

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ТРАНСПОРТА ИМ. Н.С.СОЛОМЕНКО
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

На правах рукописи

СЕЛИВЕРСТОВ Ярослав Александрович

**МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ГОРОДСКИМИ ТРАНСПОРТНЫМИ
ПОТОКАМИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ВНЕШНЕЙ
ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЫ**

Специальность:

05.22.01 - Транспортные и транспортно-технологические
системы страны, ее регионов и городов, организация производства
на транспорте

**Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Научный руководитель -
д.т.н., доцент Стариченков А.Л.

Санкт-Петербург—2015

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ГОРОДСКИМИ ТРАНСПОРТНЫМИ ПОТОКАМИ.....	13
1.1. Современное состояние исследований проблем управления городскими транспортными системами	13
1.2. Функции системы городского транспортно-логистического мониторинга.....	18
1.2.1. Модель подсистемы идентификации и аутентификации на транспорте.....	19
1.2.2. Модель подсистемы распознавания состояний объектов управления городской транспортной системы.....	26
1.2.3. Модель подсистемы местопределения объектов управления городской транспортной системы.....	29
1.3. Структурная схема системы городского транспортно- логистического мониторинга.....	35
Выводы по главе 1.....	37
ГЛАВА 2. МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ГОРОДСКИМИ ТРАНСПОРТНЫМИ ПОТОКАМИ.....	39
2.1. Логико-алгебраическая модель исходных данных городской транспортной системы	39
2.2. Модель функционального операторного базиса управления городской транспортной системы.....	42
2.3. Агентная модель городской транспортной системы.....	45
2.4. Графо-аналитическая модель городской транспортной сети....	48
2.5. Модель управления динамическими транспортными потоками мегаполиса.....	54
Выводы по главе 2.....	66

ГЛАВА 3. МОДЕЛИ КЛАССИФИКАЦИИ МЕЖОБЪЕКТНЫХ ОТНОШЕНИЙ ГОРОДСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ.....	68
3.1. Классификация отношений социально-экономической активности городского населения	68
3.2. Формальная модель классификации межагентных отношений в городской транспортной системе.....	73
Выводы по главе 3.....	102
ГЛАВА 4. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГОРОДСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ	104
4.1. Методы построения матриц корреспонденций.....	104
4.2. Разработка достоверной модели распределения транспортных потоков.....	129
4.3. Разработка информационно-логической модели распределения транспортных потоков	132
4.4. Анализ результатов моделирования.....	141
Выводы по главе 4.....	146
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	147
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	150
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	155
ПРИЛОЖЕНИЕ. Результаты моделирования.....	171

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования и степень ее разработанности. Повышение темпов экономического развития России, заявленное в Стратегии 2020¹, в условиях глобальной конкуренции и геополитического соперничества, охватывающего не только традиционные рынки сырья, товаров, капиталов, технологий и рабочей силы, но и системы национального управления поддержкой инноваций, невозможны без сбалансированного развития территориальных и социальных систем.

Устойчивая тенденция роста урбанизации населения в 2007 году перешагнула исторический рубеж - доля мирового населения, живущего в городах, превысила отметку в 50 %, о чем было засвидетельствовано на Шестой сессии всемирного форума городов в рамках программы ООН по населенным пунктам.

Доля городского населения на территории СНГ в 2013г достигла 72%, а к 2030г по данным Всемирного банка вплотную подойдет к 80%. Город уже не представляет собой простой населенный пункт. В ходе своего развития и становления он синтезировался в сложную сеть, состоящую из политических, экономических, транспортно-логистических и социально-культурных взаимосвязей [117]. Развитие транспортных систем крупных городских агломераций становится важным сегментом государственной транспортной политики², которая должна объединить и скоординировать действия федеральных, региональных и муниципальных органов в области градостроительства, землепользования и развития транспорта. Решение транспортных проблем городских агломераций требует расширения использования глобальных радионавигационных систем, высокоэффективных инфотелекоммуникационных технологий, программно-алгоритмических средств

¹ Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации до 2020г.

² Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030г.

обработки информации, создания на их основе интеллектуальных городских транспортных систем.

В условиях массовой автомобилизации населения, стремительного сокращения пропускных способностей транспортных сетей и, как следствие, возрастающей аварийности и смертности последнее приобретает исключительный характер.

Значительные диспропорции в размещении мест проживания населения и приложения труда, характерные для большинства мегаполисов России, приводят к появлению маятниковых пассажирских и транспортных потоков, а существующий дефицит транспортных коммуникаций и отсутствие интеллектуальных систем управления дорожным движением в «часы пик» становятся основной причиной потерь времени, экологического ущерба, причиной стрессов участников транспортного процесса и возникновения чрезвычайных дорожных ситуаций.

Управление транспортной системой крупных городов с применением информационных технологий широко используется в мировой и отечественной практике при организации дорожного движения.

Фундаментальные проблемы транспортных систем решали О.В. Белый [8,9,10,11], А.Э. Горев [31], Н.Н. Громов [37,38], О.Г. Кокаев [8,51], С.А. Попов [8], В. В. Сильянов [112,113], Н.Н. Смирнов [102], С.А. Тархов [121], Д. Банистер [136,137], В.Н. Бургоменко [17], Р.Б. Митчелл [155], И.В. Кочетов [52], В.А. Персианова [88], В. Ви [164] и другие.

Проблемы городского транспортного моделирования отражены в работах М. Вола [22], П.П. Бобрика [13,14], А.Э. Горева [32,33], В.В. Захарова [40,41], А.А. Замятина [21], В.В. Зырянова [42], В.Т. Капитанова [46], Г.И. Клинковштейна [48,81], Ю.А. Кременца [53], М.П. Печерского [89], А. В. Гасникова [21,29,30], С.Л. Кленова [49], В.В. Семенова [99,100,101], Е. А. Нурминского [79], Н.Б. Шамрай [79], В.И. Швецова [128,129], К. О. Тонга [162] и других.

Решению проблем управления транспортом и логистикой в границах системного анализа посвящены работы Н.П. Бусленко [19], Т.И. Михеевой

[70,72], М.М. Девятова [82], С.В. Милославской [68], Л.Б. Миротина [69], В.С. Лукинского [64,73], О.Н.Ларина [61,62,69], Д.А. Скороходова [11,114], И.М. Смирнова [78], В.В. Щербакова [83], Т.П. Воскресенской [25,26], Ф. Хейта [126,168], С.М. Резера [93,94], Т. Саати [96] и других.

В развитие интеллектуальных транспортных информационных технологий существенный вклад внесли А.П. Буслаев [18], Д. Кнут [56,57,58,59,60], С. Осовский [84], В. И. Васильев [20], Г. А. Ивахненко [43,98], Б. Г. Ильясов [20], Г. С. Пospelов [91], Д. А. Пospelов [90], Б. Я. Советов [115], М.Р. Якимов [131,132,133,134], Т.И. Михеева [123], И.Г. Малыгин [10,71], К. Нагель [156], Х. Махмасани [170,171], М. Шрекенберг [160], Л.Р. Рилет [157,158], Б. Шен [141] и другие. Транспортно-экологические проблемы раскрыты в трудах В.Н. Луканина [3], М.В. Графкина [36], В.А. Михайлова [36], Л.Д. Бариновой [6,7], Л.Э. Забалканской [6,7], Е.И. Павловой [85], В.И. Козинцева [50], А.А. Любушина [65] и других.

Комплексные вопросы безопасности транспортных систем рассмотрены в трудах И.Я. Аксенова [1,2], Е.П. Попова [80], А.Л. Стариченкова [11,116], А.И. Рябчинского [95], М.Л. Маринова [67,114], Н.В. Шаталовой [127], Дж. Микульски [153,154] и других.

В основе систем управления (СУ) городскими транспортными потоками (ТП) лежат математические и программно-алгоритмические модели. К настоящему времени уже разработаны транспортные модели, которые с определенной степенью достоверности отображают реальные транспортные процессы. С их использованием вычисляются потоки и загрузка элементов сети, составляется расписание движений общественного транспорта, выполняется локальное управление активными элементами транспортной сети с целью перераспределения транспортных потоков на особо загруженных участках. Основной проблемой создания достоверных моделей является получение статистической информации о поведении пользователей в сети. Эта информация представляется в виде матриц корреспонденций, точность которых, в виду отсутствия надлежащих систем мониторинга транспортной мобильности, не

превышает 10%. Использование недостоверных данных, полученных посредством единичных опросов приводит к построению ложных транспортных моделей, сводит на нет эффективность принимаемых управленческих решений, делает невозможным построение достоверных матриц корреспонденций.

Устойчивая тенденция последовательного внедрения отдельных составляющих информационных систем управления дорожным движением в практику организации городского транспортного процесса в мегаполисах России не сумела повысить пропускную способность транспортных сетей, снизить количество дорожно-транспортных происшествий и качественно повысить безопасность дорожного движения. Несмотря на большое число существующих технических решений современные модели управления городской транспортной системой (ГТС) не реализуют в полном объеме функции управления.

Таким образом, в настоящее время существует актуальная научная задача разработки достоверных моделей управления городскими транспортными потоками (ГПТ).

Цель исследования состоит в решении задачи повышения качества управления ГТС в условиях неопределенности внешней информационной среды за счет разработки новых и совершенствования существующих моделей управления ГТП.

Для достижения поставленной цели решены следующие **основные задачи**:

1. Проведен анализ существующих систем управления городскими транспортными потоками;
2. Проведен анализ способов местоопределения, классификации, идентификации, аутентификации и бесконтактной диагностики состояния подвижных транспортных объектов;
3. Выполнен анализ моделей построения и оценки матриц корреспонденций;
4. Разработана структурная схема системы городского транспортно-логистического мониторинга и предложено ее согласованное включение в модель управления ГТС.

5. Разработана логико-алгебраическая модель представления исходных данных, лежащая в основе модели управления городскими транспортными потоками;

6. Разработана агентная модель ГТС;

7. Разработана графо-аналитическая модель городской транспортной сети;

8. Разработана модель управления городскими транспортными потоками;

9. Разработана модель классификации межагентных отношений в ГТС;

10. Разработана модель распределения городских транспортных потоков и проверена ее адекватность.

Объект исследования - транспортная система города.

Предмет исследования - модели управления городскими транспортными потоками, элементы городской транспортной сети и системы транспортного мониторинга.

Методы исследования – методы построения и оценки матриц корреспонденций, методы дискретной математики и теории графов, методы и алгоритмы реляционной алгебры, методы местоопределения, идентификации и аутентификации на транспорте, методы решения задач маршрутизации транспорта на графах, методы обработки статистической информации, методы имитационного моделирования.

Результатами диссертационного исследования, выносимыми на защиту являются:

1. Структурная схема системы городского транспортно-логистического мониторинга;

2. Модель управления городскими транспортными потоками.

3. Модель классификации межагентных отношений в ГТС.

4. Модель распределения городских транспортных потоков.

Научную новизну работы составляют следующие результаты, выносимые на защиту.

Новизна первого научного результата заключается в том, что в отличие от существующих решений, предложена структурная схема системы городского

транспортно-логистического мониторинга (СГТЛМ) [110] в составе модели управления ГТС и ее согласованное включение в систему Федеральной службы государственной статистики в границах единой системы классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации. Система, построенная по предлагаемому принципу, позволит осуществлять сбор данных о положении и состоянии транспортных объектов, а также передавать эти данные по каналам связи на устройства обработки информации и диспетчерские центры, сравнивать, анализировать и архивировать информацию. Внедрение предложенного решения позволит повысить управляемость поведением ГТС, включая возникновение опасных ситуаций на транспорте посредством информационного упреждения.

Новизна второго научного результата заключается в том, что предложена модель управления городскими транспортными потоками. В отличие от известных решений, в основу модели положены принципы рациональной самоорганизации, включающие целевые ориентиры пользователя и целевые ориентиры системы. В целевые ориентиры пользователя укладывается первый принцип Вардропа [111] и принцип безопасного следования [111], в целевые ориентиры городской транспортной системы укладывается второй принцип Вардропа и принцип надежного функционирования [111]. Информационное наполнение модели производится на основе достоверной информации, поступающей с СГТЛМ. Внедрение предложенной модели системы управления способно повысить пропускную способность ГТС за счет устранения нерационального распределения транспортных потоков, а также повысить надежность и управляемость за счет информирования участников транспортного процесса.

Новизна третьего научного результата заключается в том, что, в отличие от известных моделей, предложена модель классификации межагентных отношений в ГТС. В основу модели положена формальная интерпретация социально-экономической активности городского населения через потребительскую активность, информационно-сетевую активность и транспортную активность

городского населения. Данную классификацию предлагается производить с использованием расширенной системы классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации.

Новизна четвертого научного результата заключается в том, что, в отличие от известных моделей, предложена модель распределения городских транспортных потоков, в основу которой были положены временные модели цепочек дневной активности городского населения, привязанные к достоверным матрицам корреспонденций. Предложенная модель позволила сбалансировать распределение городских транспортных потоков в связи с вводом в Санкт-Петербурге новых станций метрополитена: «Обводный канал», «Международная», «Бухарестская» и «Адмиралтейская», а также повысить эффективность управления ГТС и улучшить точность прогноза распределения транспортных потоков в мегаполисе.

Практическая значимость работы и полученных результатов определяется необходимостью перехода городской транспортной системы на новый уровень управления. Внедрение разработанных моделей в систему городского транспортного управления будет способствовать повышению эффективности пассажирских, грузовых и специальных перевозок; оптимизации работы дорожных служб; повышению эффективности реагирования на дорожно-транспортные происшествия и другие нештатные ситуации на УДС; повышению безопасности дорожного движения; повышению пропускной способности дорожной сети, и, как следствие, росту инвестиционной привлекательности городской экономики за счет оптимизации инфраструктуры транспортных перевозок.

Достоверность основных положений исследования обеспечена корректной постановкой задач и проведением натурных исследований, применением системного подхода при анализе предметной области, использованием современных расчетных методов и согласованностью полученных результатов с результатами работ других исследователей. Достоверность научных результатов подтверждается апробацией основных положений диссертации.

Обоснованность научных результатов определяется строгой аргументацией разработанных моделей, доказательным и корректным использованием апробированных методов исследования.

Реализация. В рамках диссертационного исследования был выполнен научно-исследовательский проект «Моделирование и оценка изменения динамики транспортных потоков с вводом метрополитеном станций «Обводный канал», «Адмиралтейская», «Бухарестская», «Международная». Научное направление: Транспорт. Диплом: серия ПСП №10605. Проект стал лауреатом конкурсного отбора среди молодых ученых, молодых кандидатов наук вузов и академических институтов, расположенных на территории Санкт-Петербурга в 2010 году и был поддержан Комитетом по науке и высшей школе Правительства Санкт-Петербурга.

Внедрение результатов работы.

Результаты работы «Моделирование и оценка изменения динамики транспортных потоков с вводом метрополитеном станций «Обводный канал», «Адмиралтейская», «Бухарестская», «Международная» были использованы Российско-Немецкой компанией «А+С Консалт» при разработке транспортной модели городского общественного пассажирского транспорта Санкт-Петербурга, о чем свидетельствует Акт о внедрении результатов работы № А01-07-10.

Результаты диссертационного исследования были использованы ФГБУН Институтом проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук (ИПТ РАН) при выполнении следующих государственных научно-исследовательских работ 2011-2013 годах:

1. «Разработка методологии имитационного моделирования процесса интегрального обслуживания мультимодальных транспортных потоков», № гос. регистрации: 1-121-09.
2. «Разработка научных основ построения интеллектуальных транспортных систем на примере мегаполиса», № гос. регистрации: 114080450059.

Апробация работы. Научные результаты диссертационного исследования докладывались на семинарах в Федеральном государственном бюджетном

учреждении науки Институте проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук, в Доме ученых имени М. Горького Российской академии наук, а также на 6 международных, всероссийских и отраслевых научно-технических конференциях.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 11 печатных работ, в том числе 5 статей в ведущих рецензируемых журналах и изданиях перечня ВАК, 6 публикаций в материалах научных конференций, научных журналах и сборниках научных трудов.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка сокращений и обозначений, списка литературы, включающего 172 источника и приложения. Общий объем работы 179 страниц, 67 рисунков, 8 таблиц.

ГЛАВА 1

АНАЛИЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ГОРОДСКИМИ ТРАНСПОРТНЫМИ ПОТОКАМИ

1.1. Современное состояние исследований проблем управления городскими транспортными системами

Исследование проблем построения эффективных систем управления транспортными потоками мегаполиса активно ведется в настоящее время Российскими и зарубежными научными коллективами. Усилия международных и региональных научных коллективов сконцентрированы по всему научно-отраслевому базису, лежащему в основе построения подобных систем.

Среди работ в области анализа телематических и интеллектуальных транспортных систем можно отметить следующие: в работах [44,86] представлены технологии адаптивного управления дорожным движением, раскрыты основные технологические компоненты транспортной телематики, дан краткий обзор развития прикладных программ в области телематики в странах Евросоюза, США и РФ, на концептуальном уровне рассмотрено взаимодействие элементов архитектуры ИТС; в работе [23] рассмотрены возможности построения интеллектуальных систем управления транспортными потоками на базе инженерных программных пакетов имитационного моделирования дорожного движения, совмещенных с аппаратными средствами оперативного сбора транспортной информации; в работе [87] подробно изложены основные принципы построения автоматизированных систем управления дорожным движением (АСУДД), приведено описание периферийных технических средств светофорного регулирования, устройств центрального управляющего пункта и контрольно-проверочной аппаратуры; в [77] дан обзор применения телематических систем на транспорте и предложено построение интегрированной интеллектуальной информационно-управляющей системы с архитектурой ANFIS; в работах

[153,163,169] формально обоснованы модели построения ИТС на базе телематических систем, предложено аппаратно-программное обеспечение последних, а также отмечено, что использование телематических систем ведет к снижению экологической нагрузки от ТрС, повышению пропускной способности транспортной сети за счет рационального использования транспортной инфраструктуры и снижения дорожно-транспортных происшествий; в работе [154] отмечено, что внедрение телематических систем в управлении ГТС ведет к улучшению городской экологической среды; в [125] рассмотрена базовая архитектура ИТС на основе V2V и V2I, проведен сравнительный анализ мобильных телекоммуникационных технологий доступа и выявлены их преимущества и недостатки для работы различных приложений ИТС, а также установлена необходимость применения интегрированного решения, совмещающего разнообразные беспроводные технологий, способные к адаптации в реальных условиях.

Среди работ в области систем управления процессом распределения транспортных потоков, отметим следующие: в работах [21,75, 99,100,101,102,128] представлены подходы к исследованию транспортных потоков с помощью теории экономического равновесия, подробно изложены математические методы моделирования ТП на макро- и микро- уровнях; в работе [54] изучена проблема нахождения оптимальных управленческих стратегий распределения транспортных потоков, равновесных по Вардропу, на сети из параллельных каналов с линейной BPR-функцией задержки; в работе [106] рассмотрены линейные, гравитационные и энтропийные модели распределения ТП; в работе [76] представлены гидродинамические модели; в работе [41] предложен подход к управлению транспортными потоками на улично-дорожной сети мегаполиса на основе равновесия по Штакельбергу в построенной двухуровневой конфликтной игре между провайдерами навигационных услуг и администрацией мегаполиса; в работе [30] осуществлено построение комбинированной энтропийной модели ТП на основе равновесного расщепления и равновесного распределения ТП; в работе

[118] рассмотрена графовая модель для решения задачи маршрутизации при распределении пассажирских и транспортных потоков в крупных городах.

Среди работ в области систем управления на основе агентных и мультиагентных архитектур, отметим следующие: в работе [135] на основе многоагентной модели, наполняемой реальной информацией с систем мониторинга дорожного движения, рассмотрено моделирование и оптимизация городских перевозок, осуществлена оценка прогнозов выбросов от транспортных средств и оценка состояния транспортной инфраструктуры; в работе [144] предложено построение интеллектуальных систем управления дорожным движением (ИСУДД) в режиме реального времени на базе мультиагентных архитектур; в работе [141] показана эффективность использования многоагентных систем для имитационного моделирования динамических транспортных потоков в условиях неопределенности внешней среды, их маршрутизации и оптимизации.

Среди работ в области построения матриц корреспонденций, отметим следующие: в работе [34] представлен алгоритм расчета матриц пассажирских корреспонденций пригородного сообщения на основе данных по отправлению и прибытию пассажиров на остановочные пункты; в работе [35] рассмотрена методика определения сбалансированной емкости транспортных районов центральной части города по прибытию и отправлению автомобилей за счет включения в расчет количества автомобилей, которые осуществляют движение по транспортной сети; в работах [106,128] рассмотрены методы построения матриц корреспонденций и алгоритмы калибровки; в работе [21] предложены методы робастного оценивания матриц корреспонденций транспортных потоков, сводящиеся к задачам линейного и квадратичного программирования со смешанными ограничениями; в работах [167,170] рассматриваются процедуры построения матриц транспортных корреспонденций между районами отправления и прибытия с использованием информации, полученной от автоматизированных транспортных информационных систем; в работах [119,120,151,165,171] представлены алгоритмы статистической оценки и калибровки матриц транспортных корреспонденций.

Среди работ в области построения систем местоопределения подвижных транспортных объектов, отметим следующие: в работе [148] рассмотрены особенности сетей третьего поколения стандарта UMTS, а также описаны принципы организации радио интерфейса, архитектура сети и назначение ее элементов, подробно раскрыт функционал, ответственный за местоопределение подвижных мобильных станций; в работе [32] приведены основные сведения по устройству и применению спутниковых систем позиционирования ГЛОНАСС (Россия) и GPS (США); в работе [47] описаны системы слежения за мобильными транспортными объектами, использующие современные методы связи, а также представлен один из вариантов структурной организации диспетчерской системы, основанной на электронной специализированной геоинформационной системе StarView; в работе [15] описан новый способ определения местоположения и управления в современных сетях подвижной радиосвязи, основанный на интегрированном использовании сети подвижной радиосвязи и разворачиваемой в зоне её действия локальной радионавигационной сети.

Среди работ в области построения систем идентификации и аутентификации подвижных транспортных объектов отметим следующие: в работах [33, 45,92,130] представлен анализ технологий современных средств электронной идентификации и их использование в управлении работой автомобильного транспорта, рассмотрены наиболее распространенные способы идентификации грузов, проездных документов и транспортных средств; в работе [97] рассмотрены подходы к построению систем аутентификации; в работе [159] исследована возможность использования технологии радиочастотной идентификации и аутентификации в системах оплаты проезда пассажирского городского транспорта, определены ее достоинства и недостатки; в работе [124] описаны физические принципы работы систем радиочастотной идентификации, приведена информация по действующим в этой области стандартам и практическому применению RFID-систем на транспорте; в работе [146] представлена технология использования RFID-систем на базе мобильных телекоммуникационных устройств связи (смартфон, коммуникатор) для

бесконтактной оплаты проезда в городском транспорте; в работе [147] предложено использование RFID-систем при построении ИТС; в работе [24] обоснована необходимость внедрения систем электронной паспортизации дорог, автоматизированных средств диагностики, сбора информации и управления состоянием дорог.

Среди работ в области построения систем транспортного мониторинга отметим следующие: в работе [27] предложена система видеомониторинга транспортного потока на основе алгоритма, способного обрабатывать видеопоток в реальном времени со скоростью 20 кадров/сек и регистрировать подвижные объекты по характерным признакам; в работах [63,150] для сбора транспортных данных предложено использовать систему на основе локальных детекторов, размещаемых на выделенных участках дорожной сети; в работах [16,66,74,145] исследованы способы построения систем наблюдения за транспортными потоками с использованием навигационных данных (координаты, треки, регистрируемые параметры), передаваемых с мобильных станций по каналам GSM/CDMA или по каналам спутниковой связи при наличии приемников/навигаторов GPS/ГЛОНАС; в работе [103] предложена методика кластеризации данных автомобильных GPS-навигаторов для последующего построения прогнозных моделей транспортных потоков; в работе [12] предложено выявлять подвижность населения посредством опросов, хотя в работе [30] утверждается, что точность каждой корреспонденции, построенной на основании результатов опроса, не превышает 10%.

Анализ представленных материалов свидетельствует о поступательном движении субъектов научно-технической деятельности, занятых в транспортной науке, в следующих направлениях:

- 1) построения интегрированных систем управления городскими транспортными потоками на основе использования комбинированных систем связи, интеграции и унификации различных современных технологий;

2) применения в моделях систем управления транспортом агентных архитектур, достоверно отражающих транспортные процессы в режиме реального времени;

3) использования в программно-математических моделях принципов самоорганизации, а в аппаратно-техническом обеспечении - комплексного внедрения информационных систем идентификации, аутентификации и классификации всех субъектов городской транспортной деятельности.

