffic

ОК Отмена

Рисунок 15 – Прототип окна работы с параметрами корреспонденции

Данные представляются как анкета, ввод данных отслеживается элементами интерфейса (это позволяет уменьшить программный код и время разработки программного комплекса).

4.3 Разработка структуры программного обеспечения

Перед непосредственным написанием программного кода рекомендуется разработать структуру программы, опираясь на имеющиеся в языке инструменты (модули и классы).

В целях максимального соответствия структуре системы, а также для удобства сопровождения и отладки, предлагается структура в соответствии с рисунком 16.

Диаграмма классов представлена в Приложении Д.

Модуль Model является отражением подсистемы «Модель», остальные модули содержат классы интерфейса, прототипы которого представлены ранее.

Логически публичные методы класса TModel сгруппированы в три группы:

- методы подготовки класса к работе;
- методы, позволяющие проводить эксперимент и получать данные о результатах;

– методы, образующие инфраструктуру класса – позволяют вносить данные в модель;

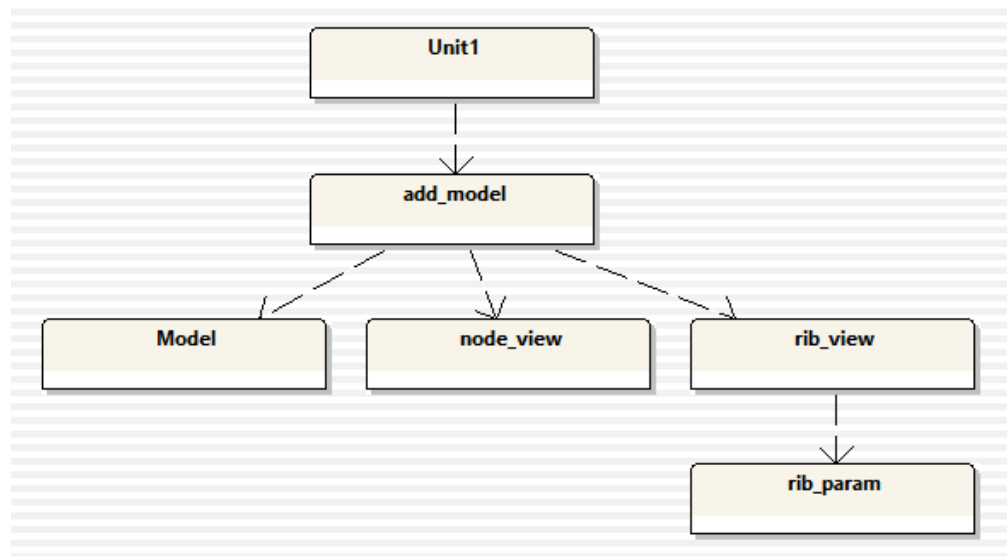


Рисунок 16 – Зависимости модулей

Структура данных модуля Model представлена на рисунке 17.

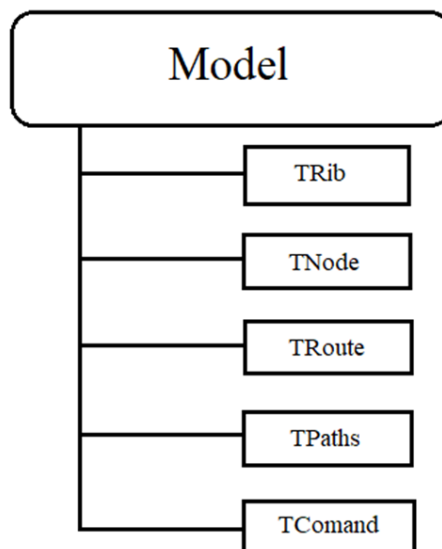


Рисунок 17 – Структура данных модуля Model

Класс оперирует следующими структурами данных:

- TRib – описание ребра графа (участка улично-дорожной сети);
- TNode – описание узла графа (центры притяжения потоков);
- TRoute, TPaths – структуры образующие маршруты следования транспортных средств;

– TComand – структура данных, представляющая результат распознавания данных лексером, при чтении данных из файла.

Исходный текст модуля, содержащий класс TModel представлен в приложении Г и содержит большой объем, в связи с большим количеством содержащихся процедур и функций в классе.

Преимуществом такого подхода является независимость от интерфейса системы, что позволяет сопровождать модель системы независимо от остальных компонентов (в частности интерфейса).

Интерфейс разработанной системы соответствует разработанным ранее прототипам с учетом возможностей представляемых компилятором и системой программирования.

Главное окно программы представлено на рисунке 18.

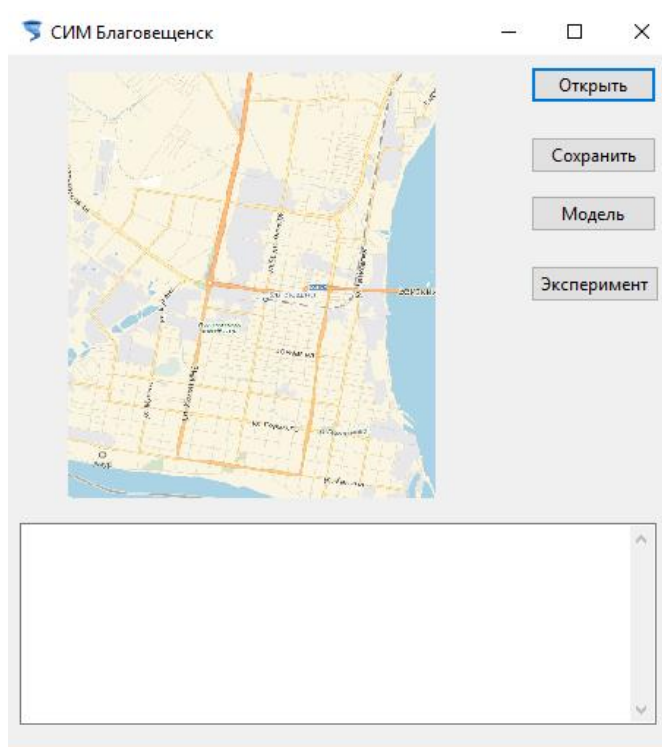


Рисунок 18 – Главное окно программы

4.4 Техническое обеспечение системы

Под техническим обеспечением понимается комплекс аппаратных средств, с помощью которых производится функционирование и обслуживание информационной системы.

Разработанная информационная система обладает минимальными требованиями к аппаратным ресурсам – достаточно использование персонального компьютера указанными минимальными характеристиками:

- процессор Intel Celeron 430 – 512Кб кэш, 1,80 ГГц, 800 МГц FSB (или аналогичный);
- ОЗУ – 1 Гб;
- свободное место на жестком диске – не менее 40 Мб;
- видеоподсистема – без ограничений;
- устройства ввода – стандартные клавиатура и устройство ввода типа «мышь»;
- сетевая карта – не требуется;
- операционная система – Windows 7 или выше.

Требования к аппаратным ресурсам имеют нелинейную зависимость – чем больше модель (чем больше в модели элементов), тем больше ресурсов требуется для проведения эксперимента за приемлемое время. Основная нагрузка – процессорное время, поскольку математическая модель системы, для выполнения основной функции проведения эксперимента, предполагает большое количество итеративных процессов обхода вершин и ребер графа (нелинейно возрастает от числа вершин).

Требования к оперативной памяти можно определить, исходя из потребностей хранения сведений о модели улично-дорожной сети. Минимальная сеть, состоящая из одной вершины, занимает примерно 60 байт памяти (точно определить расход памяти невозможно из-за страничного выравнивания динамически выделяемой памяти).

Также необходимо учитывать, что организация и поддержание вычислительного процесса также увеличивает затраты памяти, определение потребности которой невозможно в мультизадачной среде.

4.5 Построение транспортной модели (руководство программиста)

Построение транспортной модели города является сложным процессом, характеризующимся:

- временными интервалами измерения участков улично-дорожной сети;

- финансовыми затратами на осуществление работ по моделированию;
- большим количеством этапов формирования модели и элементов, из которых состоит модель.

Особенностью модели в данном случае является матричная структура застройки города, что создает большое количество перекрестков (несколько тысяч). Перенос параметров каждого из них требует либо большого количества сотрудников, занимающихся моделированием (специфика работы позволяет выполнять параллельные процессы), либо значительных затрат времени одного человека.

Вторым фактором, увеличивающим время, необходимое на разработку модели – это цикличность процессов, протекающих в улично-дорожной сети, меняющая свои характеристики в зависимости от астрономических параметров – времени суток, времени года, собственного ритма жизни города.

Значительный период формирования модели улично-дорожной сети обусловлен большим количеством элементов, расположенных в черте города и влияющих на результат.

Для создания полноценной модели требуется минимум год ежедневных наблюдений макропараметров сети с учетом поправок на строительство, реконструкцию и ремонт элементов улично-дорожной сети. Отдельно следует анализировать нестандартные отклонения от естественного ритма города – праздничные дни, шествия, фестивали, парады и т.д.

Большая величина финансовых затрат также объясняется большим количеством элементов, требующих измерений их параметров. Так на перекрестках требуется установка счетчиков автотранспортных средств, на светофорах – монтирование видеокамер для анализа транспортного режима, дороги требуют трассировки, так как на всем протяжении имеют различные параметры покрытия дорожного полотна, сужения, съезды, стояночные карманы и т.д. Распараллеливание работ в данном случае приводит к значительному увеличению финансовых затрат, поскольку данное оборудование является специализированным, требуются определенные подготовительные работы, оборудование подобного типа не сдается в аренду, отсутствует в необходимом количестве и т.д. Оценка в абсолютных пока-

зателях варьируется (для анализа использовалась информация о закупках и тендерах) от десятков до сотен миллионов рублей в зависимости от сложности модели и характеристик моделируемого объекта.

Формирование модели улично-дорожной сети включает в себя ряд больших этапов:

- формирование сети с трассировкой участков дорог;
- внесение дополнительных элементов, меняющих параметры улично-дорожной сети города (пешеходные переходы, дорожные знаки, пункты остановок и т.д.);
- отметка парковочных площадок (или изменение параметров модели в соответствии с расположением парковочных площадок);
- уточнение элементов модели (направления движения, главные магистрали, время работы светофоров, число возможных направлений на перекрестке, отметка правил дорожных развязок, колец, съездов и т.д.);
- корректировка отклонений процессов в модели от наблюдаемых значений.

Общее количество самих элементов улично-дорожной сети варьируется в зависимости от сложности моделируемого объекта и составляет десятки и сотни тысяч единиц различного типа.

В связи с вышеуказанными особенностями процесс формирования модели г. Благовещенск осуществлялся с учетом имеющихся ресурсов.

При формировании модели использовались следующие критерии:

- использовалась укрупненная модель улично-дорожной сети;
- параметры для каждого элемента подбирались индивидуально на основании наблюдения суточного цикла;
- для проверки адекватности модели использовались данные сторонних источников – сервисов мониторинга дорожного состояния.

Для моделирования рассматривались улицы, следующие с юга на север:

- улица Василенко;
- улица Загородная (с переходом в ул. Студенческую);
- улица Мухина;
- улица Калинина (с переходом в Новотроицкое шоссе);

- улица 50 лет Октября;
- улица Театральная;
- улица Чайковская.

Критерий отбора улиц – интенсивность дорожного движения.

Масштаб полученной карты ориентировочно составляет 6,7 км на 8,1 км.

Общий вид с указанием главных улиц представлен на рисунке 19.

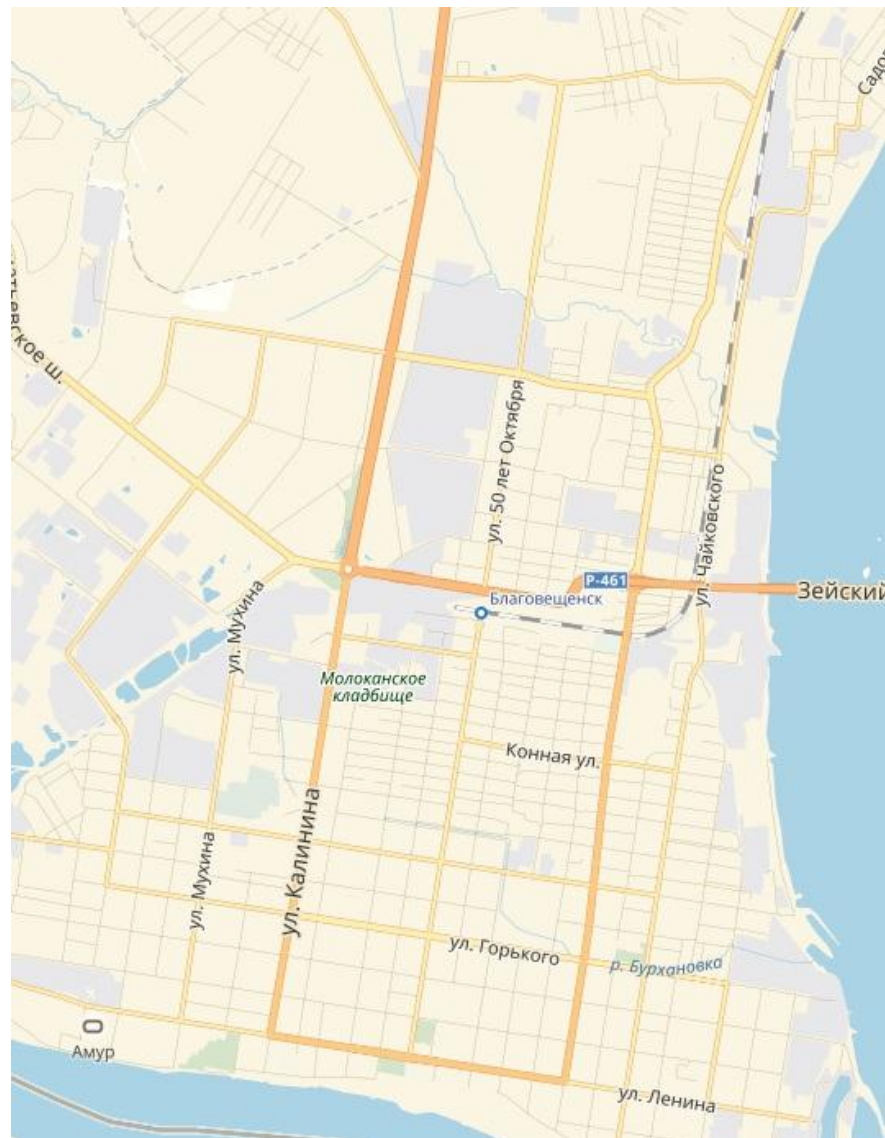


Рисунок 19 – Карта моделируемого участка улично-дорожной сети

Для моделирования также рассматривались улицы, следующие с востока на запад:

- улица Ленина;
- улица Горького;

- улица Октябрьская;
- улица Конная;
- улица Тенистая;
- улица Магистральная (с переходом в Игнатъевское шоссе);
- улица Кольцевая (с переходом в улицу Воронкова);
- улица Школьная.

Критерий отбора улиц – интенсивность дорожного движения.

Особенностью рассматриваемого объекта является наличие ряда промышленных объектов (потенциальные центры притяжения и источники автотранспортных средств) в восточной части города (ограниченной р. Зей), в тоже время прочие объекты расположены без четко обнаруживаемого порядка.

Перекрестки, развязки (с севера на юг и с запада на восток):

- 1 – Новотроицкое шоссе – улица Школьная;
- 2 – улица Школьная – улица 50 лет Октября;
- 3 – улица Школьная – улица Дальняя;
- 4 – улица Школьная – улица Театральная;
- 5 – улица Воронкова – улица Василенко;
- 6 – улица Воронкова – улица Студенческая;
- 7 – улица Воронкова – Новотроицкое шоссе;
- 8 – улица Кольцевая – улица 50 лет Октября;
- 9 – улица Кольцевая – улица Театральная;
- 10 – Игнатъевское шоссе – улица Василенко;
- 11 – Игнатъевское шоссе – улица Студенческая;
- 12 – Игнатъевское шоссе – улица Мухина;
- 13 – улица Магистральная – улица Калинина;
- 14 – улица Магистральная – улица 50 лет Октября;
- 15 – улица Магистральная – улица Театральная;
- 16 – улица Магистральная – улица Чайковского;
- 17 – улица Тенистая – улица Калинина;
- 18 – улица Тенистая – улица 50 лет Октября;

- 19 – улица Конная – улица 50 лет Октября;
- 20 – улица Конная – улица Театральная;
- 21 – улица Конная – улица Чайковского;
- 22 – улица Октябрьская – улица Загородная;
- 23 – улица Октябрьская – улица Мухина;
- 24 – улица Октябрьская – улица Калинина;
- 25 – улица Октябрьская – улица 50 лет Октября;
- 26 – улица Октябрьская – улица Театральная;
- 27 – улица Октябрьская – улица Чайковского;
- 28 – улица Горького – улица Загородная;
- 29 – улица Горького – улица Мухина;
- 30 – улица Горького – улица Калинина;
- 31 – улица Горького – улица 50 лет Октября;
- 32 – улица Горького – улица Театральная;
- 33 – улица Горького – улица Чайковского;
- 34 – улица Ленина – улица Мухина;
- 35 – улица Ленина – улица Калинина;
- 36 – улица Ленина – улица 50 лет Октября;
- 37 – улица Ленина – улица Театральная;
- 38 – улица Ленина – улица Чайковского.

Нумерация пересечений обозначена на рисунке 20.

Следует учитывать, что пересечения дорог могут быть представлены такими объектами как:

- перекрестки;
- кольца;
- развязки дорог;
- эстакады.

Учитывая наличие двусторонних связей вершин графа, данной информации достаточно для построения графа пересечений улично-дорожной сети города Благовещенск (рисунок 21).

При внесении в модель центров притяжения следует учитывать данные реальных наблюдений, за основу взяты наблюдения за плотностью движения на указанных дорогах и их пересечениях.

Учитывая неравномерность движения в течение суток, данные взяты в рабочий день в 17.30 по местному времени (UTC +9), что соответствует часу пик в ритме города.