Разработке структурной схемы системы городского транспортно-логистического мониторинга и посвящена первая глава настоящей работы.

1.2. Функции системы городского транспортно-логистического мониторинга

Под системой городского транспортного мониторинга (СГТЛМ) будем понимать комплекс информационных систем наблюдения, направленный на получение достоверной информации о состоянии подвижных объектов и городской инфраструктуры (рисунок 1.1).

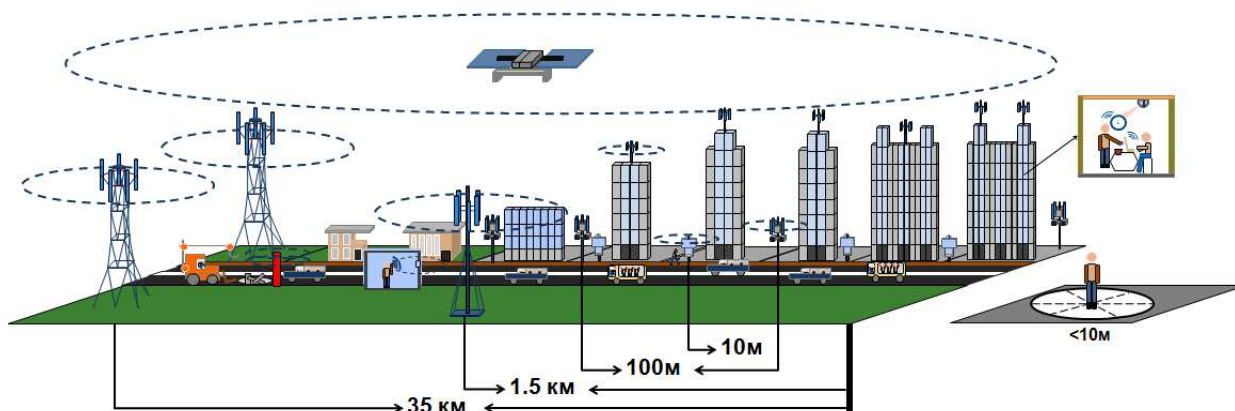


Рисунок 1.1. Система городского транспортно-логистического мониторинга.

СГТЛМ мегаполиса состоит из подсистемы идентификации и аутентификации ОУ (подвижных и стационарных объектов транспорта и инфраструктуры), подсистемы распознавания состояний ОУ, подсистемы местоопределения ОУ, подсистемы прямой и обратной связи ОУ с СГТЛМ (рисунок 1.2).

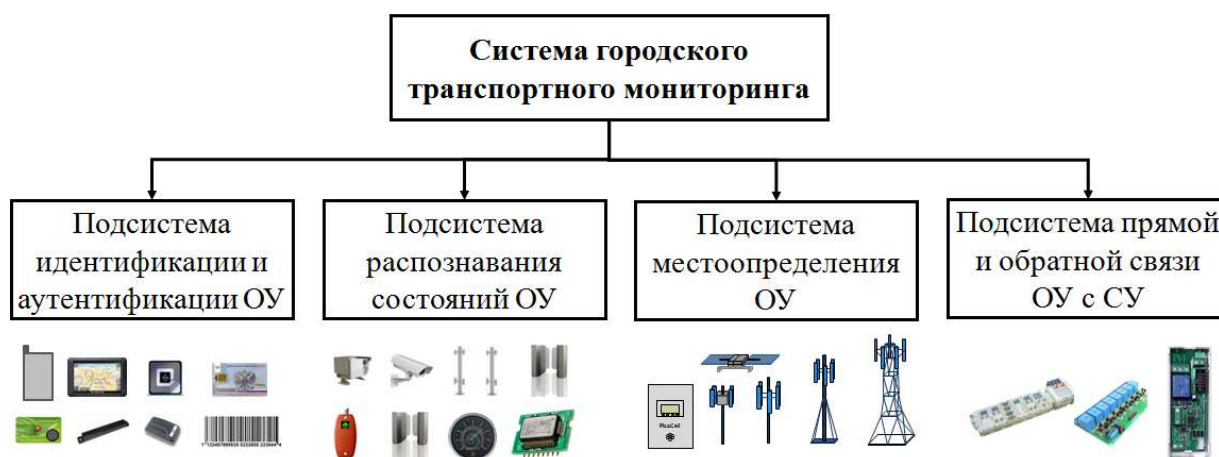


Рисунок 1.2. Состав системы городского транспортно-логистического мониторинга.

СГТЛМ должна осуществлять: сбор данных о положении и состоянии подвижных и стационарных объектов управления (ОУ); передачу данных по каналам связи на устройства обработки информации и диспетчерские центры; сравнение полученной информации с уже имеющейся информацией об объекте; анализ и архивирование информации о мобильных и стационарных объектах.

1.2.1. Модель подсистемы идентификации и аутентификации на транспорте

Подсистема идентификации на транспорте должна осуществлять распознавание объекта или субъекта по его идентификатору. Идентификатор представляет собой некоторое устройство или признак, по которому определяется объект. Идентификатор объекта предъявляется считывателю, который считывает и передает в систему его индивидуальный код для проведения процедуры распознавания.

В общем виде идентификационной нумерацией элементного множества элементов ε_i городской транспортной системы TS будем называть всюду определённое отображение f_N , которое каждому объекту из TS ставит уникальный номер id_η из I , вида

$$f_N : TS \rightarrow I, \quad (1.1)$$

где $I = \{id_{\eta}\}$ - множество уникальных номеров; $TS = \bigcup_i^N \varepsilon_i$ - транспортная система; ε_i - элемент ГТС.

Принадлежность идентификатора объекту устанавливается посредством процедуры аутентификации. Эта проверка позволяет убедиться в том, что объект является именно тем, кем себя объявляет. Состав идентификаторов ГТС представлен в таблице 1.1. При этом в таблице использованы следующие сокращения: ИКДУ – идентифициро-классифицирующие документы и устройства; П - Паспорт гражданина РФ; ОЗП - Общегражданский заграничный паспорт; КП – кадастровый паспорт; ТПЗ – Технический паспорт здания; КН – кадастровый номер; АТХ - Анатомо-терапевтическо-химическая классификация; EAN-13- Европейский номер товара; VIN - Идентификационный номер транспортного средства; ГРНЗ ТрС – Государственный регистрационный номерной знак транспортного средства; КПП - Код причины постановки на учет; ИНН - Идентификационный номер налогоплательщика ИНД - Идентификационный номер дороги; IP - Уникальный сетевой адрес (Internet Protocol Address); IMEI - Международный идентификатор мобильного оборудования (International Mobile Equipment Identity), АН МТ – Абонентский номер мобильного телефона; ТрН- Транспортная накладная; ТН- товарная накладная; ГТД – грузовая таможенная декларация; ИНБК - идентификационный номер банковской карты; ЛК Т-2 – личная карточка работника по форме Т-2; ЭПБГТ- Электронные проездной билет городского транспорта; ПР- проездной билет; ДП- дорожная пошлина; БК – банковская карта; УЭК – Универсальная электронная карта; БП – биометрический паспорт; ЭП – Электронный паспорт гражданина РФ; ДОИУ – договор оказания интернет услуг; ДТПАД – дорожный тариф на платной автомобильной дороге; ИНОН – Идентификационный номер объекта недвижимости; СГПС - Свидетельство государственного пенсионного страхования; МТ - Мобильный телефон; НПГ (РФ) – Номер паспорта гражданина РФ; НЛСФЛ – Номер лицевого счета физического лица; НРСЮЛ - Номер расчетного счета юридического лица; СПНРОНО - Свидетельство о постановке на

учет российской организации налоговым органе по месту нахождения на территории РФ; БИК - Банковский идентификационный код; SWIFT-code – уникальный код присвоенный сообществом всемирных межбанковских финансовых телекоммуникаций; ПИ – Почтовый индекс; ЭПЗ – Электронный паспорт здания; ЭПМД – Электронный паспорт многоквартирного дома; НПТрС – Номер паспорта транспортного средства; ПАМ - Паспорт автобусного маршрута; ПТМ – Паспорт трамвайного маршрута; ПТрМ – Паспорт троллейбусного маршрута; ТТО – Талон технического осмотра транспортного средства; СРТрС – Свидетельство регистрации транспортного средства; ЗД ТрС – Заводская документация на транспортное средство; ТХ ТрС– Технические характеристики транспортного средства; ЭПД – Электронный паспорт дороги; ЭПОП - Электронный паспорт остановочного пункта; ИНОП - Идентификационный номер остановочного пункта.

Таблица 1.1. Объекты и идентификаторы ГТС.

	Объекты идентификации	Уникальные идентификаторы $ID_i = \{id_{\eta i}\}$	Идентифицирующие документы и устройства $ICD_i = \{icd_{di}\}$
1	Городское население	ИНН, СНИЛС, АН МТ (ИМЕI), ИНБК, НПП(РФ), НЛСФЛ	П (ЭП), ОЗП, ВУ, СГПС, ЭМК, ВБ, ПОМС, БК, БП, УЭК, МТ
2	Транспортные средства	VIN, ГРНЗ ТрС, НПТрС	ПТрС, ТТО, ГТД СРТрС, ЗД (ТХ) ТрС, ПОСАГО
3	Товары	EAN-13, IMEI	КЧ, ТН, ГТД
4	Средства упаковки грузов	EAN-13, МКК, (ГОСТР)	ТН, ТрН, ГТД
5	Субъекты экономической деятельности	ИНН, КПП, БИК, ОГРН, НРСЮЛ, SWIFT-code, ПИ	СПНРОНО, ЛК Т-2, ТН, ТрН, КЧ, и др.
6	Объекты транспортной инфраструктуры	КН, ИНД, ИНОП ИНОН, ПИ	ЭПБГТ, ПБ, ДП, ЭПД, ЭПОП, ДТПАД
7	Объекты социальной инфраструктуры	КН, ИНОН, ПИ	ТПЗ, КП, ЭПМД, ЭПЗ
8	Виртуальный объекты информационной среды	IP	ДОИУ, П
9	Пассажирский маршрут	ЭНМ (п.5)	ПАМ, ПТМ, ПТрМ,

Объектами идентификации ГТС являются: городское население, транспортные средства, средства перевозки грузов (контейнеры, тара), товар, объекты социальной и транспортной инфраструктуры. Подсистема транспортной идентификации представлена на рисунке 1.3. Она включает: подсистему идентификации пользователей, подсистему идентификации объектов социальной инфраструктуры, подсистему идентификации транспортных средств, подсистему идентификации объектов дорожной инфраструктуры, подсистему идентификации внутренних и транзитных грузов.

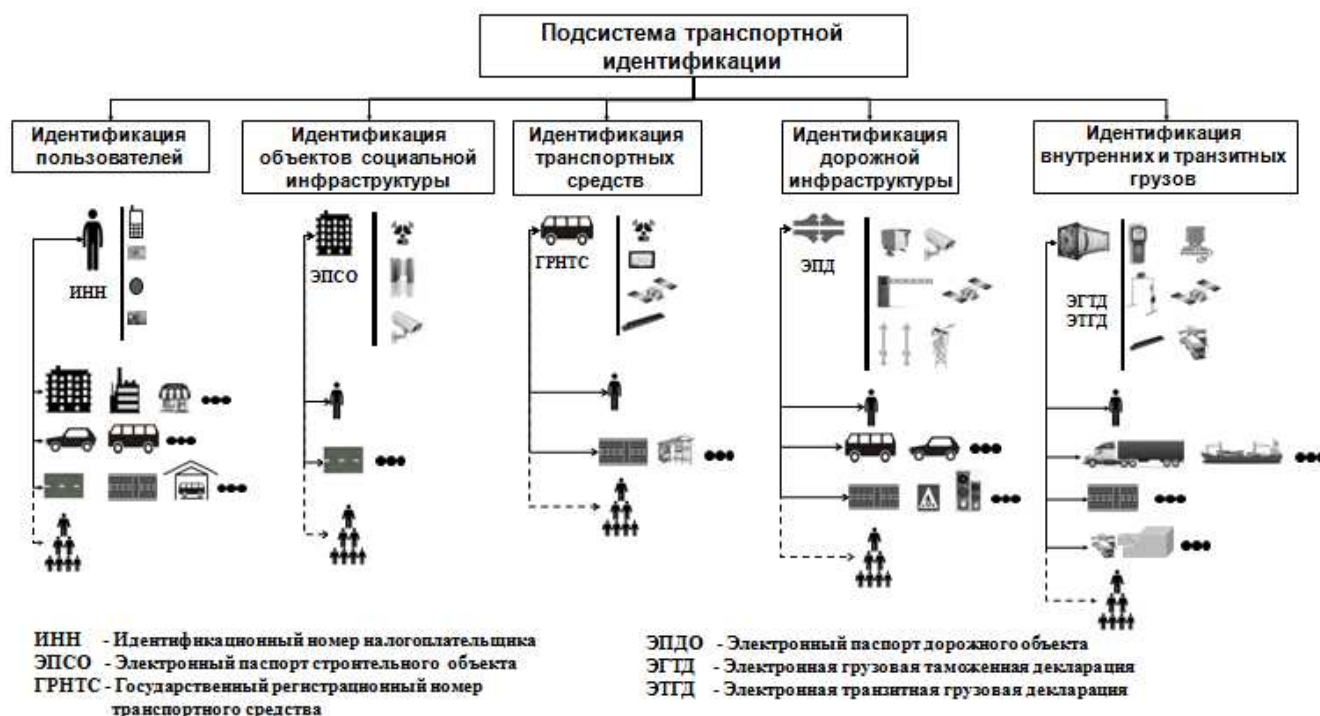


Рисунок 1.3. Подсистема транспортной идентификации.

Подсистема идентификации пользователей (рисунок 1.4) включает: радиочастотную идентификацию, осуществляемую через идентифициро - классифицирующие документы (таблица 1.1); карточные технологии идентификации (карты с магнитной полосой и смарт-карты); идентификацию в сетях сотовой связи; идентификацию через абонентский номер и биометрическую идентификацию.



Рисунок 1.4. Подсистема идентификации пользователей.

Идентификация пользователей реализуется в момент взаимодействия объекта идентификации с системами электронных платежей, системами связи, информационно-поисковыми ресурсами (Интернет), контрольно-пропускными системами объектов городской инфраструктуры.

Подсистема идентификации ТрС (рисунок 1.5) включает: визуальную идентификацию посредством навесного регистрационного знака ТрС; радиочастотную идентификацию, осуществляемую через RFID и GPS метки, содержащие информацию о государственном регистрационном знаке ТрС, идентификационном номере ТрС, номере паспорта ТрС, номере талона технического обслуживания ТрС, идентификаторе субъектов допущенных к управлению ТрС (номера водительских удостоверений пользователей, биометрические данные пользователей); идентификацию абонентского номера мобильной станции ТрС; идентификацию по уникальному сетевому адресу (Internet Protocol Address) ТрС.



Рисунок 1.5. Подсистема идентификации транспортных средств.

Автоматическая идентификация ТрС осуществляется непрерывно в процессе нахождения ТрС в ГТС, в процессе взаимодействия транспортных средств с пользователями ГТС (электронные платежи за транспортные услуги), а так же при взаимодействии ТрС с контрольно-пропускным системам объектов городской инфраструктуры.

Подсистема идентификации объектов социальной инфраструктуры (ОСИ) (рисунок 1.6) включает радиочастотную идентификацию, осуществляемую через RFID и GPS метки, содержащие информацию об идентификационном номере ОСИ, о кадастровом номере размещения ОСИ, номере технического паспорта здания, почтовом индексе ОСИ, почтовом индексе субъектов экономической деятельности, размещенных в данном ОСИ.

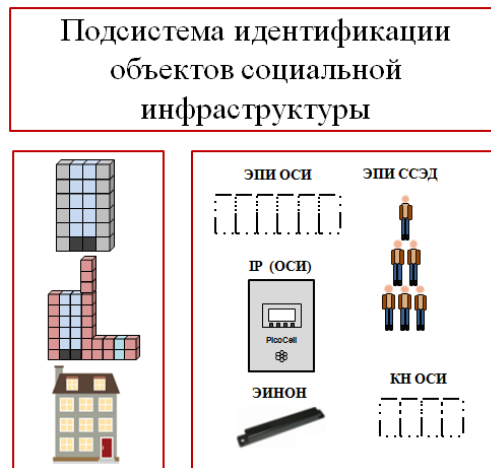


Рисунок 1.6. Подсистема идентификации объектов социальной инфраструктуры.

Автоматическая идентификация ОСИ реализуется непрерывно в процессе взаимодействия с ТрС и пользователями ГТС, в момент эксплуатации систем связи и информационных систем ОСИ, а также при взаимодействии пользователей и ТрС с контрольно-пропускными системами объектов городской инфраструктуры.

Подсистема идентификации объектов дорожной инфраструктуры (ОДИ) (рисунок 1.7) включает радиочастотную идентификацию, осуществляемую через RFID и GPS метки, содержащие информацию об идентификационном номере дороги и объектах дорожной инфраструктуры (дорожных знаках, остановочных

пунктах, шлагбаумах и др.), номере электронного паспорта дороги, кадастровом номере участка дороги.



Рисунок 1.7. Подсистема идентификации объектов дорожной инфраструктуры.

Подсистема идентификации внутренних и транзитных грузов (рисунок 1.8) включает радиочастотную идентификацию, осуществляемую через RFID и GPS метки, штрих- или QR коды, содержащие уникальный номер транспортной накладной, уникальный номер товарной накладной, уникальный номер грузовой таможенной декларации, идентификационный номер контейнера.



Рисунок 1.8. Подсистема идентификации внутренних и транзитных грузов.

Таким образом, предложенная система идентификации и аутентификации ГТС обуславливает выполнение первого условия достоверной мобильности: *каждый объект, входящий в ГТС или находящийся внутри нее, имеет идентификатор.*

Автоматическая идентификация и аутентификация объектов и элементов ГТС является необходимым требованием компьютерных информационных

систем и систем управления, где требуется достоверное распознавание объектов, и их регистрация в реальном времени.

1.2.2. Модель подсистемы распознавания состояний объектов управления городской транспортной системы

Построение подсистемы распознавания для различных ОУ ГТС осуществляется на базе унифицированных контрольно-измерительных модулей или директивных элементов, которые позволяют решать задачи комплексной диагностики состояний ОУ ГТС в режиме реального времени.

Подсистема распознавания состояний транспортного средства должна обеспечивать выполнение следующих функций:

- учет безналичной оплаты проезда на основе бесконтактных карт;
- погодный мониторинг;
- учет входящих и выходящих пассажиров;
- управление маршрутными указателями и автоматическое информирование пассажиров о текущей и следующей остановках;
- отслеживание маршрута пассажирского транспортного средства;
- диагностику и мониторинг состояния основных систем пассажирского транспортного средства;
- диагностику и мониторинг условий внутри пассажирского транспортного средства;
- запись видеоинформации в ТрС.

В общем виде распознавание состояний задается характеристической параметризацией элементного множества TS посредством оператора f_{CH} , который каждому объекту в сети ставит в соответствие набор характеристик, присущих данному объекту, вида

$$f_{CH} : TS(T) \rightarrow CH(T), \quad (1.2)$$

где $CH = \{ch_{\hat{r}}^{\hat{r}i}, \hat{r} = 1, \dots, \hat{P}; \quad i = 1, \dots, N\}$ - множество характеристик элементов ГТС.

Характеристика $ch_{\hat{r}}^{zi}(T)$ задается кортежем $ch_{\hat{r}}^{zi}(T) = \langle name, \{value\} \rangle$, где name – имя $\hat{r}$ характеристики, $\{value\}$ – область допустимых значений.

Область допустимых значений задается перечислением этих значений, интервалом или функционально, с помощью правил вычисления (измерения) и оценки.

Подсистема распознавания состояний объектов социальной инфраструктуры должна реализовывать следующий набор функций: система учета входящих и выходящих пользователей; запись видеоинформации в ОСИ; диагностика и мониторинг условий внутри ОСИ; система диагностики пользователей, находящихся внутри ОСИ; диагностика и мониторинг технических систем ОСИ; система отслеживания перемещения пользователей внутри ОСИ.

Подсистема распознавания состояния объектов дорожной инфраструктуры должна реализовывать следующий набор функций: измерение интенсивности движения транспортных объектов на дорожных участках ГТС; диагностика и мониторинг погодных условий дорожной инфраструктуры ГТС; диагностика и мониторинг технических и эксплуатационных нормативов качества дорожной инфраструктуры ГТС; диагностика и мониторинг состояний и характеристик подвижных транспортных объектов.

Разъясним функционально-структурную модель директивного элемента ОУ.

Директивный элемент ОУ (F_D) – элемент сенсорной подсистемы распознавания состояний ОУ ГТС - предоставляет информацию пользователю или объектам ГТС, осуществляет функцию наблюдения за функциональными состояниями пользователя или объектов ГТС (рисунок 1.9).

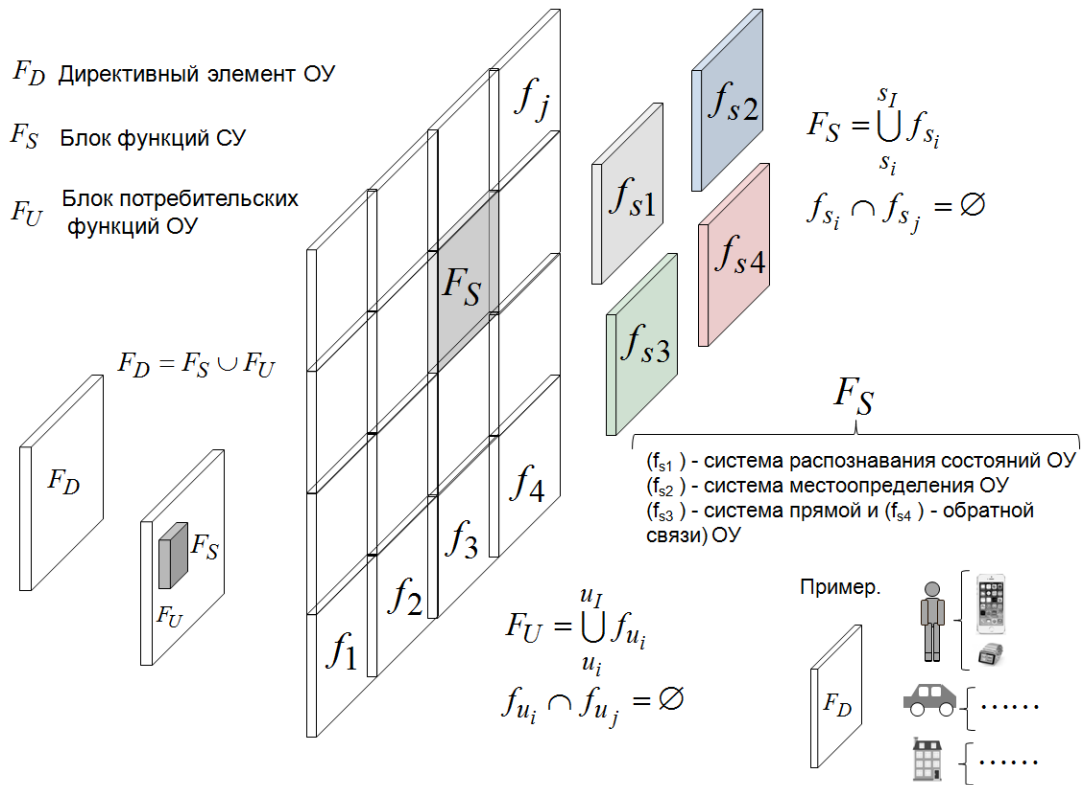


Рисунок 1.9. Функционально-структурная модель директивного элемента.

$$F_D = F_S \cup F_U, \quad (1.3)$$

где $F_S = \bigcup_{s_i}^{s_I} f_{s_i}$ - блок функций СУ;

$F_U = \bigcup_{u_i}^{u_I} f_{u_i}$ - блок потребительских функций СУ;

Условие системно-функциональной экономичности:

$$f_{s_i} \cap f_{s_j} = \emptyset, \quad (1.4)$$

Условие потребительско-функциональной экономичности:

$$f_{u_i} \cap f_{u_j} = \emptyset, \quad (1.5)$$

Условия (1.2.) - (1.4) запрещают дублирование функций внутри блока системы управления ГТС и блока потребительских функций ОУ.

Внедрение СГТЛМ строится на принципах самоорганизации [109].