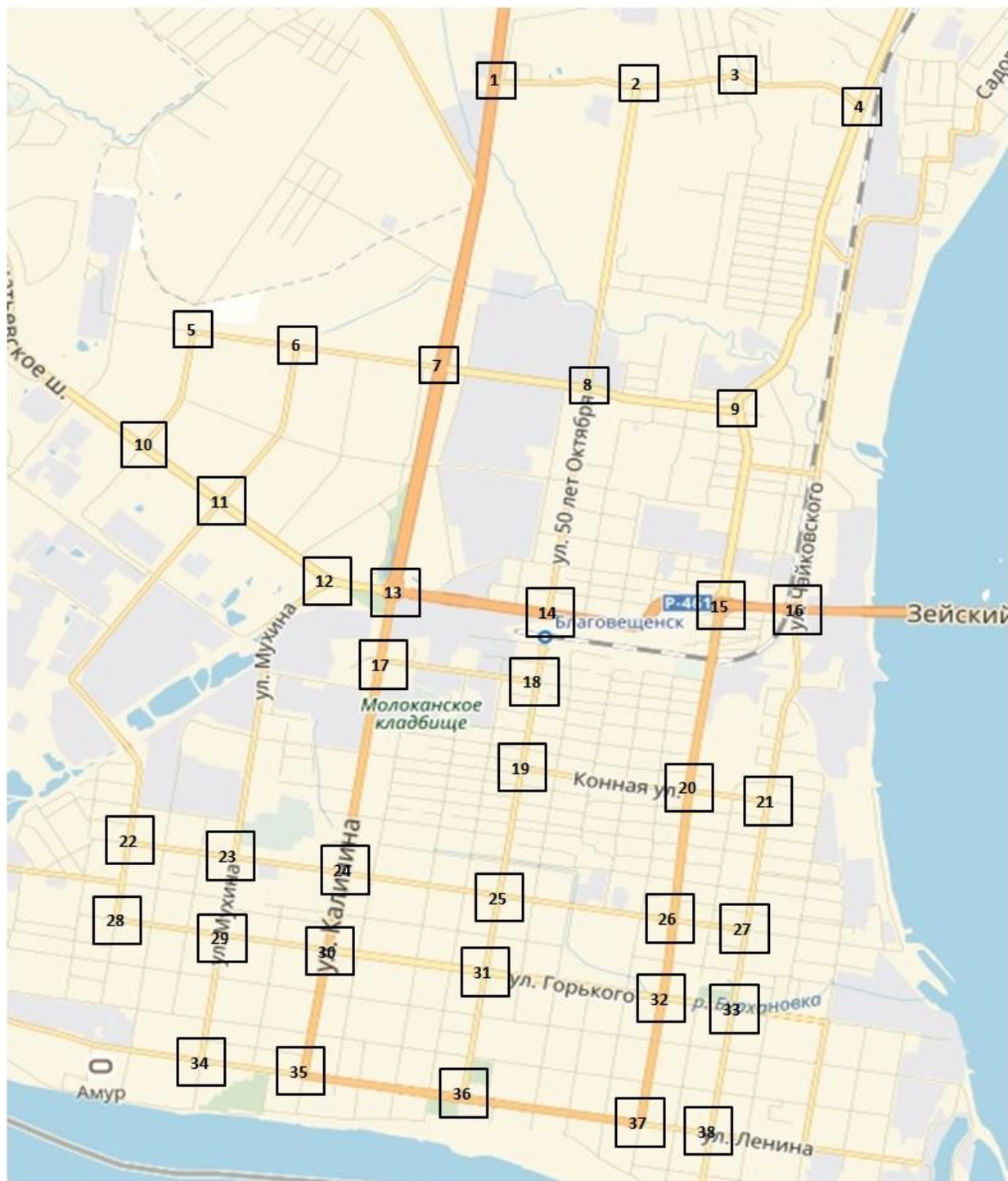


Рисунок 20 – Пересечения, используемые в модели

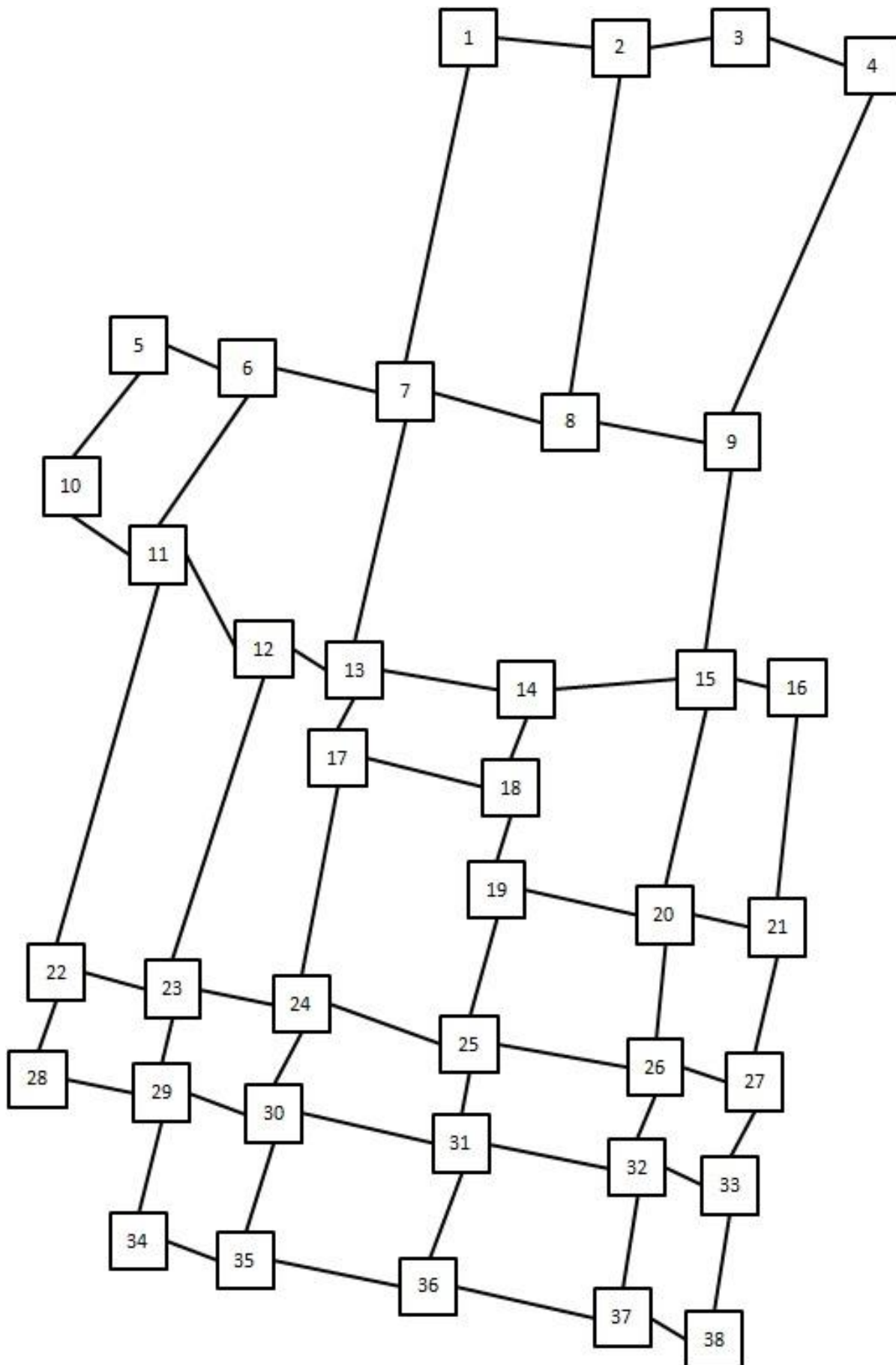


Рисунок 21 – Граф пересечений улично-дорожной сети

Расчет центров притяжений производится опытным путем, но также с учетом реальной загруженности транспортной сети города (Новотроицкое шоссе, улица Ленина, улица Театральная, улица Магистральная в направлении моста через реку Зею, Игнатъевское шоссе).

Полный граф модели, включая центры притяжения, представлен на рисунке 22.

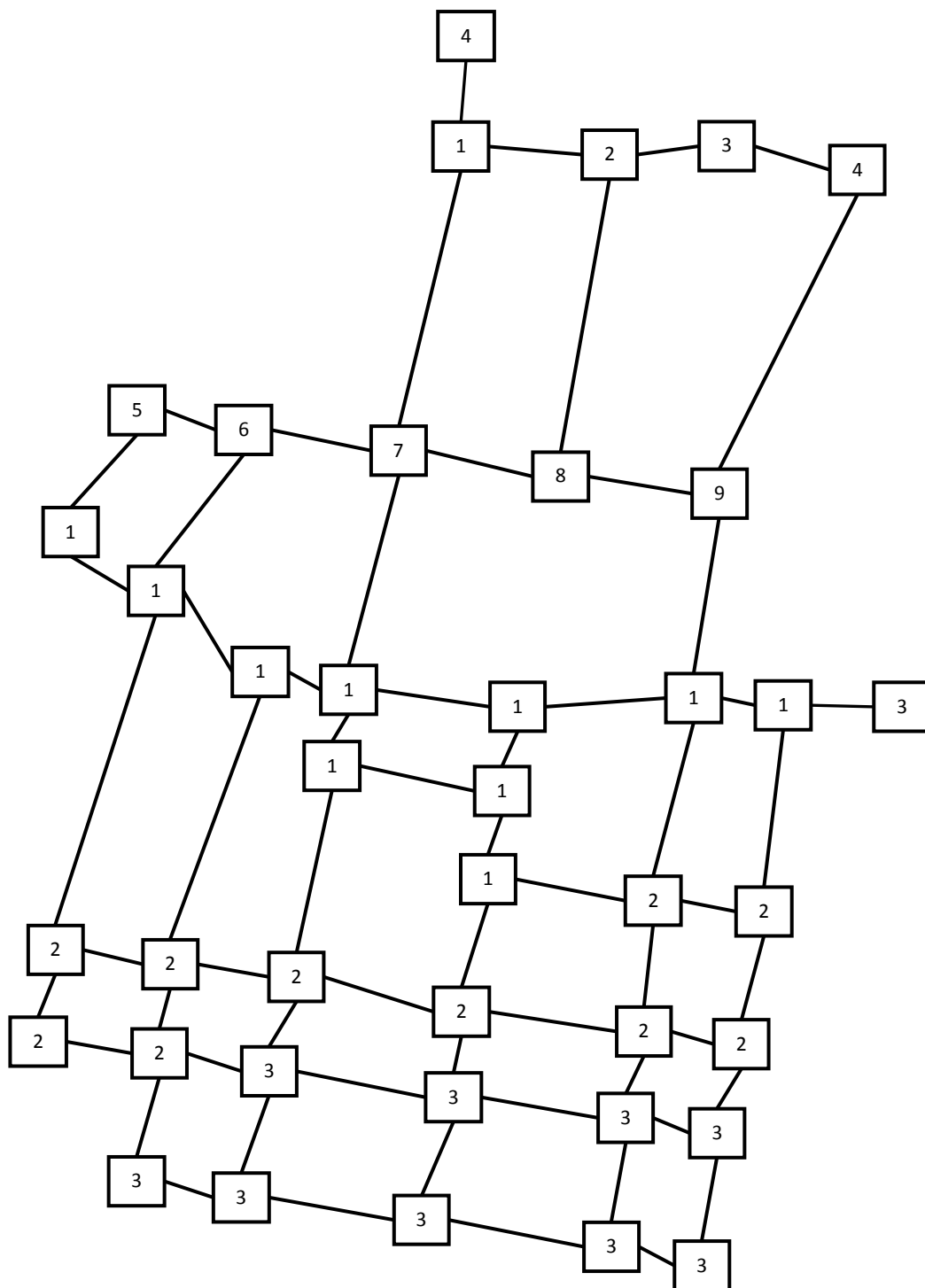


Рисунок 22 – Графическое представление модели

Центры притяжений – узлы 36, 39, 40. Центр 36 (ориентир – памятник Ленину) имеет оптимальное расположение и представляет собой совокупное представление южной части города. Внедрение узлов 39 и 40 необходимо в связи с географическими особенностями расположения – большой поток автотранспорта представляет Новотроицкое шоссе и мост через реку Зeya.

Особенностью модели также являются полностью двухсторонние связи всех вершин графов и одинаковое случайное распределение `value_random` 0.01 (так как определение случайного распределения индивидуальных участков улично-дорожной сети требует большого количества наблюдений).

Начальные данные для заполнения параметров узлов притяжений представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Начальные данные узлов притяжений

№	Наименование	value_random	max_trans	count_trans	need_trans
1	36	0,01	3000	1500	1500
2	39	0,01	4000	2000	2000
3	40	0,01	9000	8000	1000

Для привязки временных параметров использовалось число квантов равное 1 (1 час).

Результат выполнения эксперимента представлен на рисунке 23. Для сравнения использовалась информация с трекера Яндекс.Пробки (представлено на рисунке 24).

Анализируя полученный результат можно сделать следующие выводы:

- в целом представленная модель улично-дорожной сети города Благовещенск является корректной;
- имеются значительные отклонения от фактических наблюдений в узлах 40 и 39, что обусловлено некорректным определением начальных данных;
- имеются незначительные отклонения от фактических наблюдений на участках Новотроицкого шоссе и вокруг кольцевой развязки Магистральной улицы (пересечений улиц 15).

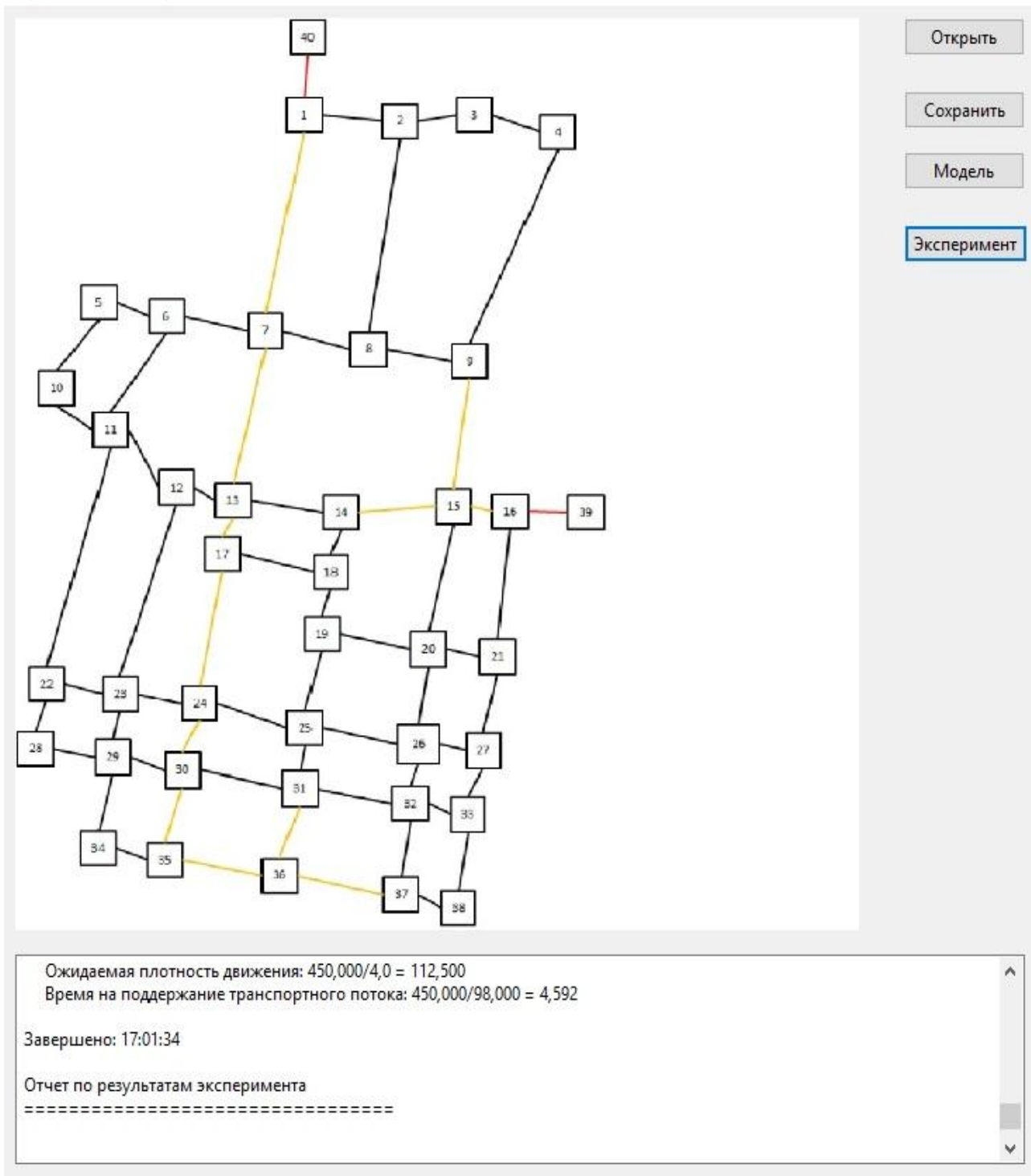


Рисунок 23 – Результат проведения эксперимента

Относительно корректно представлено расположение центра притяжения в узле 36 (ориентир – памятник Ленину), что обусловлено большим количеством связей (в сравнении с иными центрами притяжений).

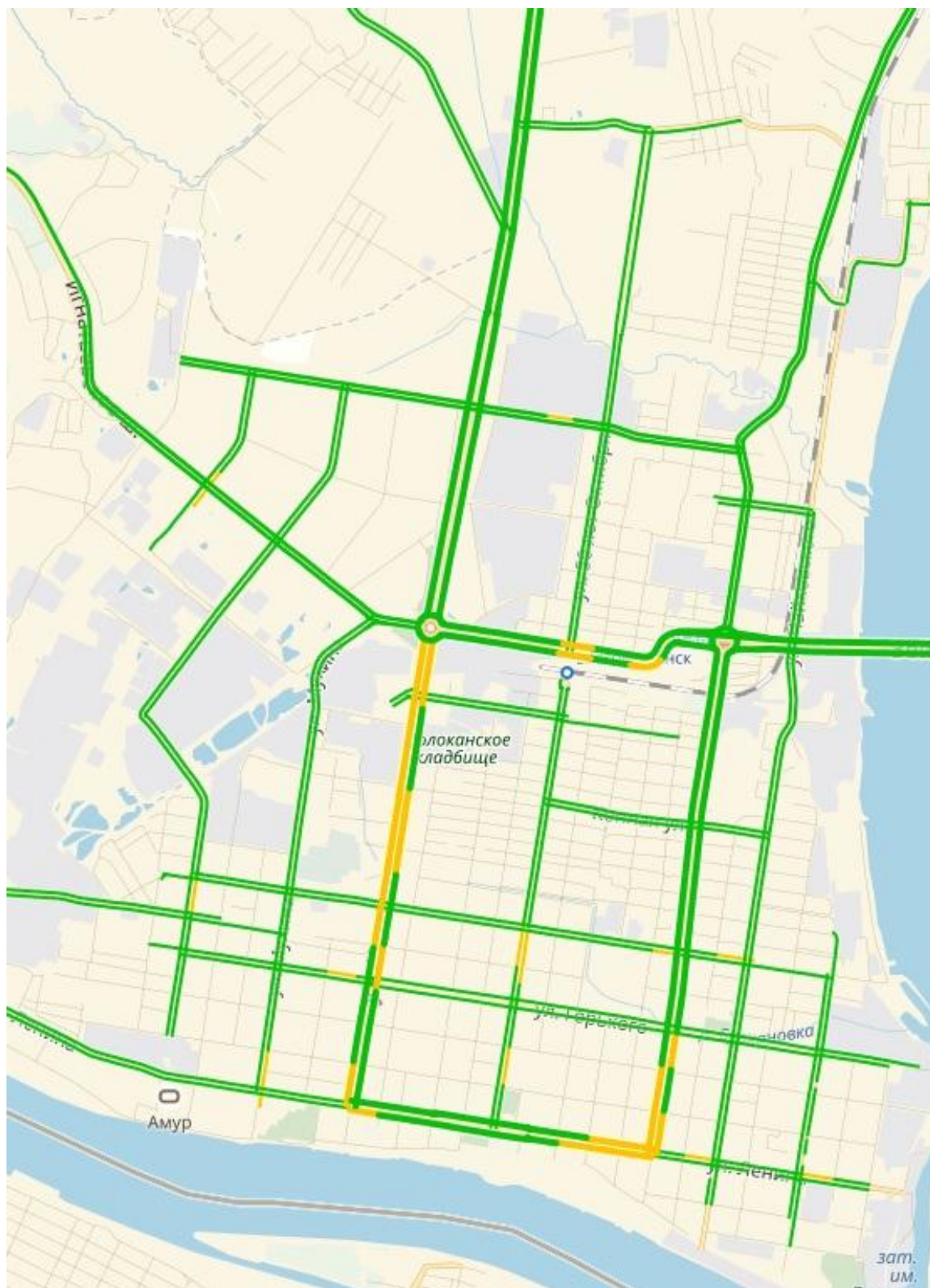


Рисунок 24 – Фактические данные о плотности транспортного потока

Полученные результаты эксперимента наглядно представляют вероятность возникновения пробок и аварийных ситуаций в соответствии с реальными наблюдениями за улично-дорожной сетью города Благовещенск.