Таким образом, предложенная подсистема распознавания состояний обеспечивает выполнение второго условия достоверной мобильности: *параметры*

управления и состояния каждого объекта, входящего в ГТС или находящегося внутри нее, должны быть распознаваемы. Наличие потребительского набора функций обеспечивает выполнение третьего условия достоверной мобильности: процесс идентификации объектов в ГТС должен быть самоорганизован.

1.2.3. Модель подсистемы местоопределения объектов управления городской транспортной системы

Анализ технологий местоопределения, представленных в таблице 1.2, свидетельствует о том, что каждая в отдельности технология местоопределения не в состоянии обеспечить заданную точность позиционирования. Следовательно, необходима разработка комбинированного решения, совмещающего технологии глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), систем сотовой связи и локальных беспроводных радионавигационных сетей (рисунок 1.10).

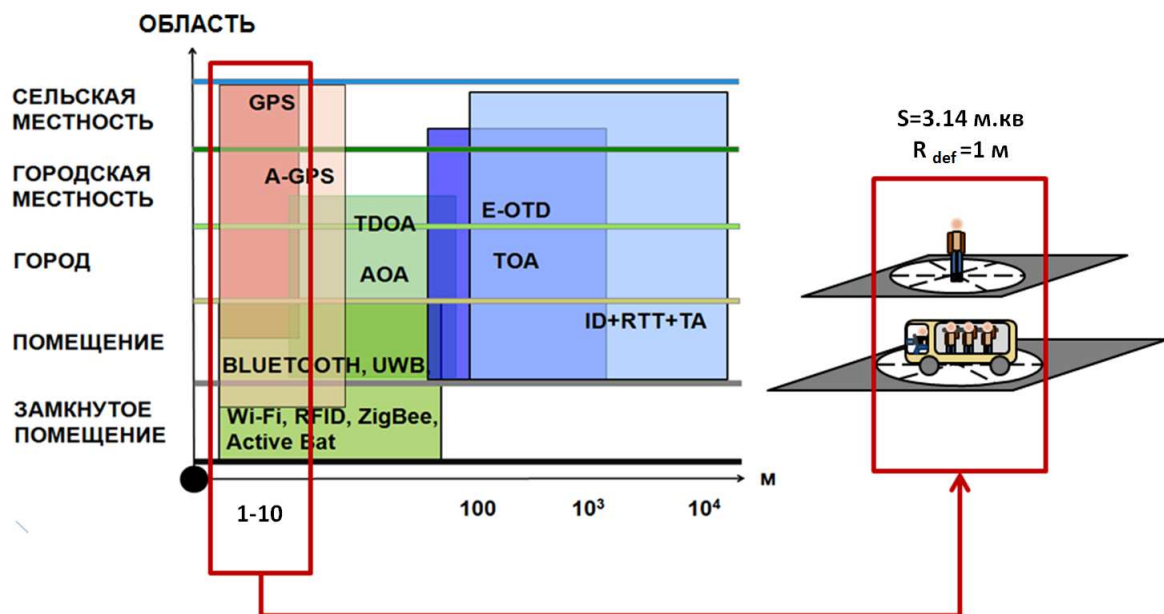


Рисунок 1.10. Комбинированная технология местоопределения.

Для обеспечения высокоточного позиционирования ($R_{\text{def}}=1\text{м}$) в зоне действия сети подвижной радиосвязи GSM/UMTS необходимо сформировать локальное радионавигационное поле (ЛРП) с использованием контрольно-корректирующей станции, которая будет выдавать потребителю корректирующую информацию (рисунок 1.11).

Таблица 1.2. Технологии местоопределения.

№	Наименование системы, Θ_ϕ	Точность определения местоположения, м, Р	Радиус действия, R м	Преимущества	Недостатки	Возможность использования
1	ГНСС		$>10^5$			
1.1	GPS/ГЛОНАСС	1-10		1. Высокая точность позиционирования. 2. Не требуются большие финансовые расходы на разработку сетевых устройств и протоколов.	1. Высокая цена МС, увеличенное энергопотребление в режиме определения координат. 2. Определение координат возможно лишь на открытых пространствах. 3. Длительное время расчета первоначальных координат.	Определение координат возможно лишь на открытых пространствах.
2	СОТОВЫЕ СЕТИ СВЯЗИ	$100-3 \cdot 10^4$				
2.1	Cell-ID	200-3000		1. Не требует доработки МС. 2. Изменения в программном обеспечении оператора минимальны. 3. Процесс определения местоположения не зависит от погодных условий и положения спутников, и определение местоположения происходит достаточно быстро.	1. Низкая точность. 2. При отсутствии в базе данных информации о базовой станции, с которой работает МС определить местоположение не возможно.	100% – при наличии покрытия.
2.2	Cell-ID-TA	100 – 1000		Улучшенная точность по сравнению с Cell ID методом.	Низкая точность местоопределения	100% – при наличии покрытия.
2.3	TOA	90-2000		Не требует доработки МС.	Низкая точность местоопределения	100% – при наличии покрытия.
2.4	AOA	30-100		Находит применение и дает среднюю точность в сетях, построенных с использованием секторных и адаптивных антенн (антенных решеток) с узкой диаграммой направленности.	1. Сложен и дорог. 2. Для повышения точности требуется увеличение числа измерений.	Необходимо более двух БС в пределах диапазона приема сигнала (как в технологии TDoA).

Таблица 1.2. Технологии местоопределения. (продолжение).

№	Наименование системы, Θ_ϕ	Точность определения местоположения, м, Р	Радиус действия, R м	Преимущества	Недостатки	Возможность использования
2.5	E-OTD	90-2000		Средняя стоимость внедрения.	1. Требуется установка на БС специального модуля LMU (модуль определения местоположения). 2. Требуется доработка программного обеспечения МС или SIM.	Необходимо более двух БС в пределах диапазона приема сигнала
2.6	TDOA	30-100		1. Не требует модификации телефонов. 2. Не требует жесткой синхронизации всех элементов системы.	1. Большие затраты в инфраструктуру сети, так как требует оснащения БС блоками LMU. 2. Программное обеспечение элементов сети должно быть подвергнуто серьезной модификации для обеспечения приема сигнала МС не менее, чем тремя БС.	Плохая в сельской местности или даже некоторых пригородах – МС должна быть в пределах диапазона приема тремя или более БС.
2.7	A-GPS	100		1. Позволяет сгладить недостатки метода – предшественника GPS. 2. Дает более высокую скорость определения координат и возможность определения местоположения даже в том случае, если GPS приемник не видит необходимое для определения координат количество спутников. 3. Для определения местоположения не используются ресурсы сети, сеть выступает только	1. Необходимость использования новых моделей телефонов с увеличенной стоимостью. 2. Меньшая точность по сравнению с методом GPS.	100% определение координат возможно лишь на открытых пространствах.

Таблица 1.2. Технологии местоопределения. (продолжение).

№	Наименование системы, Θ_ϕ	Точность определения местоположения, м, Р	Радиус действия, R м	Преимущества	Недостатки	Возможность использования
				транспортом для передачи в телефон дополнительных данных для расчета координат.		
2.8	AFLT	120-250		Применим для позиционирования внутри помещений.	1. Необходимость обновления ПО МС. 2. Метод требует не менее трех БС.	При трех БС на открытых пространствах, в помещениях требует CDMA телефона с GPS.
2.9	EFLT	150-250		Не требуется модернизация телефона.	Метод требует не менее трех БС.	При трех БС
3	БЕСПРОВОДНЫЕ ЛОКАЛЬНЫЕ СЕТИ		100-3·10 ⁴			
3.1	WiFi	3-10		1. Высокая точность местоопределения в замкнутых помещениях в зоне действия 3-х точек доступа. 2. Передача данных происходит, на частоте, безопасной для человека, и не создающей помех для другой эл. техники	Требуется модернизация МС и ПО. Действует на ограниченном расстоянии до 100м.	Высокая точность местоопределения при трех точках доступа.
3.2	UWB	0,03-0,2		1.Высокая точность местоопределения в зоне 3-х точек доступа. 2.Передача данных происходит, на частоте, безопасной для человека, и не создающей помех для другой эл. техники. 3. Способ передачи данных затрудняет перехват.	Требуется модернизация МС и ПО. Действует на ограниченном расстоянии до 10м.	Возможность функционального интегрирования в МС.

Таблица 1.2. Технологии местоопределения. (окончание).

№	Наименование системы, Θ_{ϕ}	Точность определения местоположения, м, Р	Радиус действия, R м	Преимущества	Недостатки	Возможность использования
3.3	Bluetooth	3-100		1. Высокая точность местоопределения.	Требуется модернизация МС и ПО. Действует на ограниченном расстоянии до 10м (до 100м – v.3).	Возможность функционального интегрирования в МС.
3.4	ZigBee	1-3		1.Возможность расширения сети; 2. Устойчивость к многолучевому затуханию; 3. Наличие встроенного интеллекта настройки сети и маршрутизации.	Требуется модернизация МС и ПО. Требуется развитие беспроводной ZigBee инфраструктуры.	Высокая точность местоопределения при трех точках доступа.
3.5	IrDA	0,03-0,1		1. Высокая точность местоопределения.	Требуется модернизация МС и ПО. Действует на граничном расстоянии до 1м.	Возможность функционального интегрирования в МС.
3.6	Active BAT	0,03-0,1		Сверх высокая точность местоопределения до 1см.	Требуется модернизация МС и ПО. Действует на ограниченном расстоянии до 10м .	Возможность функционального интегрирования в МС.
3.7	ПСЕВДОСПУТНИКИ	0,5-0,1		1. Высокая точность местоопределения МС, в том числе в замкнутом пространстве.	Требуется модернизация МС и ПО.	Возможность функционального интегрирования в МС.
3.8	RFID-СИСТЕМЫ	1-10		1. Высокая точность местоопределения RFID-меток; 2. Совместима с работой WiFi. 3. Возможность перезаписи	1. Требуется модернизация МС и ПО. 2. Радиус считывания активных RFID составляет от 20 до 100 метров. Пассивных до 5м. 3. Подверженность помехам в виде электромагнитных полей.	Возможность функционального интегрирования в МС.

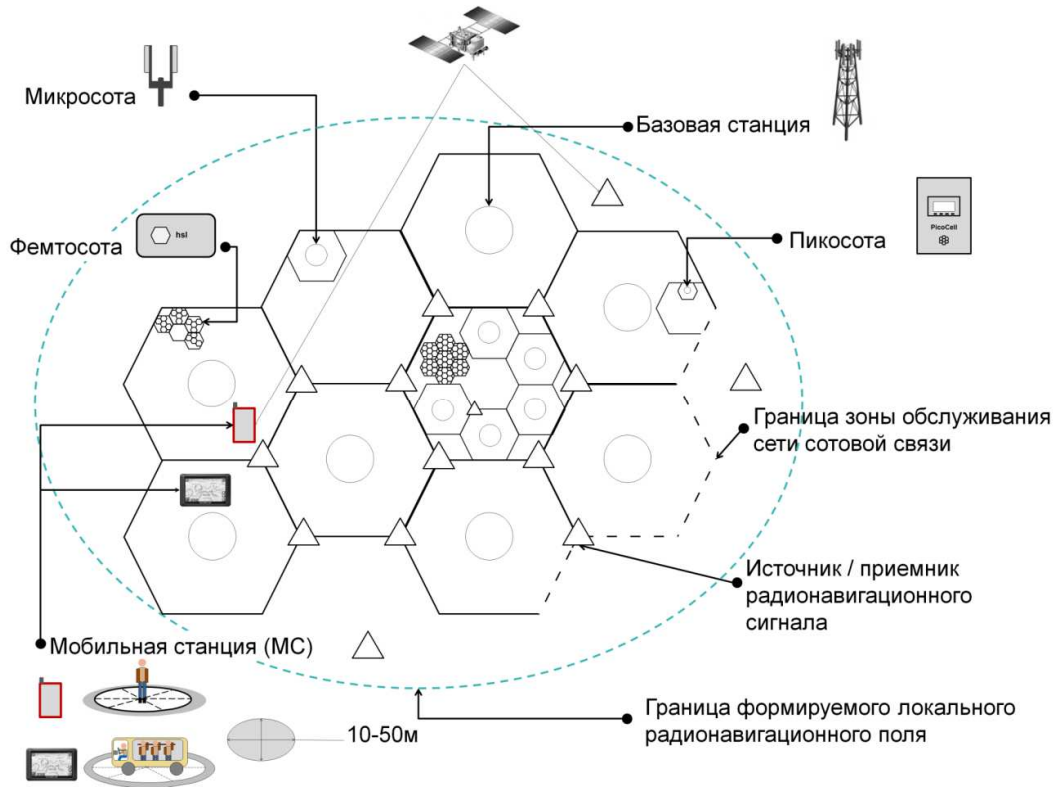


Рисунок 1.11. Подсистема местоопределения ОУ ГТС.

Условие устойчивой работоспособности системы наблюдения за подвижными транспортными объектами в теоретико-множественной интерпретации имеет вид:

$$S_L = \bigcup_{\phi} \Theta_{\phi} = \bigcap_{\phi} P_{\phi} \leq R_{def}(S_{def}) \rightarrow K_{\Theta_{\phi}} = |\Theta_{\phi}| = 3, \quad (1.6)$$

где S_L - интегральная система местоопределения; Θ_{ϕ} - класс системы местоопределения; P_{ϕ} - точность определения местоположения, м; $R_{def} = 1\text{м}$, $S_{def} = 3,14\text{м.кв}$ - радиус и площадь области местоопределения; $K_{\Theta_{\phi}}$ - коэффициент надежности системы местоопределения (резерва).

Состав интегральной системы местоопределения с учетом (1.6) определим следующим образом:

$$S_L = \left(\underset{K_{\Theta_{\phi}}=3}{ГЛОНАСС \vee GPS \vee GFLILEO} \right) \cup \left(\underset{K_{\Theta_{\phi}}=3}{TDoA \vee AOA \vee EOTD} \right) \cup \left(\underset{K_{\Theta_{\phi}}=3}{WiFi \vee ZigBee \vee Femtocell} \right) \quad (1.7)$$

В общем виде функционал местоопределения элементного множества TS задается оператором f_{PS} , который каждому объекту в сети ставит в соответствие местоопределение $p(T)$ данного объекта, в виде

$$f_{PS}: TS(T) \rightarrow P(T), \quad (1.8.)$$

где $P(T) = \{p_i(T); i = 1, \dots, N\}$ - множество GPS-данных о местонахождении.

Такая коммуникационная платформа (1.6)-(1.8) должна обеспечивать функциональность различных радиосистем и управление переходом из одной системы в другую в изменяющихся условиях мобильной среды. При недоступности ЛРП существует возможность использования сигналов ГНСС в качестве резервных, что повышает устойчивость работы системы.

1.3. Структурная схема системы городского транспортно-логистического мониторинга

В основу СГТЛМ были положены рассмотренные выше подсистемы идентификации и аутентификации ОУ, подсистемы распознавания состояний ОУ, подсистемы местоопределения ОУ, подсистемы прямой и обратной связи ОУ с СГТЛМ и между собой. Таким образом, СГТЛМ способна осуществлять сбор данных о положении и состоянии подвижных и стационарных объектов, передачу данных по каналам связи на устройства обработки информации и диспетчерские центры. Каждый объект внутри ГТС распознан, идентифицирован, определены его характеристики, свойства, поведение, отображены его элементарные стохастические связи с другими объектами (рисунок 1.12).

На основе информации, поступающей с СГТЛМ осуществляется построение достоверных матриц корреспонденций (рисунок 1.13), необходимых для построения прогнозных моделей управления ГТС.

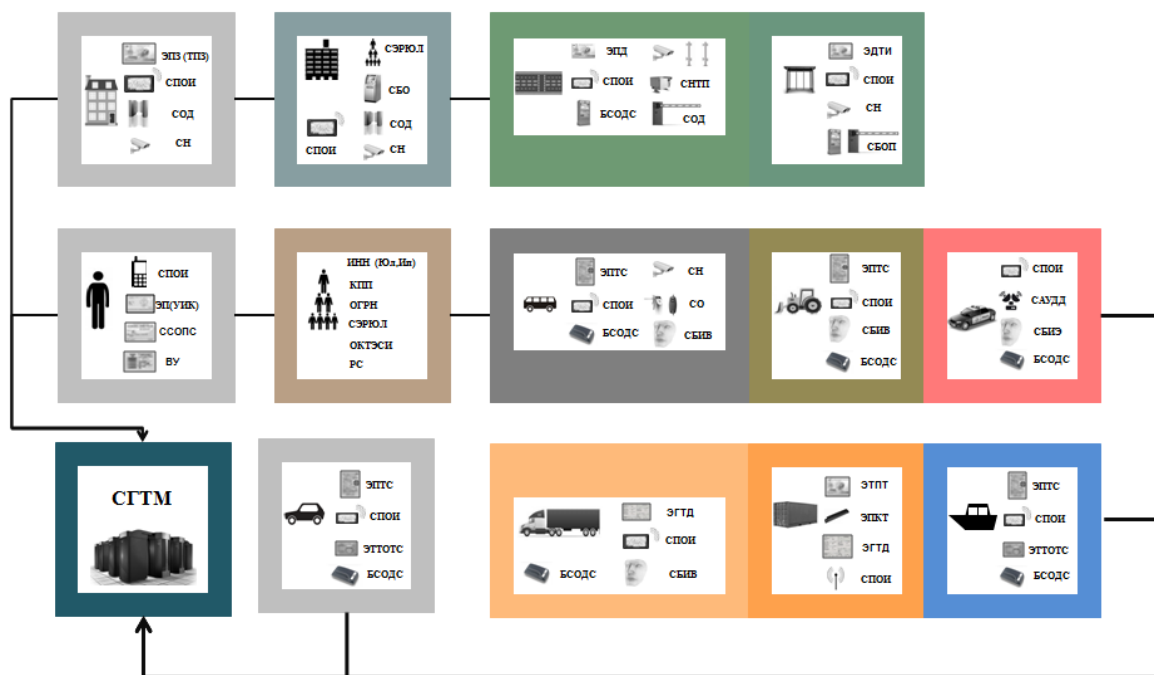


Рисунок 1.12. Система городского транспортно-логистического мониторинга.

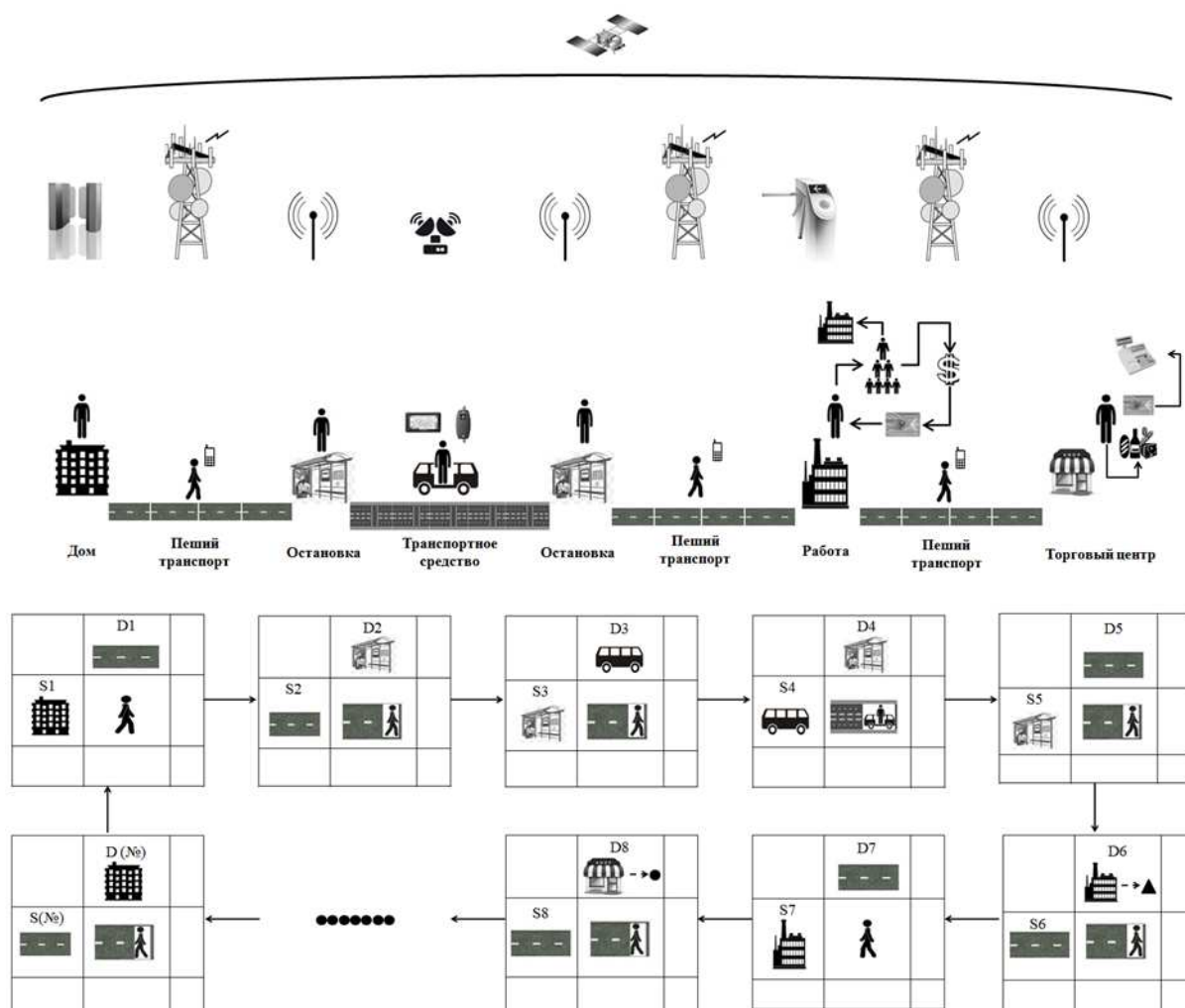


Рисунок 1.13. Процесс восстановления СГТЛМ достоверных матриц корреспонденций пользователя ГТС.

Структура модели позволяет учесть динамические состояния и параметры подвижных и стационарных объектов [4], тем самым, обеспечив достоверность модели, что дает возможность осуществлять планирование полного цикла управления городским транспортным процессом и предупреждать возникновение опасных ситуаций.

Дальнейшее функциональное расширение СГТЛМ может происходить за счет использования аппаратного [161] и программно-алгоритмического обеспечения [39,139,140], методов интеллектуальной обработки данных [44, 107, 143], а также интеграции СГТЛМ в СУ ГТС с учетом принципов, изложенных в [51,105].

Выводы по главе 1

В ходе проведенного в 1-й главе анализа существующих систем управления городскими транспортными потоками были получены следующие результаты:

1) установлено современное состояние исследований в области проблем управления городскими транспортными системами, определены методы, подходы и технологические решения, используемые при их построении;

2) выявлены недостатки существующих систем транспортного мониторинга, не позволяющие производить сбор разнородных данных, необходимых для построения систем управления транспортными потоками;

3) сформулированы условия достоверной мобильности, выполнение которых необходимо для построения системы управления с учетом неопределенности внешней информационной среды;

4) обоснована необходимость построения системы городского транспортно-логистического мониторинга в виде предложенной структуры;

5) определен необходимый состав подсистем, обеспечивающих выполнение следующего набора функций: идентификации, аутентификации, распознавания состояний, местоопределения и прямой и обратной связей;

6) для решения проблемы обеспечения высокоточного позиционирования транспортных объектов ($R_{def} = 1м$) предложено комбинированное решение, совмещающее технологии глобальных навигационных спутниковых систем, систем сотовой связи и локальных беспроводных радионавигационных сетей;

7) осуществлено построение структурной схемы системы городского транспортно-логистического мониторинга.

С учетом полученных результатов в следующей главе рассматриваются проблемы построения моделей управления городскими транспортными потоками, устойчивых к неопределенностям внешней информационной среды.

ГЛАВА 2. МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ГОРОДСКИМИ ТРАНСПОРТНЫМИ ПОТОКАМИ

2.1. Логико-алгебраическая модель исходных данных городской транспортной системы

Анализ предметной области свидетельствует о значительных успехах в развитии теоретических и прикладных методов, а также подходов в построении интеллектуальных транспортных систем (ИТС). Многие проблемы управления ТП мегаполиса в модельной интерпретации ИТС [104,138,142] удалось разрешить программно-алгоритмически, но эффективность СУ в реальной городской транспортной системе (ГТС) остается предельно низкой. Именно поэтому, задача построения моделей управления городской транспортной мобильностью населения, обеспечивающих снижение влияния неопределенности внешней информационной среды на устойчивость городского транспортного процесса, остается актуальной.