Для дальнейшего использования модели с целью получения практических результатов необходимо:

- провести уточнение параметров имеющейся элементов модели за счет длительного периода наблюдения с использованием технических средств;
- увеличить число узлов до 80-100% от имеющихся элементов улично-дорожной сети города Благовещенск;
- увеличить число центров притяжения, поскольку результаты эксперимента определили значимость влияния сведений о центрах притяжений на корректность получаемых данных;
- провести наблюдения для определения значения случайного распределения автотранспортных средств на элементах улично-дорожной сети;
- провести последующие коррекции параметров модели с целью устранения расхождений с наблюдаемыми данными.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Моделирование улично-дорожных сетей городских агломераций и их участков является важной и актуальной темой исследования, поскольку:

- позволяет понимать процессы, протекающие в системах подобного рода;
- находить закономерности в движении транспортных средств улично-дорожных сетей городов;
- менять улично-дорожную сеть города, используя научно-обоснованные результаты экспериментов, с целью оптимизации городского трафика;
- проектировать новые элементы, использовать современные методы урбанизации;
- формировать безопасную городскую среду.

Научная новизна работы характеризуется спецификой модели, построенной на базе улично-дорожной сети города Благовещенск.

В ходе выполнения магистерской диссертации поставленные цели были достигнуты, все задачи выполнены.

В ходе работы над проектом:

- изучена предметная область;
- проведен обзор источников литературы соответствующей тематики;
- рассмотрен объект исследования;
- определены методы решения задачи;
- представлен метод решения представленной задачи;
- разработана модель системы;
- разработано программное обеспечение, реализующее полученную модель;
- разработана модель транспортной системы города Благовещенск;
- получены результаты применения модели;
- проведен анализ полученных результатов.

В результате работы разработан инструмент для создания моделей транспортных сетей и модель улично-дорожной сети города Благовещенск, а также получены практические результаты применения данной модели, проведено сравнение с реальными наблюдениями.

Полученная информационная система:

- построена с учетом специфики города Благовещенск;
- имеет возможность адаптации к улично-дорожным сетям других агломераций, а также возможность создания отдельных фрагментов транспортных сетей;
- имеет блочную структуру, позволяющую дальнейшую модернизацию и перенос на иные платформы;
- представляет базовый функционал для работы.

Основные преимущества полученной системы моделирования:

- простота в использовании;
- удобный графический интерфейс пользователя;
- возможности дополнительной модернизации и сопровождения;
- информационная система построена с учетом возможного переноса на иные платформы;
- надежность системы за счет использования простых и проверенных инструментов.

Имеющиеся недостатки автоматизированной системы:

- отсутствие взаимодействия с иными программными продуктами (нет встроенной возможности экспорта отчетов в офисные пакеты);
- простой вид отчетов.

Все имеющиеся недостатки возможно устранить во время совместной работы с пользователем системы в процессе опытной эксплуатации программного продукта.

Оценивая новизну полученной системы, можно утверждать, что данная автоматизированная система управления является востребованной и необходимой, поскольку программа содержит методику расчета представленной модели улично-дорожной сети. Также следует учитывать, что специфика подобных систем предполагает индивидуальную разработку проекта под каждый город или его часть.

Особенностями данной информационной системы являются:

- низкая стоимость разработки;
- использование общедоступной инфраструктуры, не требовательной к ресурсам;

– простота использования и обслуживания.

Совокупность данных факторов позволяют быстро внедрить данную информационную систему, поскольку:

– низкая стоимость разработки предполагает низкую цену приобретения, что делает представленную систему конкурентоспособной;

– использование общедоступной инфраструктуры снижает затраты на внедрение продукта;

– простота использования и обслуживания позволяет сократить затраты денежного и временного характера на обучение персонала информационной системы.

Основные результаты проведенного исследования опубликованы в трех работах, среди которых, два тезиса докладов на научных конференциях (сертификат участника представлен в приложении Е), одна журнальная статья.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1 Гасников А. В., Кленов С. Л., Нурминский Е. А. Введение в математическое моделирование транспортных потоков: учеб. пособие. М. МФТИ, 2010. – 362 с.

2 Николаев Н. Н. Моделирование транспортных процессов Учебное пособие. зерноград. Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донской ГАУ, 2016. – 153 с.

3 Буслаев А. П., Лебедев А. А., Яшина М. В. Моделирование потоков на графах. Теоретические и вычислительные аспекты. Часть 1. NODE-модель трафика. М. Изд.-во МАДИ, 2011. – 105 с.

4 Карнаухов В. А. Теория графов и сетей при моделировании процессов управления воздушным движением Учебное пособие. Ульяновск. Изд-во УВАУ ГА(И), 2009. – 63 с.

5 Долгушин Д. Ю., Мызникова Т. А. Применение клеточных автоматов к моделированию автотранспортных потоков. Монография. Омск. СибАДИ, 2012. – 112 с.

6 Еремеева Л. Э. Потоки в сетях Учебное пособие. Издание 2-е, доработанное. Сыктывкар. Сыктывкарский лесной институт (СЛИ), 2017. – 98 с.

7 Комов П. Б. Математическое моделирование на транспорте: процессы и структуры. Донецк. Ноулидж, 2012. – 327 с.

8 Коновалов С. И., Максимов С. А., Савин В. В. Моделирование производственных процессов автомобильного транспорта Учебное пособие. Владимир: ВлГУ, 2005. – 244 с.

9 Вакуленко С. П., Доенин В. В., Евреенова Н. Ю. Транспортно-пересадочные узлы: организация пассажиропотоков Учебное пособие. М. Российский университет транспорта (МИИТ), 2017. – 115 с.

10 Захаров Н. С., Бояркина Е. Ф. Закономерности формирования количества легковых автомобилей на улично-дорожной сети города Тюмень. Тюмень. ТюмГНГУ, 2011. – 160 с.

11 Горев А. Э., Прохоров А. В., Гизатуллин Р. Р. Основы транспортного моделирования Практическое пособие. СПб. ООО «Издательско-полиграфическая компания «КОСТА», 2015. – 168 с.

12 Горев А. Э., Швецова В. Л. Руководство по применению транспортных моделей в транспортном планировании и оценке проектов Руководство. СПб. ООО «Издательско-полиграфическая компания «КОСТА», 2016. – 128 с.

13 Петров А. И. Особенности функционирования городского общественного транспорта в переменных условиях внешней среды. Тюмень. ТюмГНГУ, 2016. – 176 с.

14 Филатов М. И., Пузаков А. В., Горбачёв С. В. Информационные технологии и телематика на автомобильном транспорте. Учебное пособие. Оренбург. ОГУ, 2016. – 201 с.

15 Ефименко Д. Б., Кудрявцев А. А. Построение информационных систем на автомобильном транспорте Учебное пособие. М. МАДИ, 2014. – 104 с.

16 Живоглядов В. Г. Теория движения транспортных и пешеходных потоков. Ростов Н/Д. Изд-во журн. «Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион», 2005. – 1082 с.

17 Михайлов А. Ю., Головных И. М. Современные тенденции проектирования и реконструкции улично-дорожных сетей городов. Новосибирск. Наука, 2004. – 267 с.

18 Рахмангулов А. Н., Трофимов С. В., Корнилов С. Н. Управление транспортными системами. Теоретические основы. Учебное пособие. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И.Носова, 2001. – 191 с.

19 Гвоздева В. А. Основы построения автоматизированных информационных систем: учебник. М. Инфра-М, 2013. – 320 с.

20 Информационные системы и технологии управления: Учебник / Под ред. Г.А. Титоренко. М.: ЮНИТИ, 2013. – 591 с.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Алексеева, И. М. Статистика автомобильного транспорта / И. М. Алексеева, О. И. Ганченко, Е. В. Петрова. – М. : Экзамен, 2017. – 352 с.
- 2 Андреева, Т. А. Программирование на языке Pascal / Т. А. Андреева. – М. : Интернет-университет информационных технологий, Бином. Лаборатория знаний, 2017. – 240 с.
- 3 Брауде, Э. Технология разработки программного обеспечения / Э. Брауде. – СПб. : Питер, 2014 – 655 с.
- 4 Буслаев, А. П. Вероятностные и имитационные подходы к оптимизации автотдорожного движения / А. П. Буслаев, А. В. Новиков, В. М. Приходько, А. Г. Таташев, М. В. Яшина; под ред. чл.-корр. РАН В.М. Приходько. — М. : Мир, 2013. — 368 с.
- 5 Бушманов, А. В. Проектирование информационных систем [Электронный ресурс] : учебно-метод. комплекс дисц. для спец. 230201.65 / АмГУ, ФМиИ ; сост. А. В. Бушманов. – Благовещенск : Изд-во АмГУ, 2012. – 110 с.
- 6 Ван, Тассел Д. Стил, разработка, эффективность, отладка и испытания программ / Ван Тассел Д. – М. : Мир, 2017. – 332 с.
- 7 Витвицкий, Е. Е. Моделирование транспортных процессов Учебное пособие / Е. Е. Витвицкий. – Омск : СибАДИ, 2017. – 178 с.
- 8 Гавриков, М. М. Теоретические основы разработки и реализации языков программирования / М. М. Гавриков, А. Н. Иванченко. – М. : КноРус, 2018. – 97 с.
- 9 Галабурда В. Г., Персианов В.А., Тимошин А.А. и др. Единая транспортная система / В. Г. Галабурда, В. А. Персианов и др. – М. : Транспорт, 2013. – 303 с.
- 10 Задорожный, В. Н. Аналитико-имитационные методы решения актуальных задач системного анализа больших сетей / В. Н. Задорожный, Д. Ю. Долгушина, Е. Б. Юдин. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2013. – С. 86–125.
- 11 Задорожный, В. Н. Обзор программ моделирования транспортных потоков / В. Н. Задорожный, Е. Б. Юдин // Динамика систем, механизмов и машин. – Омск : ОмГТУ, 2016. – № 1. – С. 254–257

12 Зырянов, В. В. Применение микромоделирования для прогнозирования развития транспортной инфраструктуры и управления дорожным движением / В. В. Зырянов // Дороги России XXI века. – М., 2009. – № 3. – С. 37–40.

13 Ивашов, Е. Н. Теория механизмов и машин. Проектирование элементов и устройств технологических систем электронной техники: учебник для бакалавриата и магистратуры / Е. Н. Ивашов. – 2-е изд., пер. и доп. – М. : Издательство Юрайт, 2018. – 369 с.

14 Климова, Л. М. Pascal 7.0. Практическое программирование. Решение типовых задач / Л. М. Климова. – М. : КУДИЦ-Образ, 2017. – 528 с.

15 Клинковштейн Г.И., Афанасьев М.Б. Организация дорожного движения: учебник / Г. И. Клинковштейн, М. Б. Афанасьев. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 2011. – 247 с.

16 Кочерга, В. Г. Интеллектуальные транспортные системы в дорожном движении / В. Г. Кочерга, В. В. Зырянов, В. И. Коноплянко. – Ростов-на-Дону : РГУ, 2008. – 108 с.

17 Кириченко, А. В. Введение в транспортную логистику / А. В. Кириченко, А. Л. Кузнецов, О. А. Ражев и др. – СПб. : ГУАП, 2011. – 228 с

18 Майоров, Н. Н. Системный анализ: учеб. пособие / Н. Н. Майоров, В. А. Фетисов, В. Е. Таратун, В. А. Романек. – СПб. : ГУАП, 2016. – 137 с.

19 Маркуц, В. М. Транспортные потоки автомобильных дорог и городских улиц Практическое приложение / В. М. Маркуц. – Тюмень, 2018. – 108 с.

20 Михеева Т. И. Модели транспортных потоков в интеллектуальных транспортных системах / Т. И. Михеева, С. В. Михеев, И. Г. Богдагов. // Научное обозрение. Технические науки. – 2014. – № 2. – С. 63–64

21 Наумова Н. А. Теоретические основы и методы автоматизированного управления транспортными потоками средствами мезоскопического моделирования: дис. ... д-ра тех. наук / Н. А. Наумова. – Волгоград, 2015. – 36 с.

22 Немцова, Т. И. Программирование на языке высокого уровня. Программирование на языке Object Pascal (+ CD-ROM) / Т.И. Немцова, С.Ю. Голова, И.В. Абрамова. – М. : Форум, Инфра-М, 2017. – 496 с.

23 Низовцев, Ю. М. Новый подход к организации движения транспортных потоков / Ю. М. Низовцев, А. Ю. Низовцев, Ю. Ф. Макаров. – LAP Lambert Academic Publishing, 2013. – 368 с.

24 Николаев, Н. Н. Моделирование транспортных процессов Учебное пособие / Н. Н. Николаев. – зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донской ГАУ, 2016. – 153 с.

25 Пугачёв, И. Н. Организация и безопасность дорожного движения: учебное пособие для студ. высш. учеб. заведений / И. Н. Пугачёв, А. Э. Горев, Е. М. Олещенко. – М. : Издательский центр «Академия», 2009. – 272 стр.

26 Соммервилл, Иан. Инженерия программного обеспечения, 6-е издание / И. Соммервилл. Пер. с англ. – М. : Издательский дом "Вильямс", 2012. – 624 с.

27 Смолко, И. Ю. Математическое моделирования транспортных потоков на примере города Благовещенск [Электронный ресурс] / И. Ю. Смолко // Матрица научного познания. – Уфа: Омега сайнс, 2019. – №4 – С.30-32. Режим доступа: <https://os-russia.com/SBORNIKI/MNP-2019-3.pdf>

28 Смолко, И. Ю. Моделирование транспортных потоков на примере города Благовещенск / И. Ю. Смолко // МОЛОДЕЖЬ XXI ВЕКА: ШАГ В БУДУЩЕЕ: материалы XIX региональной научно-практической конференции (Благовещенск, 23 мая 2018 г.). В 3 т. – Благовещенск: Изд-во Дальневосточного гос. аграрного ун-та, 2018. – Т. 3. Физико-математические науки. Химические науки. Науки о земле. Информационные технологии. Технические науки. Философские науки. Безопасность жизнедеятельности. Юридические науки – С. 210-211

29 Смолко, И. Ю. Проблемы и перспективы транспортного моделирования на примере города Благовещенск / И. Ю. Смолко// Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции «ТРАДИЦИОННАЯ И ИННОВАЦИОННАЯ НАУКА: ИСТОРИЯ, СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ» (21 марта 2019 г, г. Пермь). – Уфа: OMEGA SCIENCE, 2019. – С. 52-54

30 Трофименко Ю. В., Якимов М.Р. Транспортное планирование: формирование эффективных транспортных систем крупных городов / Ю. В. Трофименко, М. Р. Якимов. – М. : Логос, 2013. – 464 с.

31 Федоров, Л. С. Общий курс транспортной логистики Учебное пособие / Л.С. Федоров под общ. ред., В.А. Персианов, И.Б. Мухаметдинов. – М. : КноРус, 2015. – 309 с.

32 Фетисов, В. А. Моделирование транспортных процессов / В. А. Федоров, Н. Н. Майоров, В. Е. Таратун. – СПб. : ГУАП, 2013. –31 с.

33 Фетисов, В. А. Практические задачи моделирования транспортных систем / В. А. Фетисов, Н. Н. Майоров. – СПб. : ГУАП, 2012. - 185 с

34 Якимов, М. Р. Транспортное планирование. Особенности моделирования транспортных потоков в крупных российских городах: монография / М. Р. Якимов, А. А. Арепьева. – М. : Логос, 2016. – 280 с.

35 Якимов, М. Р. Транспортное планирование: практические рекомендации по созданию транспортных моделей городов в программном комплексе PTV Vision® VISUM: монография / М. Р. Якимов, Ю. А. Попов. – М.: Логос, 2014. – 200 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Классификация моделей транспортных потоков

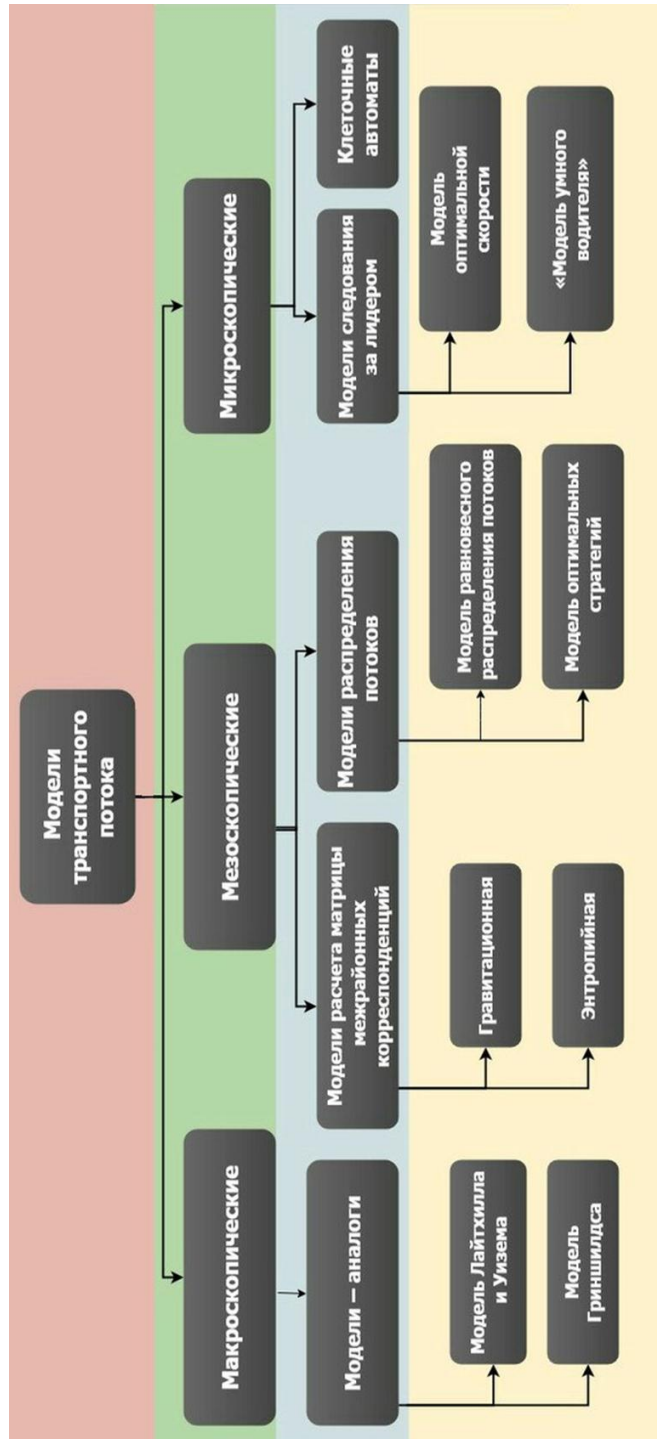


Рисунок А.1 – Классификация моделей транспортных потоков

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Диаграмма вариантов использования