Городскую транспортную систему (TS) зададим согласно [108] множеством взаимосвязанных объектов различных классов, которые в общем виде будем называть элементами ГТС.

$$TS : \mathcal{E} = \{\varepsilon_i, i = 1, \dots, N\}, \quad (2.1)$$

где TS - транспортная система; ε_i - элемент ГТС.

Классы на множестве объектов ГТС зададим процедурой разбиения f_{ψ}^d множества TS на непересекающиеся совокупности подмножеств следующего вида:

$$f_{\psi}^d : TS = \bigcup_{\psi_q^d = \psi_1^1}^{\psi_{N_1}^1} \dots \bigcup_{\psi_1^D}^{\psi_{N_d}^D} TS_{\psi_q^d, \dots, \psi_q^D}, \quad \left| TS_{\psi_q^d} \right| = d_{\psi_q^d}, \quad (2.2)$$

где $\Psi = \left\{ \psi_q^d; d=1, \dots, D \right\}$ - классы разбиения; q -номер разбиения;

d - глубина классов разбиения; $d_{\psi_q^d}$ - мощность класса разбиения (количество элементов в классе).

Классами объектов ГТС выступают функционально отличные совокупности элементов ГТС, такие как объекты транспортной инфраструктуры (To), пользователи транспортной сети (H), улично-дорожные транспортные сети (Ts), транспортные средства (TrC) (Tr), грузы (Gr), средства перевозки грузов (Tg), средства управления транспортным процессом (Tc), инфраструктурные объекты жизнедеятельности (O).

Графическая интерпретация подобного классового разбиения представлена на рисунок 2.1.

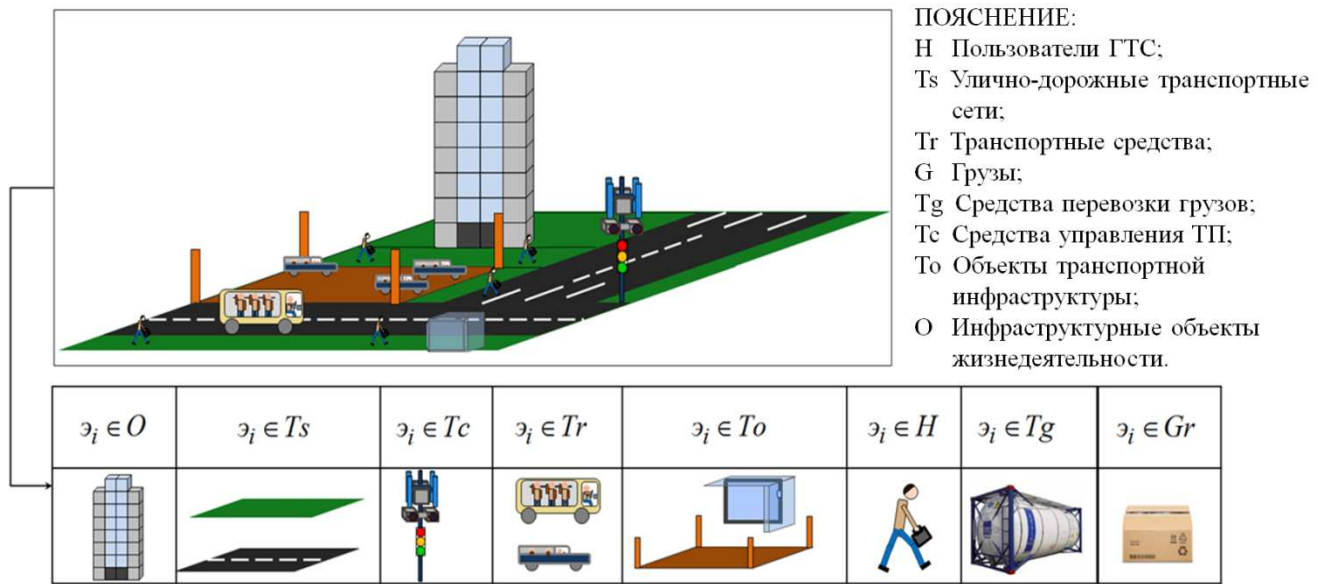


Рисунок 2.1. Классы объектов ГТС.

Для данной классификации $\Psi = \left\{ \psi_q^d, q=1, \dots, 8; d=1 \right\}$ выражение (2.2) примет следующий вид:

$$f_{\Psi}^d: TS = \bigcup_{\psi_1}^{\psi_8} TS_{\psi} = H \cup Tr \cup O \cup To \cup Ts \cup Gr \cup Tg \cup Tc, \quad (2.3)$$

Реализация процесса управления транспортной мобильности в ГТС обуславливает процедуру идентификации ее элементов.

В общем виде идентификационной нумерацией элементного множества TS будем называть всюду определённое отображение f_N , которое каждому объекту из TS ставит уникальный номер из I , вида:

$$f_N : TS \rightarrow I, \quad (2.4)$$

где $I = \{id_\eta\}$ - множество уникальных номеров.

Параметризацию элементного множества TS зададим оператором f_{CH} , который каждому объекту в сети ставит в соответствие набор характеристик, присущих данному объекту. Процедура параметризации имеет вид:

$$f_{CH} : TS \rightarrow CH, \quad (2.5)$$

где $CH = \{ch_{\hat{r}}^{\mathfrak{z}_i}, \hat{r} = 1, \dots, \hat{P}; i = 1, \dots, N\}$ - множество характеристик элементов ГТС.

Характеристика $ch_{\hat{r}}^{\mathfrak{z}_i}$ задается кортежем $ch_{\hat{r}}^{\mathfrak{z}_i} = \langle name, \{value\} \rangle$, где $name$ – имя $\hat{r}$ –й характеристики, $\{value\}$ – область допустимых значений. Область допустимых значений задается перечислением этих значений, интервалом или функционально, с помощью правил вычисления (измерения) и оценки.

Динамику процессов ГТС зададим временным оператором f_T , который каждому объекту из TS ставит в соответствие определенный момент или интервал времени из T , в следующем виде:

$$f_T : TS \rightarrow [\tau_T^{def} \vee (\tau_T; \tau_{T+1})], \quad (2.6)$$

где T - множество моментов или интервалов времени, на котором задано отношение строгого порядка, т.е. $\tau_1 < \tau_2, \dots, \tau_T < \tau_{T+1}$; $\tau_T^{def} \in T$ - определенный момент времени, а $(\tau_T; \tau_{T+1}) \in T$ - определенный интервал времени.

Элементы реальной ГТС в информационном представлении модели управления ГТП будем называть агентами вида $A = \{a_i, i = 1, \dots, N\}$.

Зададим агентное отображение f^{TS-A} , которое каждому элементу из TS ставит в соответствие агента из A , т.е.:

$$f^{TS-A} : TS = \{\mathfrak{z}_i, i = 1, \dots, N\} \rightarrow A = \{a_i, i = 1, \dots, N\}. \quad (2.7)$$

Тогда, условие элементного соответствия примет следующий вид:

$$\sum_{i=1}^N \mathfrak{z}_i = \sum_{i=1}^N a_i, \quad (2.8)$$

Таким образом, множества $|TS|$ и $|A|$ равномощны, т.е. $|TS| = |A|$

Модель (2.1)-(2.8) будем называть логико-алгебраической моделью исходных данных ГТС.

2.2. Модель функционального операторного базиса управления городской транспортной системы

Функциональный операторный базис управления ГТС содержит операторы измерения f_M , регулирования f_R и планирования f_Π , в виде

$$f_C = \langle f_M; f_R; f_\Pi \rangle, \quad (2.9)$$

Оператор измерения состояния $f_M = \{f_M^{\mathfrak{z}_i}\} = f_N \cup f_{CH} \cup f_T \cup f^{TS-A}$ каждому объекту $\mathfrak{z}_i \in TS$ ГТС в момент или интервал времени из T , при воздействии $e_{\mathfrak{z}_i}(t)$ ставит в соответствие регистрируемое состояние $s_{\mathfrak{z}_i}(t)$, в виде

$$\forall \mathfrak{z}_i \in TS \quad \exists \quad f_M^{\mathfrak{z}_i} : [t; e_{\mathfrak{z}_i}(t); \mathfrak{z}_i] \rightarrow [t, e_{\mathfrak{z}_i}(t), s_{\mathfrak{z}_i}(t)], \quad (2.10)$$

где $s_{\mathfrak{z}_i}(t) = t \times id_i \times a_i \times ch_{\mathcal{F}}^{\mathfrak{z}_i}$ - состояние ОУ, которое задается декартовым произведением или кортежем на множествах TS, I, A, CH, T и отображает реальное состояние ОУ ГТС в модельной интерпретации; $e_{\mathfrak{z}_i}(t) = t \times id_j \times a_j \times ch_{\mathcal{F}}^{\mathfrak{z}_j}$, $j = 1, \dots, J$ - воздействие на ОУ, которое задается декартовым произведением или кортежем на множествах TS, I, A, CH, T и отображает состояние j -тых объектов и факторов ГТС, оказывающих воздействие на ОУ.

Оператор регулирования состояний ОУ ГТС $f_R = \{f_R^{\mathfrak{z}_i}\} = f_R^H \cup f_R^{TC}$ каждому объекту $\mathfrak{z}_i \in TS$ ГТС в момент или интервал времени из T ставит в соответствие регулирующее воздействие $r_{\mathfrak{z}_i}(t) \in U(TS)$, вида:

$$\forall \varepsilon_i \in TS, t \in T \quad \exists \quad f_R^{\varepsilon_i} : R(TS) \rightarrow r_{\varepsilon_i}(t_R), \quad (2.11)$$

где $f_R^{\varepsilon_i}$ - оператор регулирования состояний ОУ ГТС; $R(TS)$ - множество регулирующих воздействий доступных СУ ГТС; $r_{\varepsilon_i}(t_R)$ - регулирующее воздействие, поданное на ОУ $\varepsilon_i \in TS$ в момент $t_R \in T$; f_R^H - оператор регулирования состояний для пользователя ГТС; f_R^{TC} - оператор регулирования состояний для ОУ ГТС.

Оператор планирования состояний ОУ ГТС $f_{II} = \{f_{II}^{\varepsilon_i}\} = f_{II}^H \cup f_{II}^{TS/H}$ каждому объекту $\varepsilon_i \in TS$ ГТС в момент или интервал времени из T в ситуации $sit_0^{\varepsilon_i}(t) = s_{\varepsilon_i}(t) \cup e_{\varepsilon_i}(t)$ ставит в соответствие целевое состояние $s_P^{\varepsilon_i}(t_P)$ в момент времени $t_P \in T$, в виде

$$\forall \varepsilon_i \in TS, t \in T \quad \exists \quad f_{II}^{\varepsilon_i} : sit_0^{\varepsilon_i}(t) \rightarrow s_P^{\varepsilon_i}(t_P), \quad (2.12)$$

где $f_{II}^{\varepsilon_i}$ - оператор планирования состояний ОУ ГТС; $sit_0^{\varepsilon_i}(t)$ - ситуация, в которой находится ОУ ГТС в момент времени $t \in T$; $s_P^{\varepsilon_i}(t_P)$ - целевое состояние ОУ ГТС в момент $t_P \in T$; f_{II}^H - оператор планирования состояний для пользователя ГТС; $f_{II}^{TS/H}$ - оператор планирования состояний объектов ГТС кроме пользователей.

Оценка соответствия состояния ГТС требуемому состоянию реализуется через оператор контроля состояний f_{CS} , следующего вида:

$$f_{CS} = \left\langle f_M \cup f_{\psi}^d; E_{\varepsilon}^{\varepsilon_i}; r_{\varepsilon}(t_R) \right\rangle, \quad (2.13)$$

где f_M - оператор измерения состояния ОУ; f_{ψ}^d - оператор классификации; $r_{\varepsilon}(t_R)$ - регулирующее воздействие или величина отклонения текущего состояния от требуемого; $E_{\varepsilon}^{\varepsilon_i} \in TS$ - множество элементов ГТС, оказывающих влияние на объект ε_i .

Оператор контроля f_{CS} содержит систему функций, обеспечивающих определение состояния ОУ (измерение, сбор, уточнение данных об объекте управления) и оценку степени отклонения текущего состояния от требуемого по заданным критериям эффективности.

Тем самым, оператор контроля f_{CS} для каждого ε_i объекта ГТС, находящегося в состоянии $sit_0^{\varepsilon_i}(t)$ в момент времени из T , вычисляет величину отклонения $r_{\varepsilon_i}(t_R)$ от требуемого состояния $s_P^{\varepsilon_i}(t_P)$, в виде

$$\forall \varepsilon_i \in TS, t \in T \quad \exists \quad f_{CS}^{\varepsilon_i} : \left| sit_0^{\varepsilon_i}(t) - s_P^{\varepsilon_i}(t_P) \right| \rightarrow r_{\varepsilon_i}(t_R), \quad (2.14)$$

Тогда, в зависимости от оператора контроля f_{CS} , функциональный операторный базис управления ГТС способен реализовывать функционал управления на режимах оптимального и допустимого управления, т.е.:

$$\forall \varepsilon_i \in TS, f_T, f_{CH}, t = def \quad \exists \quad f_C, U(TS) : \begin{cases} f_C^{opt}, U(TS)_{opt} \rightarrow \{ \underline{ch}_{\hat{r}}^{AL} \} < \{ ch_{\hat{r}}^{rand} \} < \{ \overline{ch}_{\hat{r}}^{AL} \} \\ f_C^{AL}, U(TS)_{AL} \rightarrow \{ ch_{\hat{r}}^{rand} \} \in CH_{\hat{r}}^{AL} \\ f_C^F, U(TS)_F \rightarrow \{ ch_{\hat{r}}^{rand} \} \notin CH_{\hat{r}}^{AL} \end{cases}, \quad (2.15)$$

где f_C - оператор управления ГТС; f_C^{opt} - оператор оптимального управления; f_C^{AL} - оператор допустимого управления; f_C^F - оператор потери управления; $\{ \underline{ch}_{\hat{r}}^{AL} \}$ - значения нижней границы множества параметров оптимального управления; $\{ \overline{ch}_{\hat{r}}^{AL} \}$ - значения верхней границы множества параметров оптимального управления; $\{ ch_{\hat{r}}^{rand} \}$ - значения множества $\hat{r}$ -х параметров; $CH_{\hat{r}}^{AL}$ - область допустимого управления; $U(TS)$ - вектор состояния ГТС; $U(TS)_{opt}$ - ГТС в состоянии оптимального управления; $U(TS)_{AL}$ - ГТС в состоянии допустимого управления; $U(TS)_F$ - ГТС в состоянии потери управления.

Таким образом, функциональный операторный базис управления ГТС, построенный с учетом (2.9)-(2.15), способен реализовывать функционал многорежимного, в смысле (2.15), управления ГТС.

2.3. Агентная модель городской транспортной системы

Поведение $B_t(TS)$ элементов ГТС [138,140] в модельной интерпретации [77] зададим динамическим агентным графом ГТС, в виде

$$B_t(TS) = \Gamma_t(V; E) = \Gamma_t(\Gamma_t^{[r]}(A; R); T) \stackrel{f_{\Leftrightarrow}}{=} \Gamma_t(\Gamma_t(A; R); T), \quad (2.16)$$

где V - множество вершин графа; E - множество дуг графа; $\Gamma_t^{[r]}(A; R)$ - граф-регистратор отношений, задающий вершины динамического агентного графа $\Gamma_t(\Gamma_t(A; R); T)$; $A = \{a_i\}$ - агентное множество элементов ГТС, задающее множество вершин графа $\Gamma_t^{[r]}(A; R)$; R - множество регистрируемых отношений между агентами, задающее множество дуг графа $\Gamma_t^{[r]}(A; R)$; $f_{\Leftrightarrow}$ - оператор транзитивности отношений; " $\Leftrightarrow$ " - знак свойства квази-транзитивности; $\Gamma_t(A; R)$ - агентный граф расширенных отношений, в котором через оператор $f_{\Leftrightarrow}$ выполнено свойство квазитранзитивности отношений.

Взаимодействие между агентами обладает свойством квази-транзитивности. Запишем его в следующем виде:

$$\begin{cases} a_{i=k} r_{kn}^p a_{j=m} \wedge a_{j \rightarrow i=m} r_{kn}^p a_{j=n} = a_k r_{kn}^p a_n, \\ a_k \cap a_n = a_m \end{cases}, \quad (2.17)$$

где r_{kn}^p - регистрируемое взаимодействие агентов;

Таким образом, динамический агентный граф $\Gamma_t(\Gamma_t(A; R); T)$ порождается множеством агентных графов расширенных отношений $\Gamma_t(A; R)$, на котором задан временной порядок следования.

Множеством соседей узла a_i в графе $\Gamma_t(A; R)$ называется выражение следующего вида $a_i = \{a_j : (a_j; a_i) \in R\}$.

Графа-регистратор отношений, агентный граф расширенных отношений, динамический агентный граф и динамический функциональный граф представлены на рисунке 2.2. Стрелка в графе-регистраторе отношений

показывает, от какого элемента ГТС исходит инициатива отношения, а в динамическом агентном графе стрелка задает временной порядок.

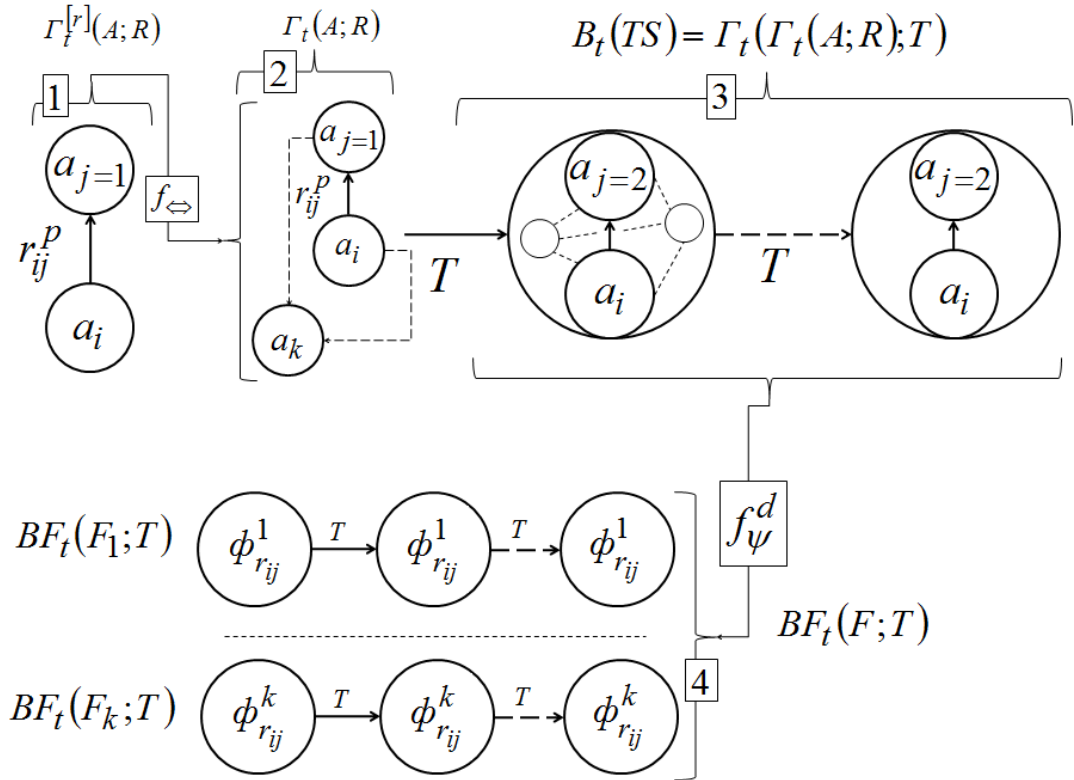


Рисунок 2.2. Граф-регистратор отношений (1), агентный граф расширенных отношений (2), динамический агентный граф (3) и динамический функциональный граф (4) ГТС.

Динамический агентный граф под действием оператора классификации f_{ψ}^d может быть преобразован в динамический функциональный граф $BF_t(TS)$, в соответствии со следующим выражением:

$$B_t(TS) = \Gamma_t(\Gamma_t(A; R); T) \xrightarrow{f_{\psi}^d} BF_t(TS) = \Gamma_t(F; T), \quad (2.18)$$

где F - множество, классифицирующее функциональные отношения, обуславливающие поведение элементов ГТС посредством их динамических агентных графов $\Gamma_t(\Gamma_t(A; R); T)$.

Таким образом, каждому элементу ГТС операторы измерения состояний $f_M^{\partial i}$ и классификации f_{ψ}^d могут поставить в соответствие множество его динамических функциональных графов, в виде

$$\forall \varepsilon_i \quad \exists f_M^{\varepsilon_i}, f_\psi^d \quad \varepsilon_i \xrightarrow{f_M^{\varepsilon_i}, f_\psi^d} \Gamma_t^{\varepsilon_i}(F; E), \quad (2.19)$$

Отношение между агентами образуется в процессе регистрации социально-экономического взаимодействия между реальными элементами ГТС.

Таким образом, дуге r_{ij} приписывается вес w_{ij} - регистрируемый атрибут R взаимодействия, в следующем виде

$$R = \bigwedge_{p=1}^{p=P} r_{ij}^p = r_{ij}^{p=1} \times \dots \times r_{ij}^{p=P} = (r_{ij}^{p=1}; \dots; r_{ij}^{p=P}), \quad p = 1, \dots, P, \quad (2.20)$$

где $p = 1, \dots, P$ - регистрируемые параметры СУ ГТС.

Одним из основных регистрируемых параметров агентного взаимодействия, обеспечивающих динамику процесса (2.16)-(2.19), является время $T = \{t_{ij}\}$, где t_{ij} - момент или интервал времени образования связи между агентами.

Пример 2.1. Пассажир a_i производит электронную оплату билета стоимостью 25р в транспортном средстве a_j в 8:00 утра.

Определить отношения между пассажиром a_i и транспортным средством a_j , которые способна зарегистрировать СУ ГТС.

Решение. СУ ГТС способна зарегистрировать, как минимум, два параметра взаимодействия: время транзакции $r_{ij}^{p=1} = t_{ij}$ и стоимость билета $r_{ij}^{p=2} = w_{ij}$, т.е.

(2.20) примет вид: $R = \bigwedge_{p=1}^{p=P} r_{ij}^p = t_{ij} \times w_{ij} = (t_{ij}; w_{ij})$.

Граф-регистратор отношений $\Gamma_t^{[r]}(A; R)$ для данного случая примет вид, представленный на рисунке 2.3.

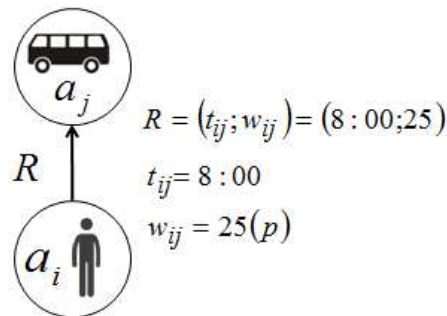


Рисунок 2.3. Агентный граф для примера 2.1.

Пример 2.2. В процессе остановки пассажирского ТрС система местоопределения пользователя регистрирует его нахождение внутри ТрС, система местоопределения ТрС регистрирует нахождение ТрС на остановке (рисунок 2.4). Определить отношение между пользователем и остановкой.

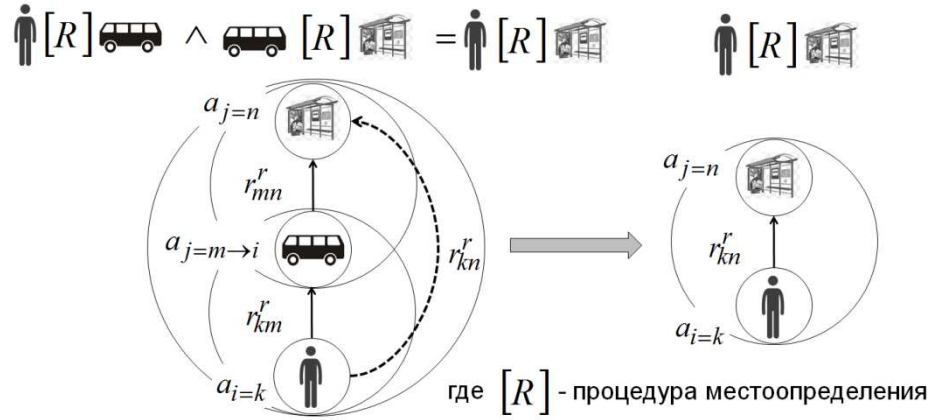


Рисунок 2.4. Квази-транзитивное отношение между агентами.