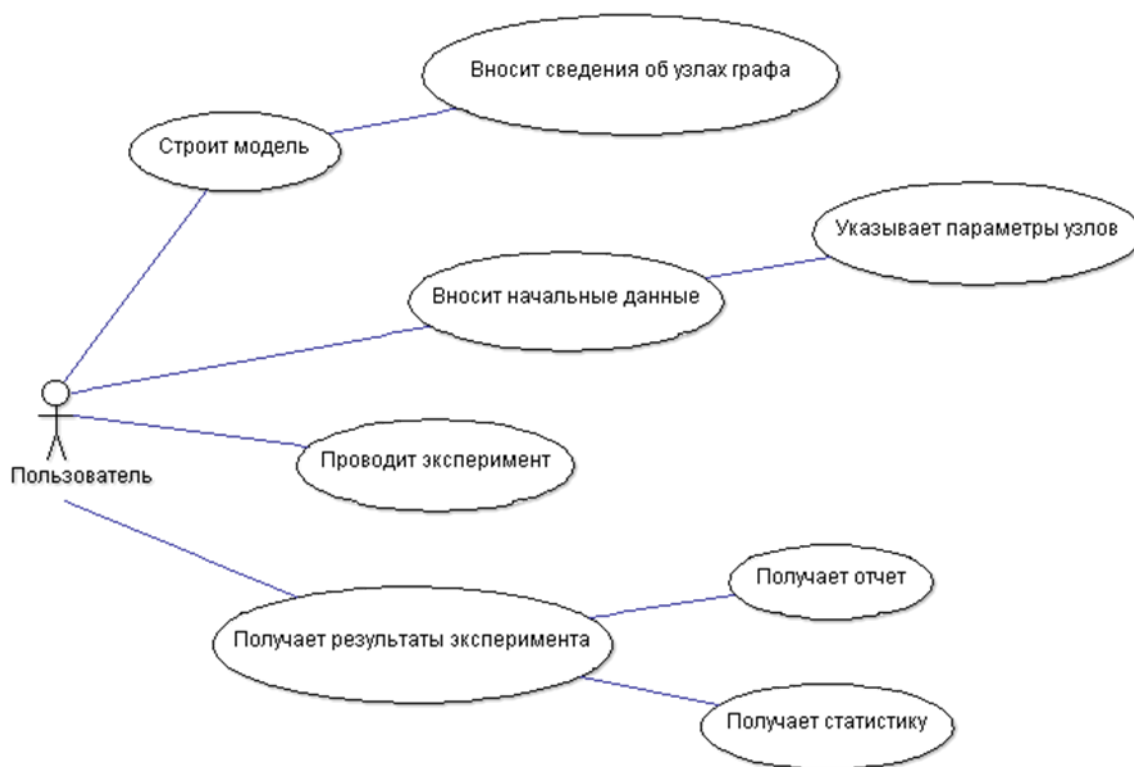


Рисунок Б.1 – Диаграмма вариантов использования

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Диagramмы последовательности