Решение. В соответствии с условием (2.17) выявляется формальное неявное отношение $a_k r_{kn}^r a_n$ между пользователем и остановкой (рисунок 2.4.), на которой произвело стоянку пассажирское ТрС.

Таким образом, свойство квази-транзитивности позволяет находить скрытые отношения между элементами ГТС.

2.4. Графо-аналитическая модель городской транспортной сети

Городская транспортная сеть задается графом $\Gamma^{TI}(V; E) \subset B_t(TS)$, где $TI = (To \cup Ts \cup O)$ с множеством вершин $V = \{v\}$ и множеством дуг сети $E = \{e\}$. Дуга соответствует реальному участку автодорожного, пешеходного или иного улично-дорожного перегона без перекрестков. Вершина представляет узел, в котором осуществляется процесс перераспределения транспортного потока или изменения характеристик некоторых элементов ГТС.

Для формального представления процессов городской транспортной мобильности из множества вершин $V = \{v\} \subseteq A \subset B_t(TS)$ выделим два

подмножества - зарождения транспортных потоков ($S \subseteq V$), и поглощения транспортных потоков ($D \subseteq V$), удовлетворяющих следующему выражению:

$$D, S \subseteq [T_o \cup T_s \cup O] \subset TS, \quad (2.21)$$

Подмножество $S \subseteq V$ содержит элементы ГТС, порождающие ТП; подмножество $D \subseteq V$ содержит элементы ГТС, поглощающие ТП.

Множество потокообразующих пар отправления-прибытия задается декартовым произведением, в следующем виде

$$W = \{w = (\partial; \alpha) : \partial \in S, \alpha \in D\} \quad (2.22)$$

Тогда матрица транспортных корреспонденций будет задаваться массивом $\{\rho_w : w \in W\}$, в котором каждой паре отправление-прибытие $w = (\partial; \alpha) \in W$ будет поставлен в соответствие определенный объем ρ_w пользователей (пассажиров, транспортных средств), которые из пункта ∂ (отправления) должны прибыть в пункт α (прибытие). Объем пользователей ρ_w между пунктами отправления и прибытия регистрируется СУ ГТС.

Маршрут (путь) на графе транспортной сети, соединяющий вершины ∂ и α задается последовательностью дуг (перегонов УДС) вида $e_1 = (\partial = \pi_0 \rightarrow \pi_1), e_2 = (\pi_1 \rightarrow \pi_2), \dots, e_{L-1} = (\pi_{L-2} \rightarrow \pi_{L-1}), e_L = (\pi_{L-1} \rightarrow \pi_L = \alpha)$, где $e_\gamma \in E$ при всех $\gamma = 1, \dots, L+1$.

Множество альтернативных маршрутов, следуя которым для каждой пары $w = (\partial; \alpha) \in W$ выходящий из пункта отправления ∂ поток достигает пункта прибытия α , определяется следующим образом:

$$P_w = \bigcup_{i=1}^N p_i = \bigcup_{i=1}^N \bigcup_{l=1}^L e_{il}, \quad (2.23)$$

Совокупность всех путей в графе транспортной сети обозначим через $P = \bigcup_{w \in W} P_w$. Графическое представление маршрута представлено на рисунке 2.5.

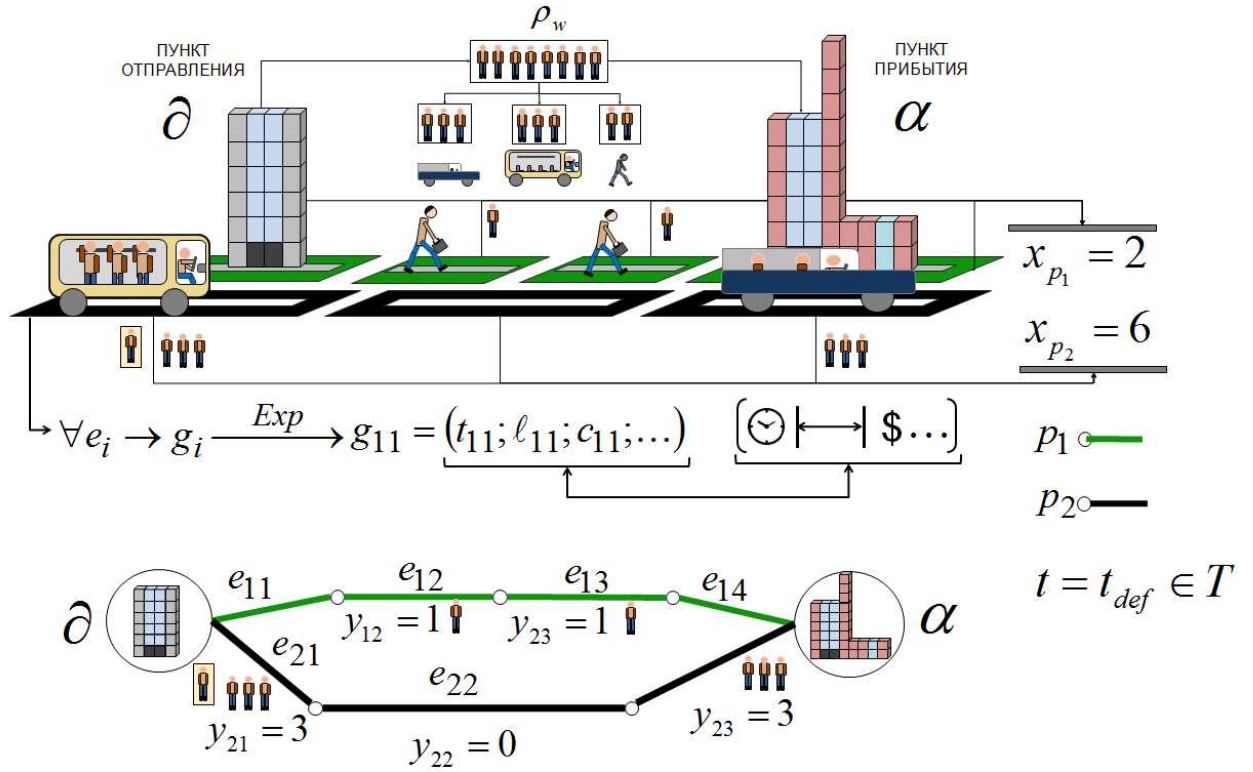


Рисунок 2.5. Процесс городской транспортной мобильности.

Введем величину потока x_p , следуемого по пути $p \in P$, такую, что для каждой пары w потоки x_p удовлетворяют следующему условию:

$$X_w = \left\{ x_p \geq 0 : p \in P_w, \sum_{p \in P_w} x_p = \rho_w \right\}, \quad (2.24)$$

Определить поток по пути x_p через поток по дуге y_e в момент времени $t \in T$ можно следующим образом:

$$x_p = \sum_{e \in P} \Theta_{ep} y_e, \quad \Theta_{ep} = \begin{cases} 1 & \text{если дуга } e \text{ проходит через путь } p \\ 0 & \text{(в противном случае)} \end{cases}, \quad (2.25)$$

где $\Theta = (\Theta_{ep} : e \in E, p \in P)$ - матрица инцидентности дуг и путей;
 $y = (y_e : e \in E)$ - вектор описывающий загрузку дуг сети динамическим функциональным графом.

Процедуру разбиения потока на элементы, запишем в теоретико-множественной (2.26) и алгебраической (2.27) интерпретациях, т.е.:

$$Y_{e_\Sigma} \Big|_{t=def} = \left(\bigcup_{CH_f^{tr}} Tr_{CH_f^{tr}} \cup \dots \cup \bigcup_{CH_f^h} H_{CH_f^h} \right) \Big|_{t=def}, \quad (2.26)$$

$$\forall Tr_{CH_i^{tr}}, Tr_{CH_j^{tr}} : Tr_{CH_i^{tr}} \cap Tr_{CH_j^{tr}} = \emptyset; \quad \forall H_{CH_i^h}, H_{CH_j^h} : H_{CH_i^h} \cap H_{CH_j^h} = \emptyset$$

$$y_{e_\Sigma} \Big|_{t=def} = \left(\sum_k^{\hat{K}} \sum_i^N tr_{ki} + \sum_\lambda^{\hat{\Lambda}} \sum_i^N h_i \right) \Big|_{t=def}, \quad (2.27)$$

где $Y_{e_\Sigma} = \left\{ \vartheta_q \mid \vartheta_q \in Tr \cup H \cup Tg \cup Gr, q=1, \dots, Q \right\}$ - потоковое множество на

дуге «е»; $y_{e_\Sigma} = |Y_{e_\Sigma}|$ - мощность потокового множества на дуге «е»;

$Tr_{CH_f^{tr}}$ - подмножество транспортных средств Tr вида $CH_f^h \sim k \dots \hat{K}$ (классы или виды

ТрС); $H_{CH_f^h}$ - подмножество пользователей H вида $CH_f^h \sim \lambda \dots \hat{\Lambda}$ (классы

пользователей); $\sum_k^{\hat{K}} \sum_i^N tr_{ki}$ - общее количество ТрС на дуге, классифицированных по

классам k ; $\sum_\lambda^{\hat{\Lambda}} \sum_i^N h_i$ - общее количество пользователей на дуге,

классифицированных по классам λ ; знак « $\sim$ » - представляет собой.

Разбиения (2.26), (2.27) позволяют изучать структуру и свойства элементов транспортного потока. Принадлежность элементов потокового множества к определенной корреспонденции запишем в теоретико-множественном (2.28) и алгебраическом (2.29) виде:

$$Y_{e_\Sigma} \Big|_{t=def} = \left(Y_e^w \cup \bar{Y}_e^w \right) \Big|_{t=def}, \quad (2.28)$$

$$y_{e_\Sigma} \Big|_{t=def} = \left(y_e^w + \bar{y}_e^w \right) \Big|_{t=def}, \quad (2.29)$$

где y_e^w - количество агентов (пользователей), находящихся на дуге $e \in E$ в момент времени $t = def$, принадлежащих корреспонденции $w \in W$, т.е. $y_e^w = y_e$;

$\bar{y}_e^w$ - количество агентов, находящихся на дуге $e \in E$ в момент времени $t = def$, не принадлежащих корреспонденции $w \in W$.

Преодоление любого участка пути сопровождается количественными затратами, g_{e_i} , в виде

$$\forall e_i \quad \exists g_{e_i} = g_{e_i}^{\nabla} \cup g_{e_i}^{\Delta}, \quad (2.30)$$

$$g_{e_i}^{\nabla} \cup g_{e_i}^{\Delta} = \left\{ ch_{\nabla}^{g_{e_i}} \cup ch_{\Delta}^{g_{e_i}} \mid ch_{\nabla}^{g_{e_i}} = const, ch_{\Delta}^{g_{e_i}} = f(e_i; y_{e_i}), \hat{r} = 1, \dots, C, \Delta = 1, \dots, \Lambda \right\}, \quad (2.31)$$

Совокупные затраты g_{e_i} (2.30) включают постоянную $g_{e_i}^{\nabla}$ и переменную $g_{e_i}^{\Delta}$ составляющие. Рассмотрим структуру совокупных затрат (2.31). Постоянная составляющая затрат $g_{e_i}^{\nabla}$ представляет собой характеристики $(ch_{\nabla}^{g_{e_i}})$ участка пути, не изменяющиеся во времени, например, протяженность пути или стоимость проезда. Переменная составляющая совокупных затрат $g_{e_i}^{\Delta}$ представляет собой характеристики пути $(ch_{\Delta}^{g_{e_i}})$, изменяющиеся во времени и, как правило, зависящие от ТП на пути, например, время прохождения пути.

В реляционной модели затраты g_{e_i} задаются отношением, в виде

$$g_{e_i} : \left\{ \frac{\langle name, \{value\} \rangle, \langle name, \{value\} \rangle \dots; \langle name, \{value\} \rangle, \langle name, \{value\} \rangle \dots}{g_{e_i}^{\nabla}} \mid \frac{\langle name, \{value\} \rangle, \langle name, \{value\} \rangle \dots}{g_{e_i}^{\Delta}} \right\}, \quad (2.32)$$

где name – имя ∇, Δ -й характеристики, {value} – значение или область допустимых значений. Область допустимых значений задается перечислением этих значений, интервалом или функционально с помощью правил вычисления (измерения) и оценки.

Обозначим через $G_p = \{g_p\}$ удельные затраты пользователей на проезд по пути p , тогда в алгебраической (2.33) и реляционной (2.34) интерпретациях последние представимы в следующем виде

$$G_p = G_p^{\nabla} + G_p^{\Delta} = \sum_{e_i \in p} (g_{e_i}^{\nabla} + g_{e_i}^{\Delta}), \quad (2.33)$$

$$G_p : \left\{ \frac{\langle name, \{\sum value\} \rangle}{G_p^\nabla}, \frac{\langle name, \{\sum value\} \rangle}{G_p^\Delta}, \dots; \frac{\langle name, \{\sum value\} \rangle}{G_p^\nabla}, \frac{\langle name, \{\sum value\} \rangle}{G_p^\Delta}, \dots \right\}, \quad (2.34)$$

Поскольку на затраты по одному маршруту может влиять загрузка других путей, то последние G_p представляют собой функции от загрузки всей сети, то есть $G_p = G_p(X)$.

Тогда, в матричной форме взаимосвязь потоков по путям и дугам, в обобщенном виде может описываться уравнением $X = \Theta Y$ [21].

Формальная интерпретация затрат (2.30)-(2.34) широко используется при построении автоматических систем оплаты проезда [159].

Пример.2.3. Рассчитаем поток по дугам и путям для транспортного процесса, исходные данные для которого представлены на рис.2.5.

Решение. Структура маршрута в соответствии с (2.23) примет вид:

$$P_{w=(\partial; \alpha)} = \bigcup_{i=1}^N p_i = \bigcup_i^N \bigcup_l^L e_{il} = (e_{11} \cup e_{12} \cup e_{13} \cup e_{14}) \cup (e_{21} \cup e_{22} \cup e_{23}) = p_1 \cup p_2$$

Структура потока по дугам в соответствии с (2.24) - (2.29), примет вид

$$\begin{aligned} y_{11} \Big|_{t=def} &= y_{14} \Big|_{t=def} = 0; & y_{21} \Big|_{t=def} &= (1_{(k=1)})_{\hat{K}} + (3_{(\lambda=1)} + 1_{(\lambda=2)})_{\hat{\Lambda}}; \\ y_{12} \Big|_{t=def} &= 1_{(\lambda=1)} & y_{22} \Big|_{t=def} &= 0 \\ y_{13} \Big|_{t=def} &= 1_{(\lambda=1)} & y_{23} \Big|_{t=def} &= (1_{(k=2)})_{\hat{K}} + (3_{(\lambda=1)})_{\hat{\Lambda}} \end{aligned}$$

$$y_{12}^w = 1; y_{13}^w = 1; y_{13}^w = 1; y_{21}^w = 3; y_{23}^w = 3;$$

$$x_1 = y_{12}^w + y_{13}^w = 1 + 1 = 2;$$

$$x_2 = y_{21}^w + y_{23}^w = 3 + 3 = 6;$$

$$X_w = x_1 + x_2 = 2 + 6 = 8;$$

Графическое пояснение результатов расчета представлено на рис.2.5.

Перейдем к разработке модели управления ГТС и определению целевой функции управления процессами мобильности в ГТС, реализацию которой осуществляет функциональный операторный базис управления.

2.5. Модель системы управления динамическими транспортными потоками мегаполиса

Построение модели управления динамическими транспортными потоками целесообразно осуществлять на принципах распределенной системы управления, обеспечивающих рациональную самоорганизацию.

В основе модели управления городскими транспортными потоками лежит целевая функция управления процессами мобильности в ГТС, реализацию которой осуществляет функциональный операторный базис.

Целевая функция управления процессами мобильности, согласно [111], формируется под воздействием двух составляющих: целевых ориентиров пользователей $P(H)$ и целевых ориентиров ГТС $P(TS / H)$.

Целевые ориентиры пользователей опираются на первый принцип Вардропа [21] и принцип безопасного следования:

1) пользователи сети независимо друг от друга выбирают маршруты следования, соответствующие их минимальным транспортным расходам (первый принцип Вардропа), т.е.:

$$\forall h \in H, h \rightarrow w(\partial; \alpha), w(\partial; \alpha) \rightarrow p: p \in P_w, x_p > 0, \Rightarrow G_p(x) = \min_{p \in P_w} G_p(x_\Sigma) = g_w(x_\Sigma), \quad (2.35)$$

где $p = e_1, \dots, e_\ell$; $g_w(x_\Sigma)$ - минимальные транспортные затраты по маршрутам, соединяющим при загрузке сети пару $w \in W$ вектором x_Σ ;

2) продвижение пользователя по пути с минимальными транспортными расходами осуществляется в динамической области безопасной транспортной мобильности (принцип безопасного следования) [111].

Под динамической областью безопасной транспортной мобильности (рисунок 2.6) понимается область движения $D_{h_i}^S$, выбираемая пользователем самостоятельно, исходя из имеющейся информации $I_{TS}^{h_i}$ об участниках процесса транспортной мобильности, правилах дорожного движения (ПДД) и состоянии

транспортной инфраструктуры посредством функции информационного обеспечения вида:

$$\forall h_i \in H, w(\partial; \alpha), p = p = e_1, \dots, e_\ell \quad \exists f_{h_i}^s(I_{TS}^{h_i}) \Big|_{t=def} : h_i \longrightarrow D_{h_i}^S(e_{def}), \quad (2.36)$$

Функция информационного обеспечения (2.36) $f_{h_i}^s(I_{TS}^{h_i})$ формируется СУ ГТС и предоставляет участникам транспортного процесса информацию о динамической области безопасной транспортной мобильности в следующем виде:

$$D_{h_i}^S \Big|_{t=def}^U = \left\langle \bigcup_{cl \in CL} \bigcup_{\psi \in \Psi} \mathcal{E}_{\psi cl} \right\rangle_{t=def}^U = \left\langle \underbrace{(\{\mathcal{E}_{11}\} \cup \dots \cup \{\mathcal{E}_{\Psi 1}\})}_{color_i=1} \cup \dots \cup \underbrace{(\{\mathcal{E}_{1CL}\} \cup \dots \cup \{\mathcal{E}_{\Psi CL}\})}_{color_i=Z} \right\rangle_{t=def}^U, \quad (2.37)$$

где $D_{h_i}^S$ - динамическая область безопасной транспортной мобильности; $\mathcal{E} = \{\mathcal{E}_i\}$ - элементы ГТС; $CL = \{cl_i\}$ - классы опасности; $\Psi = \{\psi_i\}$ - классы ГТС; $t = def$ - определенный момент времени; U - индекс указывающий на СУ ГТС.

Поясним выражение (2.37) на примере 2.4.

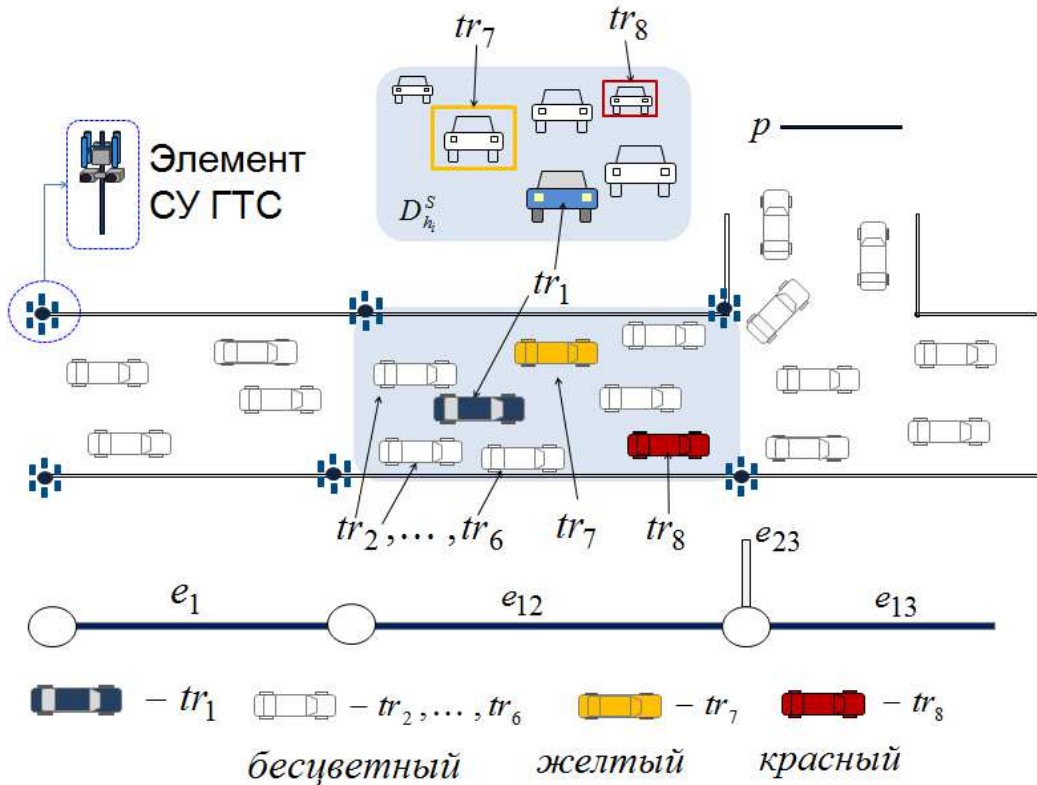


Рисунок 2.6. Динамическая область безопасной транспортной мобильности.

Пример 2.4. Участник транспортного движения h_1 , управляя ТрС $\mathfrak{A}_{h_1} = tr_1$, движется по пути e_{def} . Руководствуясь рисунком 2.6, определите динамическую область безопасной транспортной мобильности $D_{h_1}^S$, согласно (2.37) в момент времени $t = t_{def}$. Для простоты будем считать, что СУ ГТС разбивает элементы ГТС на 3 класса опасности ($CL = \{cl_i\}, i = 1, 2, 3; |CL| = 3$) таких, что 1-бесцветный, 2-желтый, 3-красный. При этом, в динамической области безопасной транспортной мобильности находятся подвижные транспортные объекты одного класса $\psi = 1$ «легковые автомобили» в количестве $tr_2, \dots, tr_8$.

Решение. Подставим в выражение (2.37) исходные данные, в итоге получим

$$D_{h_1}^S \left| \begin{matrix} U \\ t = def \end{matrix} \right. = \left\langle \bigcup_{cl=1}^{CL=3} \bigcup_{\psi=1}^{\Psi=1} \mathfrak{A}_{\psi cl} \right\rangle_{t=def}^U = \left\langle \frac{(\{tr_2; tr_3; tr_4; tr_5; tr_6\})}{color_{i=1}} \cup \frac{(\{tr_7\})}{color_{i=2}} \cup \frac{(\{tr_8\})}{color_{i=3}} \right\rangle_{t=def}^U$$

Таким образом, участник транспортного процесса h_1 посредством СУ ГТС, располагая необходимой информацией о потенциальной опасности, исходящей от других участников транспортного процесса, самостоятельно выбирает траекторию движения в транспортном потоке в границах участка УДС [55].

Целевые ориентиры ГТС опираются на второй принцип Вардропа [21,166] и принцип надежного функционирования ГТС [111]:

1) пользователи сети выбирают маршруты следования, исходя из минимизации общих транспортных расходов ГТС (второй принцип Вардропа).

Покажем, что первый и второй принципы Вардропа имеют общий системный оптимум, представляющий собой функционал, минимизирующий время ожидания участников транспортного процесса на городской УДС, т.е. чем быстрее пользователь прибудет из пункта отправления в пункт назначения, тем меньше будет величина общих транспортных расходов (ОТР).

Обозначим G_{GTC} общие транспортные расходы за период T , выделим в них переменную часть G_{VAR}^{GTC} , которая зависит от динамических характеристик

транспортного потока, и постоянную часть G_{CONST}^{ITC} , которая зависит только от внешних факторов:

$$G_{ITC} \Big|_T = \left[G_{ITC}^{\Delta} + G_{ITC}^{\nabla} \right]_T = \left[G_{TF} + G_{EF}^{ITC} \right]_T, \quad (2.38)$$

где G_{ITC} - ОТР; G_{ITC}^{Δ} - переменная составляющая ОТР; $G_{ITC}^{\nabla} = G_{EF}^{ITC}$ - постоянная составляющая ОТР, эквивалентная расходам, связанным с влиянием внешних факторов; G_{TF} - ОТР, зависящие от динамических характеристик транспортного потока; TF - индекс транспортного потока.