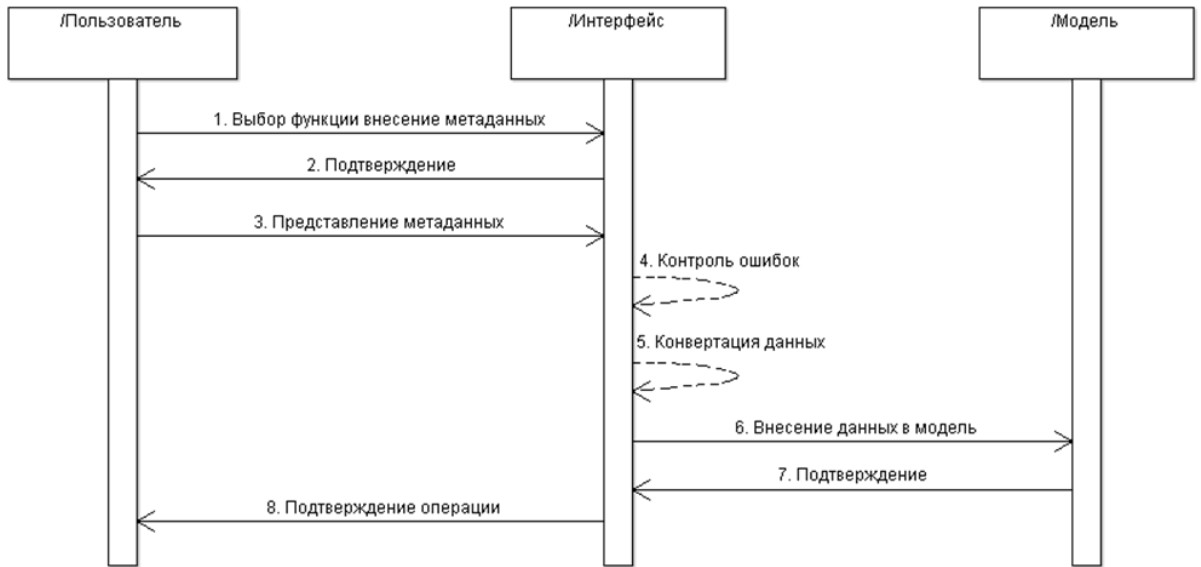


Рисунок В.1 – Последовательность действий при внесении метаданных

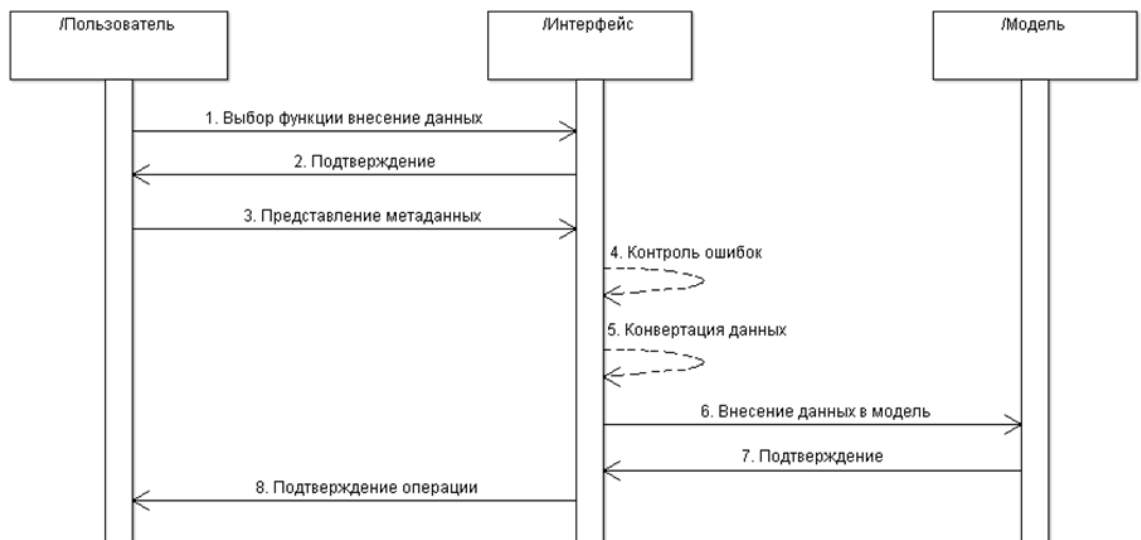


Рисунок В.2 – Последовательность действий внесения данных модели

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ В

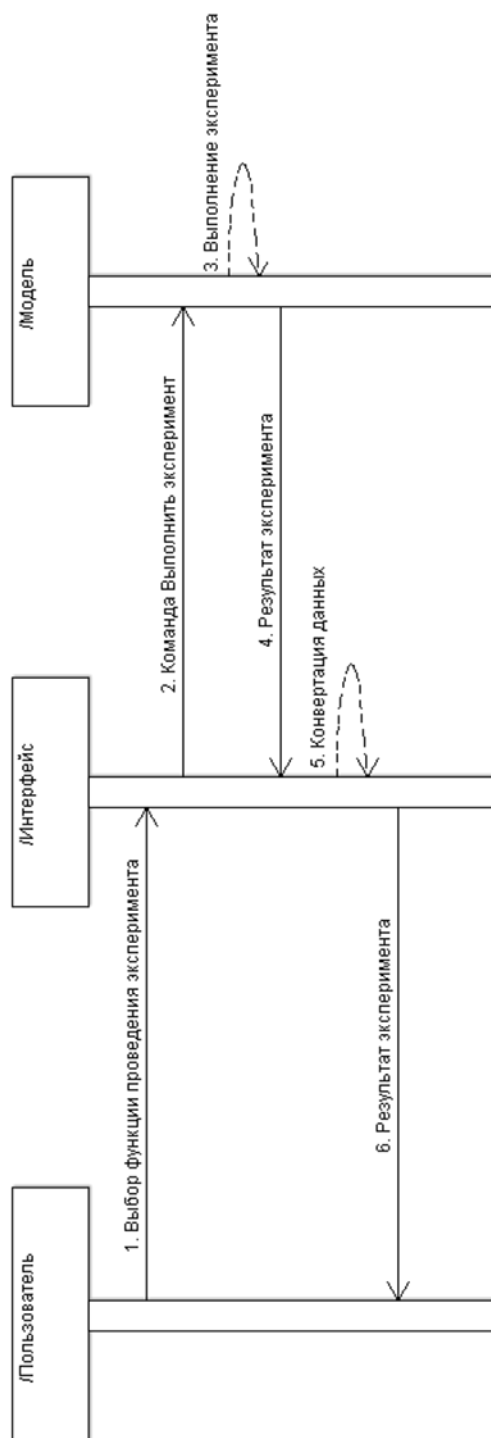


Рисунок В.3 – Последовательность действий при выполнении эксперимента

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ В

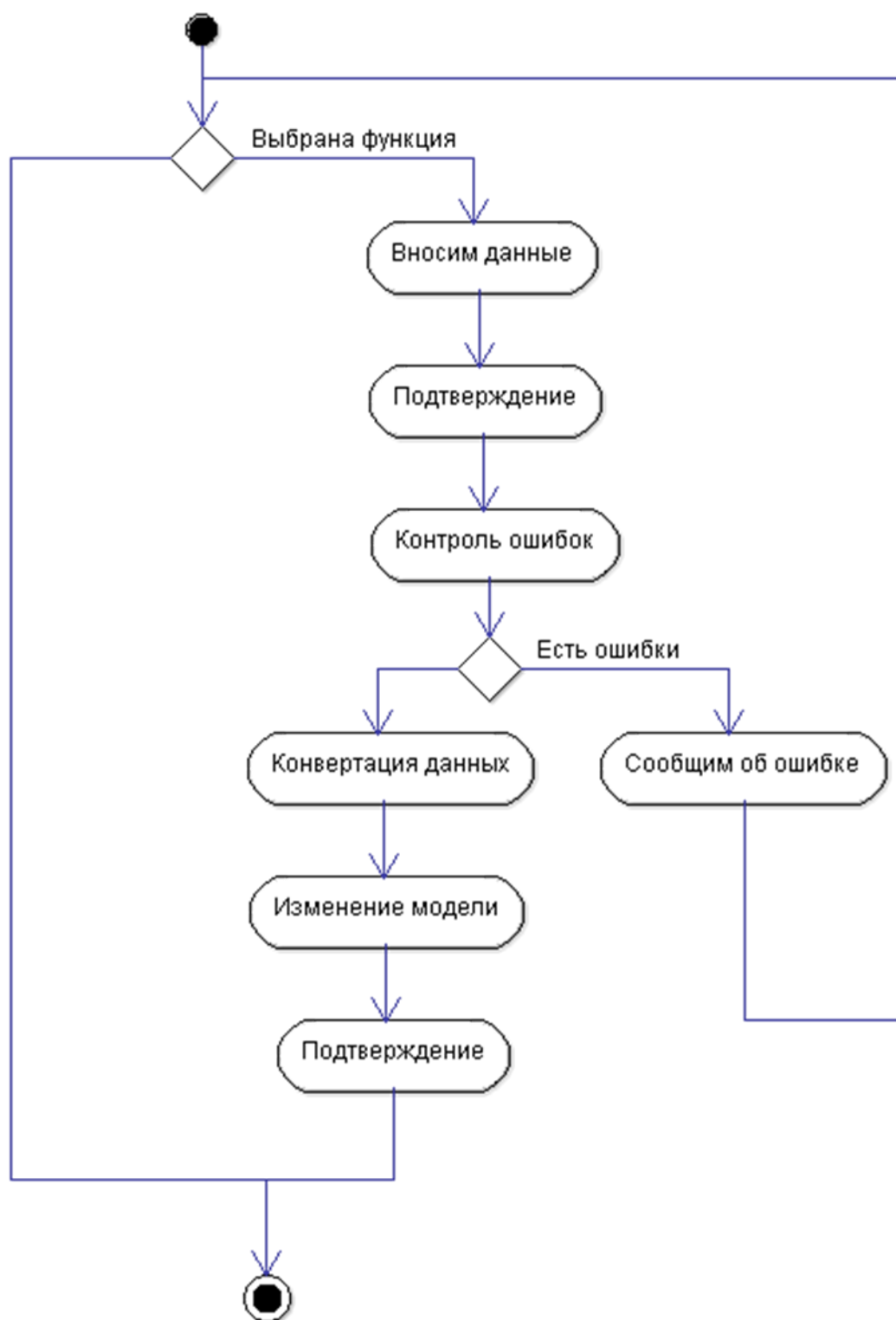


Рисунок В.4 – Диаграмма последовательности внесения данных

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ В



Рисунок В.5 – Диаграмма последовательности проведения эксперимента

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Образец формата описания модели

Param

Name:

Path_Map: fon.jpg

End_Param

Node

count_trans: 1800

max_trans: 2000

value_random: 1

name: Деловой центр

Id: 0

X: 1

Y: 1

cross: False

Rib

maximum: 100

limit: 98

traffic: 0

name: 1-2

id: 1

End_Rib

Rib

maximum: 100

limit: 98

traffic: 0

name: 1-4

id: 3

End_Rib

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ Г

End_Node

Node

count_trans: 100

max_trans: 1000

value_random: 1

name: Жилой район1

Id: 1

X: 1

Y: 1

cross: False

End_Node

Node

count_trans: 50

max_trans: 500

value_random: 1

name: Жилой район2

Id: 2

X: 1

Y: 1

cross: False

End_Node

Node

count_trans: 0

max_trans: 0

value_random: 1

name: Перекресток

Id: 3

X: 1

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ Г

Y: 1

cross: True

Rib

maximum: 100

limit: 98

traffic: 0

name: 4-3

id: 2

End_Rib

Rib

maximum: 100

limit: 98

traffic: 0

name: 4-5

id: 4

End_Rib

End_Node

Node

count_trans: 50

max_trans: 500

value_random: 1

name: Жилой район3

Id: 4

X: 1

Y: 1

cross: False

End_Node

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Диаграмма классов

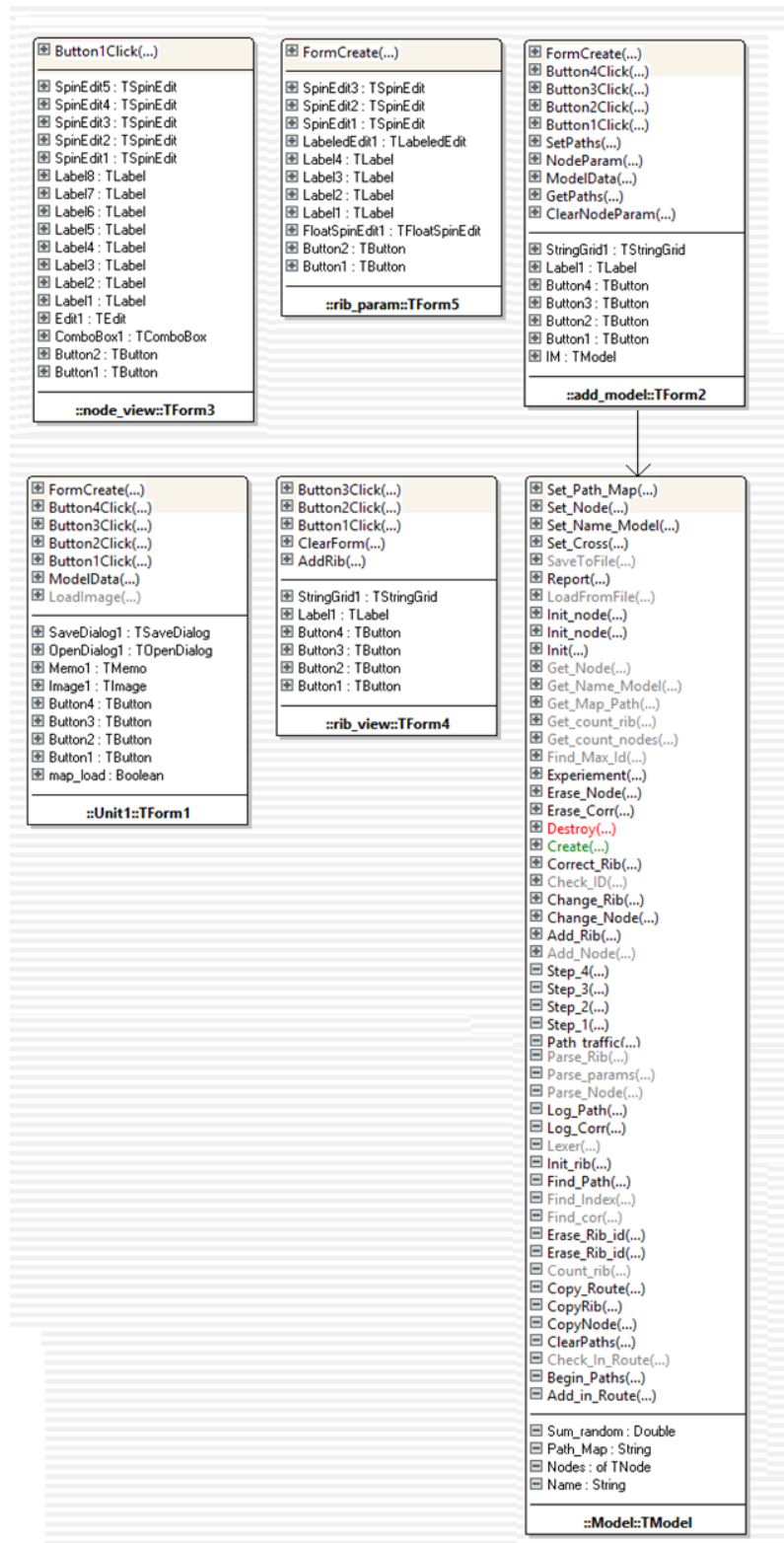


Рисунок Д.1 – Диаграмма классов

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Сертификат участника конференции



Рисунок Е.1 – Сертификат участника Всероссийской научно-практической конференции