Множество ПТО в обозначениях (2.3) представляет собой следующее выражение: $TF = TR \cup H \cup Gr \cup Tg$.

Отбросим постоянную часть ОТР, тогда:

$$G_{ITC} \Big|_T \sim G_{TF} \Big|_T, \quad (2.39)$$

Рассмотрим подробнее характеристики, от которых зависит G_{TF} . Таковыми, согласно [41], являются: величина ТП - X , интенсивность движения ТП - M , время движения ТП - TM , добротность перемещения ТП - QM ; пропускная способность сети - CM . Таким образом, G_{TF} примет следующий вид:

$$G_{TF} = G_{TF}(X; M; TM; QM; CM), \quad (2.40)$$

Согласно [41] множеству показателей $[X; M; TM; QM; CM]$ соответствует интегральный показатель – время движения ТП $[TM(X)]$, следовательно, возможен переход следующего вида:

$$G_{TF}(X; M; TM; QM; CM) \sim G_{TF}(TM(X)) \quad (2.41)$$

Тогда зависимость (2.41) может быть выражена через функцию ограничений движения по времени [152], вида

$$tm_i = \tau_i^0 \left[1 + a \left(\frac{fx_i}{cm_i} \right)^b \right], \quad (2.42)$$

где τ_i^0 - время свободного движения по i -му пути; fx_i - ТП на i -м пути; $cm_i > 0$ - пропускная способность i -го пути; $tm_i > 0$ - время прохождения ТП по i -му пути; a, b - калибровочные коэффициенты.

Переходя от одного пути к целостной ГТС, второй принцип Вардропа становится достижимым при оптимизации с ограничениями, параметрическое решение которой имеет вид

$$TM = \min_{fx} \sum_{i=1}^N \tau_i^0 \left[1 + a \left(\frac{fx_i}{cm_i} \right)^b \right], X = \sum_i^N fx_i, \quad fx_i \geq 0, \quad (2.43)$$

где $fx = (fx_1, \dots, fx_i, \dots, fx_n)$ - вектор распределения ТП X по путям.

Следовательно, сопоставляя (2.35) и (2.43) получим условие оптимума по времени следующего вида:

$$g_w(\mathbf{x}_\Sigma) \sim \min[tm_w(\mathbf{x}_\Sigma)], \quad (2.44)$$

т.е. транспортные затраты g_w на прохождение транспортного потока $\mathbf{x}_\Sigma$ по маршруту, соединяющему пару $w \in W$, должны быть минимальны.

В условиях реального времени соблюдение участником дорожного движения (ДД) целевых ориентиров пользователя и ГТС идет через принятие решения о выборе кратчайшего по времени маршрута движения из пункта отправления в пункт назначения. Кратчайший по времени маршрут вычисляется бортовым навигатором ТрС или персональным планировщиком участника ТП с использованием информации, полученной от СГТЛМ.

СГТЛМ предоставляет оперативную информацию о средней скорости на участках УДС в интересующий пользователя интервал времени, а бортовая система транспортного средства (БС ТрС) вычисляет кратчайший по времени путь с использованием алгоритмов Форда-Белмана или Дейкстры [21,56].

В условиях реального времени выражение (2.42) имеет следующий вид:

$$tm_1 \Big|_{\tau = def} = \frac{S_l}{V_l^{cp}} \Big|_{\tau = def} = \begin{cases} n_l \leq n_l^{\lim} & V_l^{cp} \Big|_{\tau = def} = V_l^{измер} \Big|_{\tau = def} \leq V_l^{\partial on} \\ n_l > n_l^{\lim} & V_i^{cp} \Big|_{\tau = def} = V_l^{измер} \Big|_{\tau = def} \end{cases}, \quad (2.45)$$

а задача оптимизации (2.43) имеет вид:

$$U_{h_i}^{СУГТС} \Big|_{\tau = def} : \left[\{tm_i(p_i)\}_i^N \rightarrow \min_{\{p_i\}} tm_i(p_i), P_{w=(\partial; \alpha)} = \{p_i\} \right] \Big|_{\tau = def}, \quad (2.46)$$

где $U_{h_i}^{СУГТС}$ - БС ТрС; $\{tm_i(p_i)\}$ - временное множество прохождения пути из точки отправления ∂ в точку назначения α маршрутами $\{p_i\}$; $\tau = def$ - время обращения пользователя h_i к БС ТрС.

Поясним выполнение первого целевого ориентира ГТС на примере нахождения кратчайшего по времени маршрута для пользователя, планирующего из точки отправления ∂ прибыть в пункт назначения α . Более подробно технология построения подобных систем рассмотрена в [5].

Пример 2.5. Участник ДД h_1 на ТрС, находясь на перекрестке ул. Орджоникидзе и пр. Гагарина, планирует прибыть в район встречи, находящийся в Парке победы (рисунок 2.7). Технические характеристики УДС, ТрС и транспортная обстановка известна (рисунок 2.8). Определить путь, который будет рекомендован СУ ГТС участнику ДД, и каковы его расчетные характеристики.

Решение. Располагая информацией о местонахождении пункта прибытия участника ДД, скорости движения ТП на участках УДС в реальном времени, а также технических характеристиках УДС, бортовая система транспортного средства участника ДД - навигатор - построит оптимальный путь следования.



Рисунок 2.7. Выбор маршрута.



Рисунок 2.8. Регистрация СУ ГТС скорости потока ТРС на УДС.

Граф возможного пути следования участника ДД представлен на рисунке 2.9. Участник ДД должен из вершины 4 прибыть в вершину 7. Оптимизация маршрута следования может быть выполнена СУ ГТС по параметру расстояния или по параметру времени.

Для объективности выполним оптимизацию маршрута по обоим параметрам. Кратчайший маршрут вычислим с помощью алгоритма Форда-Белмана и Дейкстры [122,56].

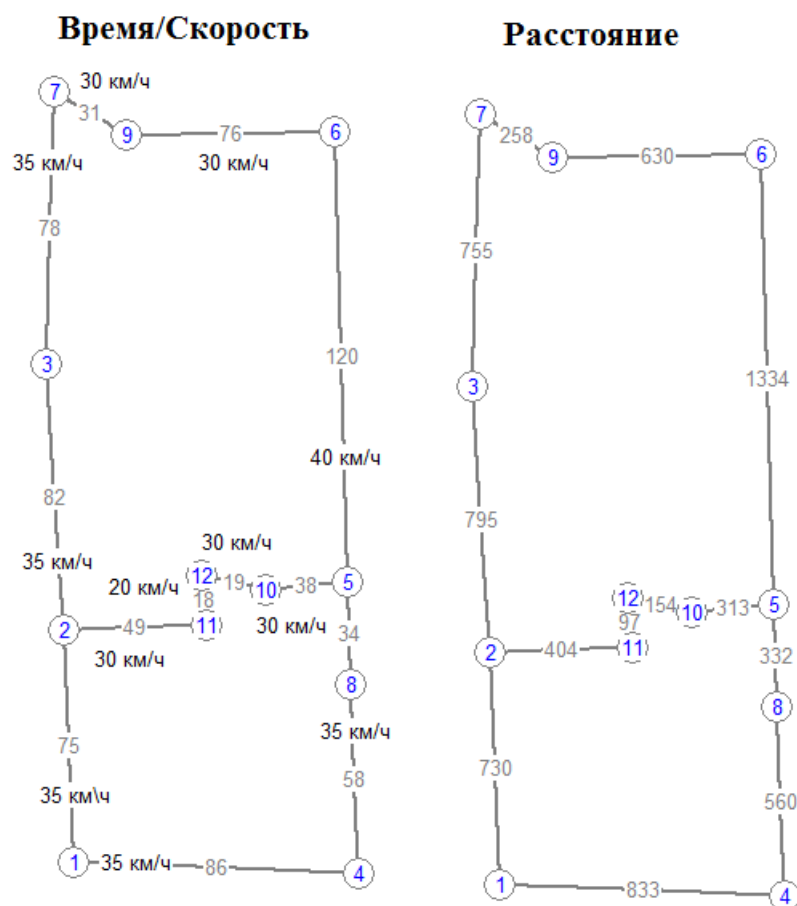


Рисунок 2.9. Граф маршрута ТрС.

Обратим внимание на тот факт, что в случае оптимизации маршрута по одному из параметров, например, расстоянию - СУ ГТС может предложить участнику ДД маршрут 4-1-2-3-7 протяженностью 3133 метра (рисунок 2.10).

Однако, руководствуясь первым целевым ориентиром ГТС и первым целевым ориентиром пользователя, система произведет расчет с учетом (2.44)-(2.46), выбрав в качестве критерия оптимизации «время следования», и таким образом, предложит участнику ДД маршрут следования 4-8-5-6-9-7 длительностью 319 сек. (рисунки 2.11).

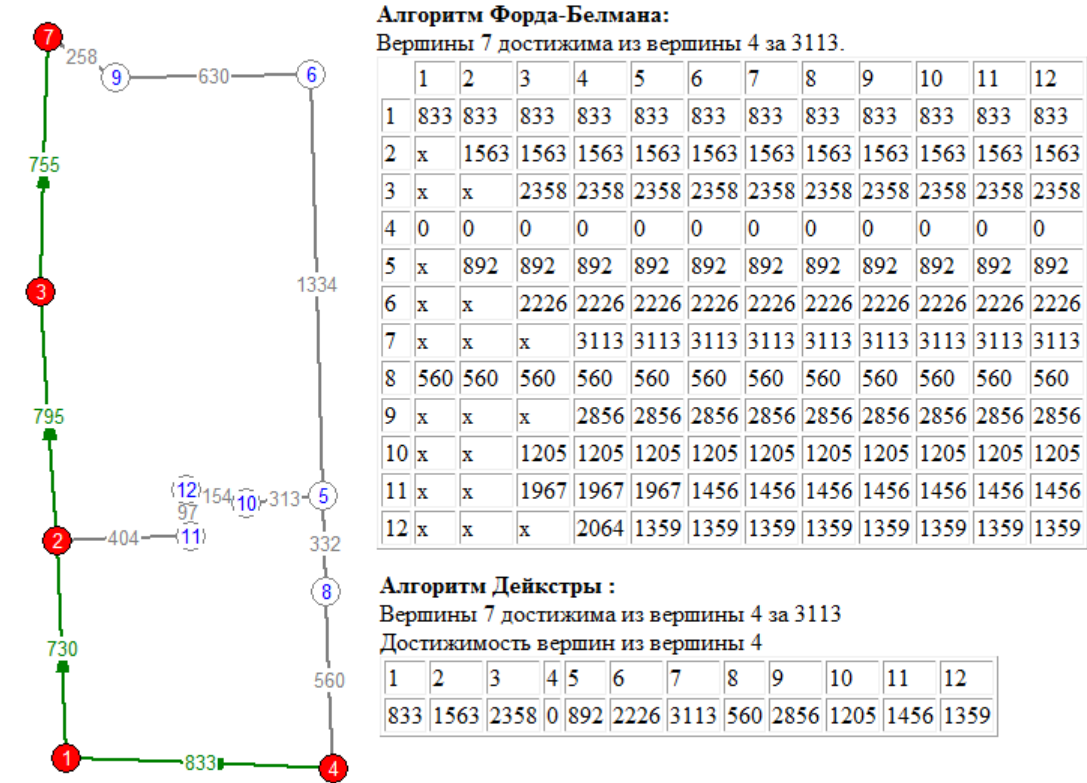


Рисунок 2.10. Кратчайший путь по расстоянию.

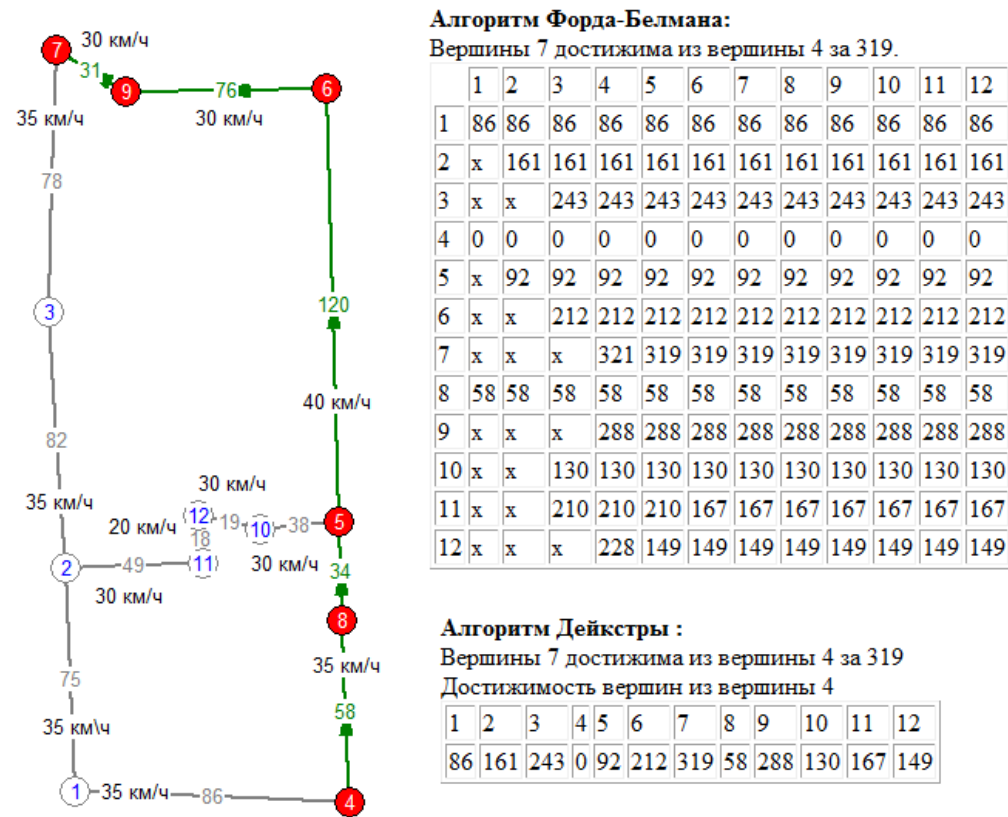


Рисунок 2.11. Кратчайший путь по времени.

Рассмотрев первый целевой ориентир СУ ГТС, перейдем к рассмотрению второго.

2) ГТС в процессе движения пользователей функционирует в области допустимой надежности (ОДН).

Множество значений характеристик CH^{γ_i} объекта γ_i разбиваются на допустимые и недопустимые, в соответствии с выражением

$$CH^{\gamma_i} = CH_{\gamma_i}^{AL} \cup CH_{\gamma_i}^{IR}, \quad (2.47)$$

где γ_i - объекты ГТС такие, что $\gamma_i \in (Ts \cup To \cup Tc)$; $CH_{\gamma_i}^{AL}$ - множество допустимых значений характеристик CH^{γ_i} (AL- allowable- допустимый); $CH_{\gamma_i}^{IR}$ - множество недопустимых значений характеристик CH^{γ_i} (IR- irremissible- недопустимый).

Таким образом, формируется область допустимых и предельных значений параметров объектов ГТС, отклонение от которых влечет ухудшение работы и потерю управляемости ГТС.

Условие работоспособности ГТС в ОДН запишем в следующем виде:

$$\forall \gamma_i \in (Ts \cup To \cup Tc), f_M; f_R; f_{\Pi}, f_{CS}, f_{\psi}^d, \forall t, \exists f_C : u_{\gamma_i} \xrightarrow{r_{\gamma_i}^P(t)} \{ch_{\gamma_i}^{\gamma_i}, \hat{r} = 1, n\} \in CH_{\gamma_i}^{AL}, \quad (2.48)$$

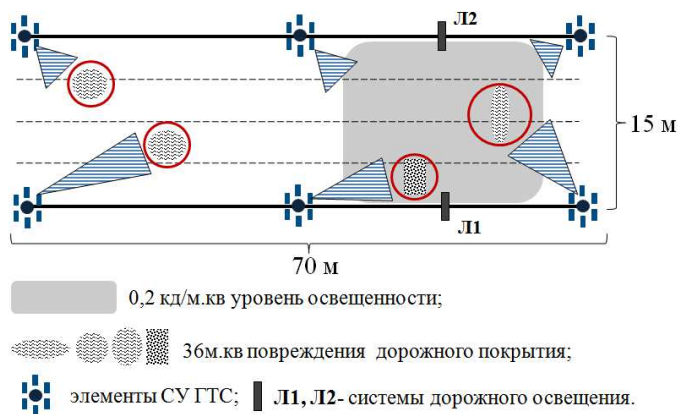
где f_{CS} - оператор контроля состояния ГТС; u_{γ_i} - вектор состояния объекта γ_i ; $r_{\gamma_i}^P(t_s)$ - регулирующее воздействие, в момент времени t_s удерживающее объект γ_i в ОДН средствами P .

Выражение (2.48) говорит о том, что для любого объекта γ_i из множества $(Ts \cup To \cup Tc)$, который находится в поле действия операторов ГТС $(f_M, f_R, f_{\Pi}, f_{CS}, f_{\psi}^d)$ существует оператор управления объектом γ_i , который удерживает характеристики объекта γ_i в ОДН при помощи регулирующих воздействий $r_{\gamma_i}^E(t)$.

Поясним выполнение второго целевого ориентира ГТС на примере работы системы управления эксплуатационным состоянием городской УДС.

Пример 3.6. На участке №1 четырехполостной автомобильной дороги группы А протяженностью 70м и шириной одной полосы 3.75м СУ ГТС зарегистрировала повреждения покрытия общей площадью $S=36\text{м.кв.}$ и уровень яркости и освещенности, соответственно, $L=0.2\text{кд/м.кв.}$ и $E=1.2\text{ Лк}$ от систем дорожного освещения Л1 и Л2 на площади 450м.кв. (рисунок 2.12). Техническое обслуживание участка УДС №1 осуществляет ООО ДЭС-1. Определить регулирующее воздействие, которое окажет СУ ГТС с тем, чтобы восстановить работоспособность участка городской УДС.

Автомобильная дорога группы А : интенсивность движения более 3000авт/сут.



Требования к эксплуатационному состоянию автомобильных дорог, улиц и дорог городов и других населенных пунктов ¹		
Группа дорог и улиц по их транспортно-эксплуатационным характеристикам	Повреждения на 1000 м.кв. покрытия, м.кв., не более	Сроки ликвидации повреждений, сут, не более
А	0,3(1,5)	5

Нормы освещения дорог. Требования к освещенности улиц ¹		
Группа дорог и улиц по их транспортно-эксплуатационным характеристикам	Средняя яркость покрытия, кд/м.кв. (Лк)	Сроки ликвидации повреждений, сут, не более
А	1,6 (20)	5

¹Государственный стандарт РФ ГОСТ Р 50597-93

Рисунок 2. 12. Участок городской УДС с элементами СУ ГТС.

Решение. Элементы СУ ГТС регистрируют повреждения дорожного покрытия, превышающего допустимые нормы в 24 раза ($36/1,5=24$) и снижение требуемого уровня яркости в 8 раза ($1.6/0.2=8$).

Регулирующим воздействием СУ ГТС будет выдача предписания дорожно-эксплуатационной службе о необходимости:

- проведения срочных ремонтных работ на участке №1 по восстановлению должного уровня яркости до 1.6 кд/м.кв. и освещенности до 20 Лк ;
- восстановления дорожного покрытия с требуемыми нормативами - не более 1.5 м.кв. повреждений на 1000м.кв. ;
- выдачи предупредительных предписаний участникам транспортного процесса.

Формальная запись предписаний имеет следующий вид:

$$u_{[\text{участок } \#1]} = \left\{ \begin{array}{l} \text{яркость } L=0,2\text{кд/м.кв} \\ \text{освещенность } E=1,2\text{Лк} \\ \text{ПДП } S=36\text{м.кв на } 1000\text{м.кв} \end{array} \right\} \xrightarrow{r_{[\text{ООО ДЭС-1}]}(t_{\text{отпр}})} \left\{ \begin{array}{l} L=1,6\text{кд/м.кв} \\ E=20\text{Лк} \\ S=0,3\text{м.кв на } 1000\text{м.кв} \end{array} \right\}$$

$$r_{[\text{ООО ДЭС-1}]}(t_{\text{отпр}}) = \left[\begin{array}{l} L=0,2\text{кд/м.кв} \xrightarrow{\uparrow} L=1,6\text{кд/м.кв} \\ E=1,2\text{Лк} \xrightarrow{\uparrow} E=20\text{Лк} \end{array} \right] \xrightarrow[\text{T=5сут}]{\text{ремонт}} \text{Л1, Л2} \wedge \left[\begin{array}{l} S=36\text{м.кв} \xrightarrow{\downarrow} S=0,3\text{м.кв} \end{array} \right] \xrightarrow[\text{T=5сут}]{} \text{Л1, Л2}$$

$$r_{[\text{участники ТП}]}(t_{\text{отпр}}) = \left[\begin{array}{l} \text{Внимание на участке } \#1 \text{ нарушена освещенность} \rightarrow \begin{array}{l} L=0,2\text{кд/м.кв} \\ E=1,2\text{Лк} \end{array} \\ \text{Внимание на участке } \#1 \text{ повреждено дорожное покрытие} \rightarrow S=36\text{м.кв} \end{array} \right]$$

где $\uparrow, \downarrow$ - снизить и увеличить, $\rightarrow$ - знак импликации, $\wedge$ - знак конъюнкции.

Таким образом, выполнение второго целевого ориентира СУ ГТС позволяет удерживать объекты ГТС в состоянии требуемой надежности и оперативно реагировать на возникновение аварийных ситуаций.

Схема функционального операторного базиса, реализующего управление ГТП на основе целевых ориентиров пользователей $P(H)$ и целевых ориентиров ГТС $P(TS/H)$ представлена на рисунке 2.13.



Рисунок 2.13.Схема функционального операторного базиса СУ ГТС.

Модели управления городскими транспортными потоками, построенные на основе целевой функции управления (целевые ориентиры пользователя и ГТС), отражают принцип рациональной самоорганизации. Информационное наполнение моделей может осуществляться на основе достоверной информации, поступающей с СГТЛМ [110]. Функциональная структура моделей позволяет

учитывать динамические состояния и параметры подвижных и стационарных транспортных объектов.

Внедрение предложенных моделей способно повысить пропускную способность транспортной системы мегаполиса за счет устранения нерационального распределения ТП, а также надежность [124] и управляемость - за счет информирования участников транспортного процесса.

Выводы по главе 2

В ходе проведенных во 2-й главе исследований были получены следующие результаты:

- 1) произведено построение логико-алгебраической модели исходных данных;
- 2) на базе логико-алгебраической модели исходных данных произведено построена модель функционального операторного базиса управления ГТС, позволяющая определять режимы оптимального, допустимого и потери управления;
- 3) произведено построение агентной модели городской транспортной системы, в которой описание поведения элементов ГТС задано динамическим агентным графом;
- 4) построена графо-аналитическая модель городской транспортной сети;
- 5) представлены практические примеры, поясняющие построение агентной модели городской транспортной системы и графо-аналитической модели городской транспортной сети;
- 6) на основе использования первого и второго поведенческих принципов Вардропа осуществлен переход к целевой функции управления, опирающейся на целевые ориентиры пользователя и целевые ориентиры ГТС: в целевые ориентиры пользователя укладываются первый принцип Вардропа и принцип безопасного следования, в целевые ориентиры ГТС укладываются второй принцип Вардропа и принцип надежного функционирования;

7) представлены практические примеры, демонстрирующие реализацию целевых ориентиров пользователя и целевые ориентиры ГТС в составе целевой функции управления;

8) предложена модель управления городскими транспортными потоками на основе использования распределенной системы управления.

С учетом полученных результатов в следующей главе рассматриваются проблемы построения моделей классификации межобъектных отношений в ГТС, позволяющих структурно упорядочивать и выявлять однородные по поведению классы объектов городской транспортной системы.

ГЛАВА 3. МОДЕЛИ КЛАССИФИКАЦИИ МЕЖОБЪЕКТНЫХ ОТНОШЕНИЙ ГОРОДСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

3.1. Классификация отношений социально-экономической активности городского населения

Агентная модель ГТС содержит большое количество активных объектов с отчетливо выраженным индивидуальным поведением, определяемым сложностью структуры межагентных отношений. Сложность структуры межагентных отношений обусловлена их неоднородностью и многообразием. Эффективность модели ГТС, наряду с прочими факторами, определяется качеством проработки структуры межагентных отношений. Отношение между агентами строится в процессе регистрации социально-экономического взаимодействия между реальными элементами ГТС при помощи динамических агентных графов и динамических функциональных графов. Социально-экономическое взаимодействие между реальными элементами ГТС порождается социально-экономической активностью (СЭА) городского населения. Социально-экономическая активность городского населения включает потребительскую активность, информационно-сетевую активность и транспортную активность.

Потребительская активность городского населения - деятельность человека связанная с приобретением продовольственных и непродовольственных товаров, получением услуг и осуществлением трудовых отношений внутри мегаполиса.

Транспортная активность городского населения – деятельность человека, связанная с его пространственными внутригородскими перемещениями всеми доступными видами транспорта.

Информационно-сетевая активность городского населения - деятельность человека, связанная с его поиском, получением и размещением информации определенного характера в среде Интернет.

Предметный анализ [24] показал - программно-алгоритмическое решение задачи автоматической упорядоченности процесса регистрации межагентных отношений внутри ГТС без использования унифицированных справочников и классификаторов невозможно.

Создание автоматических систем классификации [24,28,33,45] и решение проблемы структурной упорядоченности неоднородных межагентных отношений в модели ГТС видится в совместном использовании системы уникальной идентификации субъектов социально-экономической деятельности (СУИССЭД), единой системы классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации (ЕСКК ТЭСИ), единой адресной системы (ЕАС), подведомственных Федеральной службе государственной статистики по региону (ФСГС (Р)).

Взаимодействие СУ ГТС с ФСГС (Р) в режиме реального времени представлена на рисунке 3.1.

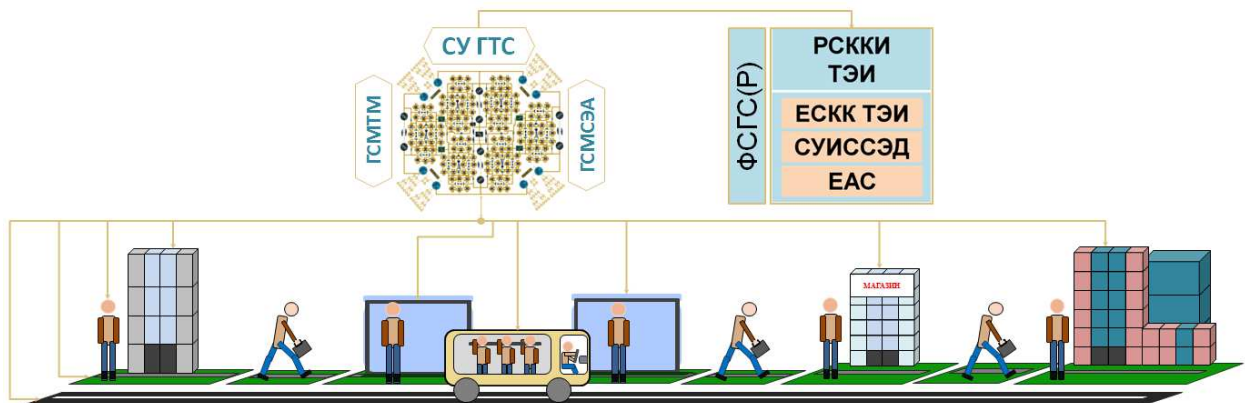


Рисунок 3.1. Управление городской транспортной системой совместно с системой Федеральной службы государственной статистики по региону.

Составляющие системы уникальной идентификации субъектов социально-экономической деятельности, единой системы классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации и единой адресной системы представлены в таблице 3.1. При этом в таблице использованы следующие сокращения: СУИССЭД - система уникальной идентификации субъектов социально-экономической деятельности; СЭАГН - социально-экономическая активность городского населения; ИКДУ – идентифициро-классифицирующие

документы и устройства; П - Паспорт гражданина РФ; ОЗП - Общегражданский заграничный паспорт; КП – кадастровый паспорт; ТПЗ – Технический паспорт здания; КН – кадастровый номер; ОКВЭД - Общероссийский классификатор видов экономической деятельности; ОКП - Общероссийские классификаторы продукции; ОКПД - Общероссийский классификатор продукции по видам экономической деятельности; ОКТМО - Общероссийский классификатор территорий муниципальных образований; ОКОФ - Общероссийский классификатор основных фондов; ТН ВЭД – Общероссийского классификатора товарной номенклатуры внешнеэкономической деятельности; ОКАТО - Общероссийский классификатор объектов административно-территориального деления; АТХ - Анатомо-терапевтическо-химическая классификация; EAN-13- Европейский номер товара; VIN - Идентификационный номер транспортного средства; ГРНЗ ТрС – Государственный регистрационный номерной знак транспортного средства; КПП - Код причины постановки на учет; ИНН - Идентификационный номер налогоплательщика; ОКУН - Общероссийский классификатор услуг населению; ОГРН- Основной государственный регистрационный номер; ОКФС - Общероссийский классификатор форм собственности; ОКВГУМ - Общероссийский классификатор видов грузов, упаковки и упаковочных материалов; ОКС- Общероссийский классификатор стандартов; ГОСТ Р – Государственный стандарт России; СНиП- Строительные; нормы и правила, ИНД - Идентификационный номер дороги; IP - Уникальный сетевой адрес (Internet Protocol Address); IMEI - Международный идентификатор мобильного оборудования (International Mobile Equipment Identity), АН МТ – Абонентский номер мобильного телефона; ОСКИР – Общероссийская система классификации интернет ресурсов; ТрН- Транспортная накладная; ТН- товарная накладная; ГТД – грузовая таможенная декларация; ИНБК - идентификационный номер банковской карты; ЛК Т-2 – личная карточка работника по форме Т-2; ЭПБГТ- Электронные проездной билет городского транспорта; ПР- проездной билет; ДП- дорожная пошлина; БК – банковская карта; УЭК – Универсальная электронная карта; БП – биометрический паспорт; ЭП – Электронный паспорт

гражданина РФ; ДОИУ – договор оказания интернет услуг; ДТПАД – дорожный тариф на платной автомобильной дороге; ИНОН – Идентификационный номер объекта недвижимости; СГПС - Свидетельство государственного пенсионного страхования; МТ - Мобильный телефон; НПГ (РФ) – Номер паспорта гражданина РФ; НЛСФЛ – Номер лицевого счета физического лица; НРСЮЛ - Номер расчетного счета юридического лица; СПНРОНО - Свидетельство о постановке на учет российской организации налоговым органе по месту нахождения на территории РФ; БИК - Банковский идентификационный код; SWIFT-code – уникальный код присвоенный сообществом всемирных межбанковских финансовых телекоммуникаций; ПИ – Почтовый индекс; ЭПЗ – Электронный паспорт здания; ЭПМД– Электронный паспорт многоквартирного дома; НПТрС – Номер паспорта транспортного средства; ПАМ - Паспорт автобусного маршрута; ПТМ – Паспорт трамвайного маршрута; ПТрМ – Паспорт троллейбусного маршрута; КТМВТ – классификация транспортного маршрута по виду транспорта. ТТО – Талон технического осмотра транспортного средства; СРТрС – Свидетельство регистрации транспортного средства; ЗД ТрС – Заводская документация на транспортное средство; ТХ ТрС– Технические характеристики транспортного средства; ОКОНХ – Общероссийский классификатор отраслей народного хозяйства; ЭПД – Электронный паспорт дороги; ЭПОП- Электронный паспорт остановочного пункта.

Таблица 3.1. Составляющие РСКК ТЭИ.

	Классы СЭАГН	СУИССЭД $ID_i = \{id_{\eta i}\}$	ЕСКК ТЭСИ $CL_i = \{cl_i\}$	ИКДУ $ICD_i = \{icd_{di}\}$
1	Городское население	ИНН, СНИЛС, АН МТ (IMEI), ИНБК, НПГ(РФ), НЛСФЛ	ОКИН, ОКСО, ОКПДТР, ОКЗ,	П (ЭП), ОЗП, ВУ, СГПС, ЭМК, ВБ, ПОМС, БК, БП, УЭК, МТ
2	Транспортные средства	VIN, ГРНЗ ТрС, НПТрС	ОКОФ, ТНВЭД, ОКФС	ПТрС, ТТО, ГТД СРТрС, ЗД (ТХ) ТрС, ПОСАГО
3	Товары	EAN-13, IMEI	ОКП, ОКПД, ТН ВЭД, АТХ	КЧ, ТН, ГТД
4	Средства упаковки грузов	EAN-13, МКК, (ГОСТР)	ОКВГУМ,	ТН, ТрН, ГТД
5	Субъекты экономической деятельности	ИНН, КПП, БИК, ОГРН, НРСЮЛ, SWIFT-code, ПИ	ОКВЭД, ОКУН, ОКП, ОКПД, ОКПО, ОКОПФ, ОКАТО;ОКОНХ	СПНРОНО, ЛК Т- 2, ТН, ТрН, КЧ, и др.
6	Объекты транспортной инфраструктуры	КН, ИНД, ИНОП ИНОН, ПИ	ОКОФ, ОКФС, ОКАТО, ОКС (ГОСТР,СНиП)	ЭПБГТ, ПБ, ДП, ЭПД, ЭПОП, ДТПАД
7	Объекты социальной инфраструктуры	КН, ИНОН, ПИ	ОКОФ, ОКФС, ОКАТО, ОКС (ГОСТР, СНиП)	ТПЗ, КП, ЭПМД, ЭПЗ
8	Виртуальный объекты информационной среды	IP	ОСКИР	ДОИУ, П
9	Пассажирский маршрут	НМ (п.5)	КТМВТ (п.5)	ПАМ,ПТМ, ПТрМ,

Под системой уникальной идентификации субъектов социально-экономической деятельности будем понимать множество уникальных идентификаторов, утвержденных нормативно-правовыми актами и постановлениями Правительства и Комитетами Государственной думы РФ. Например: ИНН, СНИЛС, EAN [172] и др.

Предложенный подход классификации и упорядоченности межагентных отношений позволит автоматизировать процесс структурного анализа и выявить однородные по поведению классы объектов ГТС.

3.2. Формальная модель классификации межагентных отношений в городской транспортной системе

Автоматизацию процесса структурного анализа и выявления однородных по поведению классов объектов ГТС невозможно осуществить без модели классификации межагентных отношений ГТС, последовательное изложение которой уместно начать с ввода основных составляющих модели.

Введем основные составляющие формальной модели классификации межагентных отношений:

$B_t(TS)$ - динамический агентный граф ГТС (2.16), определяющий динамическое поведение элементов ГТС и характеризующий в рамках введенного выше условия СЭА³ тех объектов, которые ее допускают;

$ICD_i = \{icd_{di}\}$ - множество идентифициро-классифицирующих документов;

$ID_i = \{id_{\eta_i}\} \equiv [СУИССЭД]$ - множество уникальных идентификаторов $\eta = 1, \dots, n$ объекта ε_i , входящих в систему уникальной идентификации субъектов социально-экономической деятельности.

$CL_i = \{cl_i\} \equiv [ЕСККТЭИ]$ - множество иерархических классификаторов объекта ε_i , входящих в единую систему классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации;

f_M - оператор измерения;

f_T - временной оператор;

f_{ψ}^d - оператор классификации объектов ГТС в соответствии с множеством классификаторов CL_i ;

f_r - оператора распознавания отношений;

$F = \{\phi_{r_{ij}}\}$ -множество функциональных отношений между объектами ГТС;

³ Социально экономическая активность относиться только к городскому населению.

Выразим динамический агентный граф ГТС через сумму (склеивание) подграфов потребительского, транспортного и информационно сетевого поведения, в виде

$$B_t(TS) = \Gamma_t^H \left(\left(\Gamma_t^N(V;E) \cup \Gamma_t^T(V;E) \cup \Gamma_t^{IS}(V;E) \right); T \right) \cup \Gamma_t^{TS/H}(\Gamma_t(V;E); T), \quad (3.1)$$

где $\Gamma_t^H \left(\left(\Gamma_t^N(V;E) \cup \Gamma_t^T(V;E) \cup \Gamma_t^{IS}(V;E) \right); T \right)$ - граф социально-экономической активности городского населения; $\Gamma_t^N(V;E)$ - граф потребительской активности городского населения; $\Gamma_t^T(V;E)$ - граф транспортной активности городского населения; $\Gamma_t^{IS}(V;E)$ - граф информационно-сетевой активности городского населения; $\Gamma_t^{TS/H}(\Gamma_t(V;E); T)$ - контрольный граф обратной связи ГТС.

Интерпретация поведенческого графа социально-экономической активности городского населения и элементов ГТС, определяемой в соответствии с (3.1) представлена на рисунке 3.2.

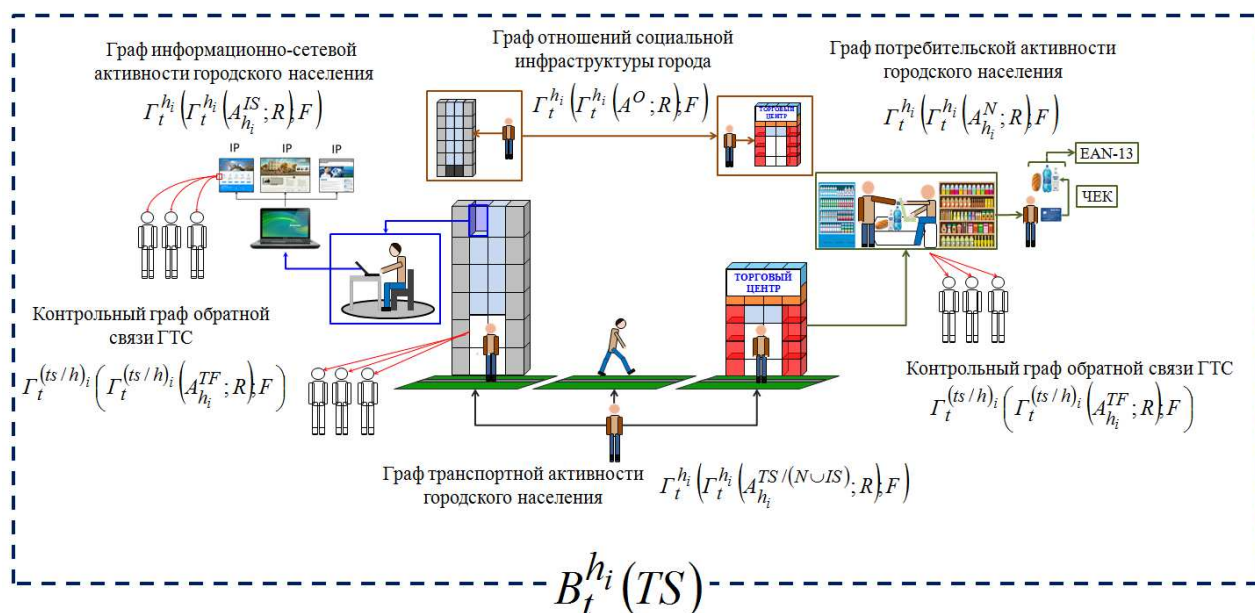


Рисунок.3.2. Социально-экономическая активность пользователя и взаимодействующих с ним элементов ГТС, выраженные динамическим агентным графом.

Рассмотрим последовательно составляющие подграфы динамического агентного графа ГТС, входящие в (3.1), начиная с графа потребительской активности городского населения.

$$\Gamma_t^N(V; E) = \bigcup_{h_i} \Gamma_t^{h_i, N}(V; E) = \bigcup_{h_i} \Gamma_t^{h_i} \left(\Gamma_t^{h_i} (A_{h_i}^N; R); T \right), \quad (3.2)$$

где $\Gamma_t^{h_i} \left(\Gamma_t^{h_i} (A_{h_i}^N; R); T \right)$ - граф потребительской активности пользователя h_i ;
 $A_{h_i}^N = Gd_{h_i} \cup Sr_{h_i}$, $A_{h_i}^N \in A^N$ - множество товаров и услуг, приобретаемых пользователем h_i ; A^N - множество товаров и услуг;

$$\Gamma_t^T(V; E) = \bigcup_{h_i} \Gamma_t^{h_i, T}(V; E) = \bigcup_{h_i} \Gamma_t^{h_i} \left(\Gamma_t^{h_i} (A_{h_i}^{TS/(N \cup IS)}; R); T \right), \quad (3.3)$$

где $\Gamma_t^{h_i} \left(\Gamma_t^{h_i} (A_{h_i}^{TS/(N \cup IS)}; R); T \right)$ - граф транспортной активности пользователя h_i ;
 $A_{h_i}^{TS/(N \cup IS)} \in A^{TS/(N \cup IS)}$ - множество элементов ГТС, взаимодействующих с пользователем h_i , за исключением множества товаров, услуг и информационных ресурсов;
 $A^{TS/(N \cup IS)}$ - множество элементов ГТС, за исключением множества товаров, услуг и информационных ресурсов.

$$\Gamma_t^{IS}(V; E) = \bigcup_{h_i} \Gamma_t^{h_i, IS}(V; E) = \bigcup_{h_i} \Gamma_t^{h_i} \left(\Gamma_t^{h_i} (A_{h_i}^{IS}; R); T \right), \quad (3.4)$$

где $\Gamma_t^{h_i} \left(\Gamma_t^{h_i} (A_{h_i}^{IS}; R); T \right)$ - граф информационно-сетевой активности пользователя h_i ;
 $A_{h_i}^{IS} \in A^{IS}$ - множество информационных ресурсов, определяемых IP адресами в среде Интернет, посещаемых пользователем h_i ;
 A^{IS} - множество информационных ресурсов в среде Интернет.

$$\Gamma_t^{TS/H}(\Gamma_t(V; E); T) = \bigcup_{(ts/h)_i} \Gamma_t^{(ts/h)_i} \left(\Gamma_t^{(ts/h)_i} (A_{h_i}^{TF}; R); T \right), \quad (3.5)$$

где $\Gamma_t^{(ts/h)_i} \left(\Gamma_t^{(ts/h)_i} (A_{h_i}^{TF}; R); T \right)$ - контрольный граф обратной связи ГТС;
 $TF = TS/(H \cup IS \cup N)$ - множество элементов ГТС, за исключением городского населения, товаров и услуг, информационных ресурсов.

Графическая интерпретация подграфов (3.2) - (3.5) графа (3.1) представлена на рисунке 3.3.

$F = \{\phi_{r_{ij}}\}$ -множество функциональных отношений между идентифицированными объектами ГТС, характеризующее динамическое поведение элементов ГТС и представляющее собой упорядоченную последовательность (пары, тройки, и т.д.) классификаторов единой системы классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации.

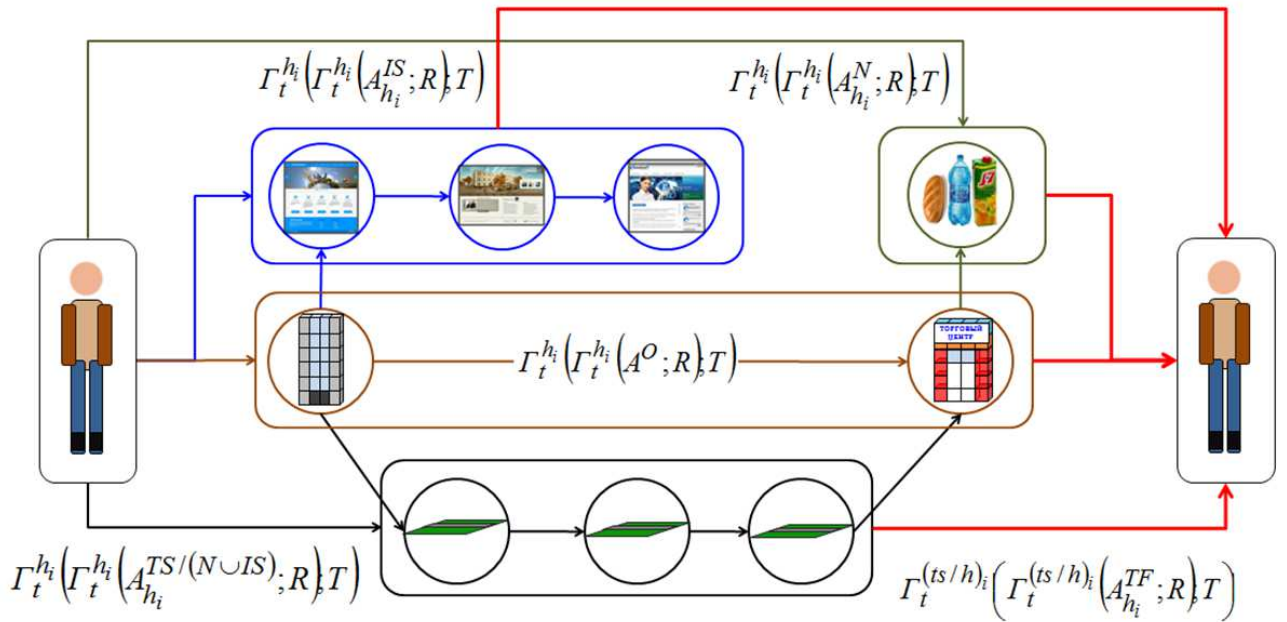


Рисунок 3.3. Подграфы динамического агентного графа городской транспортной системы.

Рассмотрим процесс образования отношения. Отношение порождается оператором классификации f_{ψ}^d , который каждому элементу ε_i при взаимодействии с элементом ε_j в процессе регистрируемой социально-экономической деятельности вида r_m , посредством оператора отношений f_r , ставит в соответствие множество иерархических классификаторов $\left\{ \left(cl_{i(j)\zeta}^{r_m} \right)_{d_{\zeta}} \right\}$ глубиной d_{ζ} из единой системы классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации, в соответствии со следующим выражением:

$$\begin{aligned}
& \forall \varepsilon_i = (ICD)_i = (ID; CL)_i, \quad \varepsilon_j = (ICD)_j = (ID; CL)_j, \quad f^{TS-A}, \quad f_{\psi}^d, \quad f_r \\
& \exists F_{ij}, \quad \varepsilon_i \overset{r_m}{\cap} \varepsilon_j = \phi_{r_m} \xrightarrow{f_r} \left\{ (cl_{\kappa\zeta}^{def})_{d_{\zeta}} \right\} \xrightarrow{f_{\psi}^d} \bigcup_{p \in [R/r_m]_{\varepsilon_i, j}} r_p^{\left[\varepsilon / \{ \varepsilon_i, \varepsilon_j \} \right]_{\varepsilon_i, j}^m} \xrightarrow{f_{\psi}^d, f^{TS-A}} \left\{ (cl_{\kappa\zeta}^{\Leftrightarrow def})_{d_{\zeta}} \right\} \\
& \left\{ F_{ij} \right\}_{\tau} \overset{f_M}{=} \left\{ (cl_{\kappa\zeta}^{def})_{d_{\zeta}} \right\}_{\tau=t_1}, \dots, \left\{ (cl_{\kappa\zeta}^{def})_{d_{\zeta}} \right\}_{\tau=t_n}, \tag{3.6}
\end{aligned}$$

где $\varepsilon_i \overset{r_m}{\cap} \varepsilon_j$ - функциональное взаимодействие идентифицированных элементов $\varepsilon_i, \varepsilon_j$ ГТС, выявляемое в процессе регистрации социально-экономической активности вида r_m отождествляется с реляционной операцией пересечения отношений, результат которой содержит кортежи, принадлежащие одновременно двум отношениям; $\bigcup_{p \in [R/r_m]_{\varepsilon_i, j}} r_p^{\left[\varepsilon / \{ \varepsilon_i, \varepsilon_j \} \right]_{\varepsilon_i, j}^m}$ - множество

функциональных межэлементных (межагентных) отношений, в которых состоят элементы ε_i и ε_j в отдельности без учета регистрируемого отношения r_m ; $\left[\varepsilon / \{ \varepsilon_i, \varepsilon_j \} \right]_{\varepsilon_i, j}^m$ - множество элементов, состоящих в отношениях с элементами $\varepsilon_i, \varepsilon_j$ без учета последних; $f_{\Leftrightarrow}$ - оператор транзитивности отношений; $cl_{\kappa\zeta}^{def}$ - определенные (*def*) классификаторы ЕСКК ТЭСИ, порожденные элементами ε_i и ε_j вида ζ ; $cl_{\kappa\zeta}^{\Leftrightarrow def}$ - определенные (*def*) классификаторы ЕСКК ТЭСИ объектов транзитивных ε_i и ε_j в отдельности; $\left\{ F_{ij} \right\}_{\tau}$ - упорядоченное по времени множество однородных классификаторов функциональных отношений между идентифицированными объектами ГТС.

Графическая иллюстрация вышеописанного процесса представлена на рисунке 3.4, на примере оплаты проезда в городского пассажирском автобусе.

Процесс выявления неявных функциональных отношений между элементами ГТС в процессе регистрации определенного вида взаимодействия, определяемого согласно (3.6), представлен на рисунке 3.5.

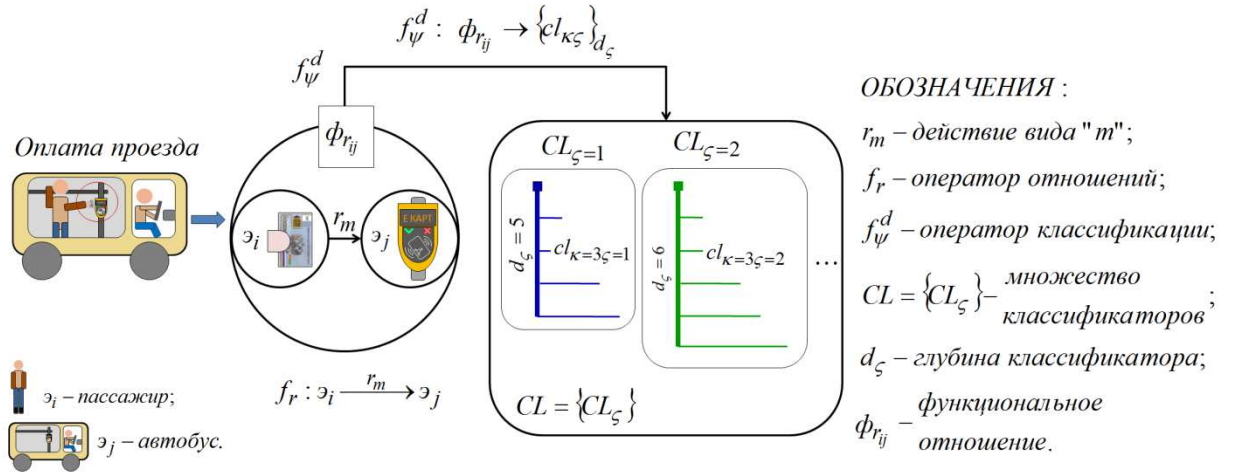


Рисунок 3.4. Классификация отношений на примере оплаты проезда в автобусе.

Функциональные отношения, порождаемые оператором f_r в процессе регистрируемого взаимодействия объектов ГТС расширяют возможности параметризации (3.5), осуществляемой оператором f_{CH} .

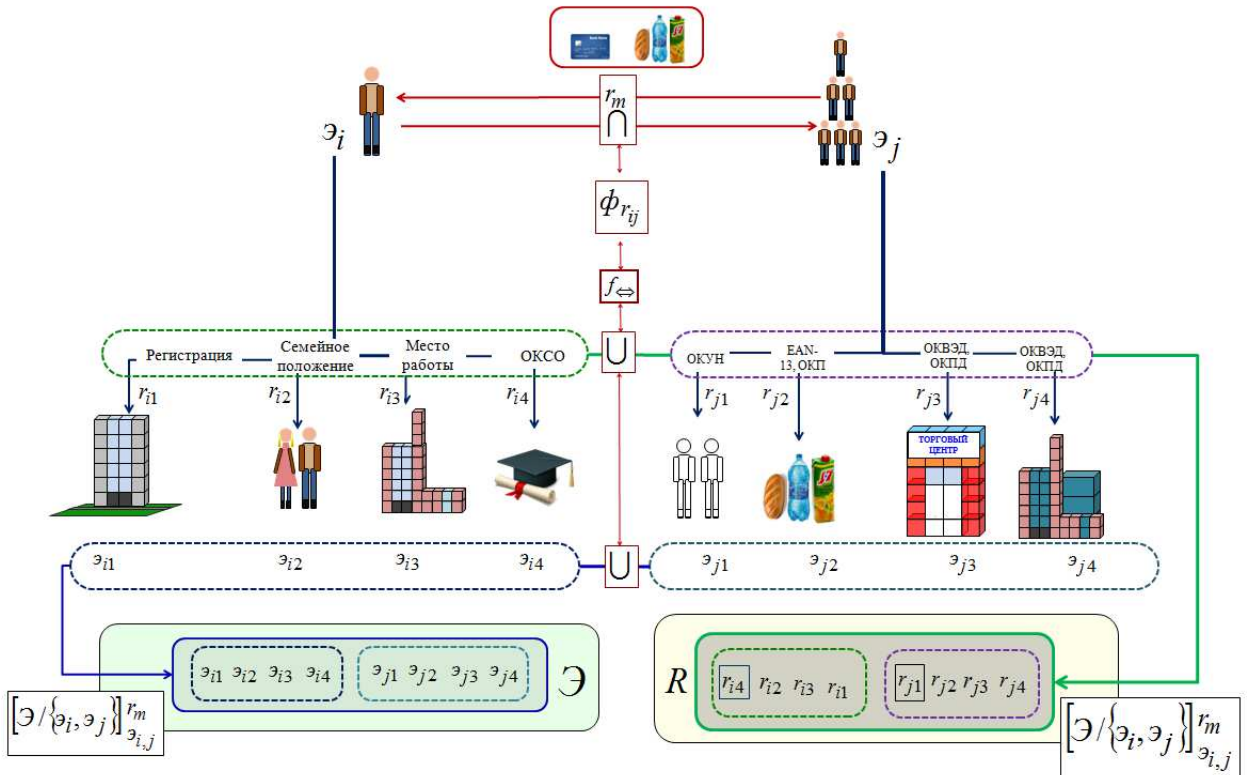


Рисунок 3.5. Графическая иллюстрация выражения (3.6).

Разбиение динамического агентного графа ГТС на подграфы (3.1), позволяет выстроить систему упорядочивания целевого функционального поведения пользователей, вида:

$$\forall h_i, \exists BF_{t,h_i} : FA \rightarrow PFA \rightarrow FR \rightarrow PFA \rightarrow FA \rightarrow \dots, \quad (3.7)$$

где $\exists$ - символ не строгого существования поведения пользователя BF_{t,h_i} ; FA - «функциональная деятельность» - атрибуты, определяемые из единой системы классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации, через идентификацию реальной деятельности пользователя; PFA - «функциональное место деятельности» - атрибуты объекта социальной инфраструктуры, определяемые функциональным назначением объекта инфраструктуры; FR - «функциональный маршрут» - маршрут передвижения пользователя от одного объекта социальной инфраструктуры до другого, содержащий подробную информацию о пути следования пользователя (путевые точки перегонов УДС, характеристики транспортного средства передвижения, затраты на передвижение).

Временной оператор f_T , характеризующий поведение ГТС, разукрупняется операторами идентификации отношений f_r и классификации f_ψ^d на временные операторы потребительской f_T^N , социально-инфраструктурной f_T^O и транспортной активности f_T^{Ts} , т.е.:

$$f_T \xrightarrow{f_\psi^d, f_r} \{f_T^N, f_T^O, f_T^{Ts}\}, \quad (3.8)$$

Последние определяют порядок следования актов регистрируемой деятельности пользователя в соответствии со следующим выражением:

$$Bt_H, f_T^N, f_T^O, f_T^{Ts} : \bigcup_{h_i}^H T_{h_i}^{Bt} \xrightarrow{f_T^N} \bigcup_{h_i}^H T_{h_i}^N \xrightarrow{f_T^O} \bigcup_{h_i}^H T_{h_i}^O \xrightarrow{f_T^{Ts}} \bigcup_{h_i}^H T_{h_i}^{Ts}, \quad (3.9)$$

Оператор идентификации отношений f_r и классификации f_ψ^d выстраивает однородные по классам динамические цепочки активности, в виде:

$$Bt_H, f_T^N, f_T^O, f_T^{Ts}, f_\psi^d, f_r : \left\{ \begin{array}{l} \bigcup_{h_i}^H Bt_{h_i} \xrightarrow{f_T^N} \bigcup_{h_i}^H Bt_{h_i}^N \xrightarrow{f_T^O} \bigcup_{h_i}^H Bt_{h_i}^O \xrightarrow{f_T^{Ts}} \bigcup_{h_i}^H Bt_{h_i}^{Ts} \\ \bigcup_{h_i}^H BFt_{h_i} \xrightarrow{f_T^N} \bigcup_{h_i}^H BFt_{h_i}^N \xrightarrow{f_T^O} \bigcup_{h_i}^H BFt_{h_i}^O \xrightarrow{f_T^{Ts}} \bigcup_{h_i}^H BFt_{h_i}^{Ts} \end{array} \right\}, \quad (3.10)$$

Классы динамических цепочек активности в рамках принятого целевого функционального поведения пользователей (3.10), в соответствии с (3.9), удовлетворяют следующим условиям вложенности:

$$T_{h_i}^{Ts} \subseteq T_{h_i}^O \subseteq T_{h_i}^N, \quad T_{h_i}^{Ts} < T_{h_i}^O < T_{h_i}^N, \quad (3.11)$$

где f_T^N - временной оператор потребительской активности пользователя, f_T^O - временной оператор социально-инфраструктурной активности пользователя, f_T^{TS} - временной оператор транспортной активности пользователя; $T_{h_i}^{TS}$ - время, затраченное пользователем h_i на перемещение от одного объекта социальной инфраструктуры до другого; $T_{h_i}^O$ - интервал времени между взаимодействиями пользователя h_i с объектами социальной инфраструктуры; $T_{h_i}^N$ - интервал времени между актами потребительской активности пользователя h_i в отличных по местонахождению объектах социальной инфраструктуры; $Bt_H(BFt_H)$ - поведение пользователей ГТС; $Bt_{h_i}^N(BFt_{h_i}^N)$ - потребительская активность пользователя h_i ; $Bt_{h_i}^O(BFt_{h_i}^O)$ - социально-инфраструктурная активность пользователя h_i ; $Bt_{h_i}^{TS}(BFt_{h_i}^O)$ - транспортная активность пользователя h_i .

Таким образом, целевая транспортная активность пользователя обуславливается видом функциональной деятельности пользователя и выбором места осуществления этой функциональной деятельности, т.е.:

$$Bt_{h_i}^{TS} = Bt_{h_i}^{TS}(Bt_{h_i}^N; Bt_{h_i}^O) \rightarrow Bt_{h_i}^{TS} = BFt_{h_i}^{TS}(BFt_{h_i}^N; BFt_{h_i}^O), \quad (3.12)$$

Графическая иллюстрация, поясняющая преобразования (3.7)-(3.12), представлена на рисунке 3.6.

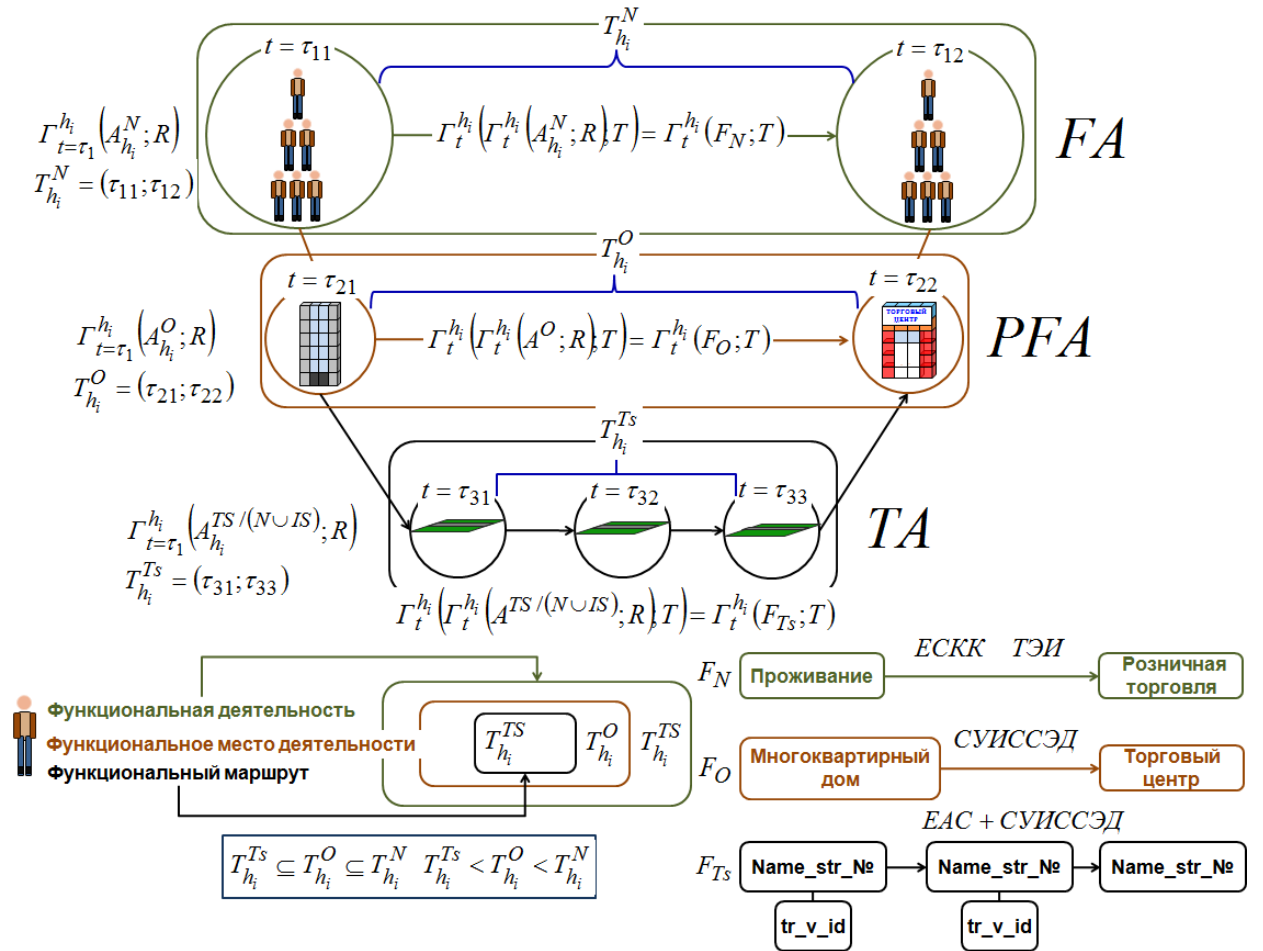


Рисунок 3.6. Графическая иллюстрация к выражениям (3.7)-(3.12).

Функциональные отношения $F = \{\phi_{r_{ij}}\}$, $F \subseteq [PCKK \text{ ТЭИ}]$ между объектами идентифицируются посредством множества CLe , представляющего собой расширенную систему классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации (PCKK ТЭСИ), вида

$$CLe = [PCKK \text{ ТЭИ}] = [ЕСКК \text{ ТЭИ} \cup СУИССЭД \cup ЕАС], \quad (3.13)$$

Временной оператор f_T , оператор идентификации отношений f_r и классификации f_ψ^d разбивают множество F на множества упорядоченных отношений-классификаторов потребительской F_N , социально-инфраструктурной F_O , транспортной F_{TS} и информационно-сетевой F_{IS} деятельности, в следующем виде:

$$F = [f_T, f_\psi^d, f_r] F_N \cup F_O \cup F_{TS} \cup F_{IS}, \quad (3.14)$$

Таким образом, социально-экономическая активность пользователя h_i , представленная в составе динамического агентного графа ГТС (3.1) разбивается упорядоченным набором функциональных отношений (3.14) на однородные классы функциональных активностей следующего вида:

$$\begin{aligned} Bt_{h_i} &= \Gamma_t^H \left(\left(\Gamma_t^N(V;E) \cup \Gamma_t^T(V;E) \cup \Gamma_t^{IS}(V;E) \right); T \right) = \Gamma_t^{h_i} \left(\Gamma_t^{h_i}(A_{h_i}^N; R); T \right) \cup \\ &\cup \Gamma_t^{h_i} \left(\Gamma_t^{h_i}(A^O; R); T \right) \cup \Gamma_t^{h_i} \left(\Gamma_t^{h_i}(A^{TS/(N \cup IS)}; R); T \right) \cup \Gamma_t^{h_i} \left(\Gamma_t^{h_i}(A_{h_i}^{IS}; R); T \right) = , \quad (3.15) \\ &= \Gamma_t^{h_i}(F_N; T) \cup \Gamma_t^{h_i}(F_O; T) \cup \Gamma_t^{h_i}(F_{TS}; T) \cup \Gamma_t^{h_i}(F_{IS}; T) \end{aligned}$$

Оператор классификации f_ψ^d ставит в соответствие классам функциональных активностей классификаторы из CLe следующего вида

$$Bt_{h_i} \xrightarrow{f_\psi^d} \Gamma_t^{h_i}(CLe_N; T) \cup \Gamma_t^{h_i}(CLe_O; T) \cup \Gamma_t^{h_i}(CLe_{TS}; T) \cup \Gamma_t^{h_i}(CLe_{IS}; T), \quad (3.16)$$

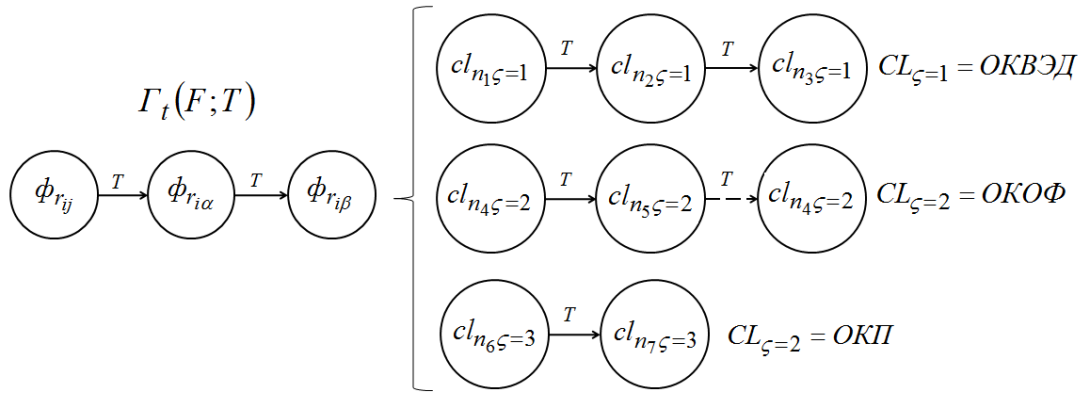
где $CLe_N, CLe_O, CLe_{TS}, CLe_{IS} \in CLe$

Таким образом, динамический агентный граф социально-экономической активности пользователя h_i переводится в наборы потребительских CLe_N , социально-инфраструктурных CLe_O , транспортных CLe_{TS} и информационно-сетевых CLe_{IS} динамических функциональных графов-классификаторов в соответствии с (3.16).

Очевидно, что формула (3.16) для динамического агентного графа ГТС (3.1) под действием классификатора f_ψ^d преобразуется в выражение следующего вида:

$$B_t(TS) \xrightarrow{f_\psi^d} BF_t(TS) = \Gamma_t(CLe; T), \quad (3.17)$$

Графическое пояснение разукрупнения динамического функционального графа СЭА пользователя через графы-классификаторы дано на рисунке 3.7.



$n_1, \dots, n_6$ – номера классификаторов; $\phi_{r_{ij}}, \phi_{r_{i\alpha}}, \phi_{r_{i\beta}}$ – функциональные отношения

Рисунок 3.7. Разукрупнение динамического функционального графа социально-экономической активности пользователя через графы-классификаторы.

Нами была подробно рассмотрена процедура построения классификации межагентных отношений в ГТС в границах теоретико-множественного и алгебраического аппаратов.

Поясним на примере процесс классификации межагентных отношений в ГТС с использованием расширенной системы классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации.

Пример 3.1. Известна социально-экономическая активность пользователя с 9:00-9:40 утра. Пользователь h_α , вышел утром из дома (ул. Репина д.12), пешим ходом дошел до остановки (пересечение Большого проспекта В.О и Кадетской линии), воспользовавшись городским общественным транспортом – автобусом №7 - доехал до остановки (8-9 линии Большого проспекта В.О), от остановки пешим ходом дошел до магазина «Дикси» (линия 11-я, 14/39), совершил покупки (батон нарезной) и направился на работу в БЦ Преображенский (14-линия, д.7).

Требуется построить модель классификации межагентных отношений пользователя h_α и произвести ее информационное наполнение. Функциональный операторный базис СУ ГТС считается заданным, а информация об участниках СЭА и объектах ГТС в объеме РСККТИ, согласно (3.17) доступной. Отображение процесса СЭА пользователя представлено на рисунке 3.8.



Рисунок 3.8. Социально-экономическая активность пользователя h_{α} .

Решение. Построение модели классификации межагентных отношений в ГТС целесообразно начать с формализации исходных данных:

1) наличие функционального операторного базиса СУ ГТС регламентирует задание f_M - оператора измерения, f_T - временного оператора, f_{ψ}^d - оператора классификации объектов ГТС в соответствии с множеством классификаторов CL_i , f_R - оператора регулирования, f_{Π} - оператора планирования, что позволяет произвести построение динамического функционального графа ГТС;

2) расширенная система классификации и кодирования технико-экономической информации обуславливает доступность к единой системе классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации, системе уникальной идентификации субъектов социально-экономической деятельности и единой адресной системе. Таким образом, для любого объекта ГТС считается заданным его уникальный номер, множество классифицирующих характеристик $\forall \varepsilon_i = (ID; CL)_i$ и F - множество

функциональных отношений между объектами ГТС, оператор идентификации отношений - f_r и классификации - f_ψ^d (рисунок 3.9).

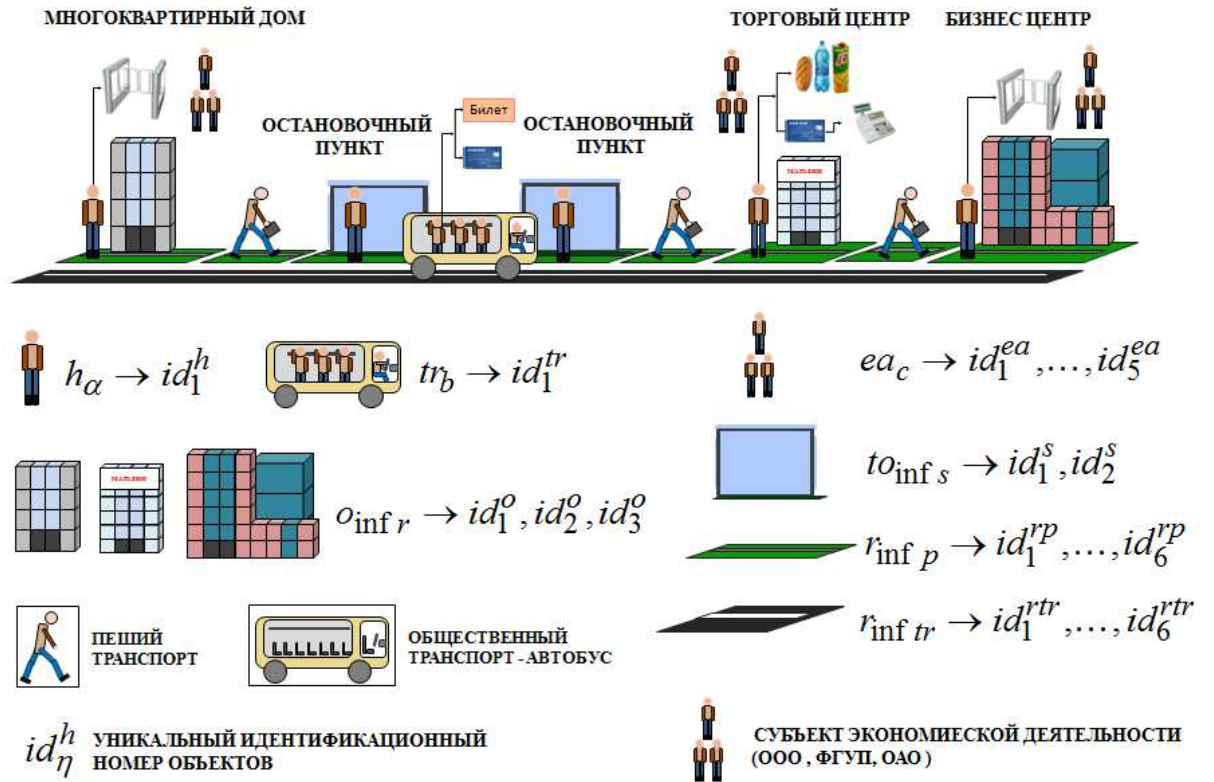


Рисунок 3.9. Идентификация объектов, участвующих в социально-экономической активности пользователя h_α .

I. Представим информацию об объектах, взаимодействующих с потребителем h_α , доступную из РСКК ТЭИ для СУ ГТС:

1) Информация о потребителе h_α .

$$h_\alpha = (ICD_1^h) = (id_1^h; \{cl\}_1^h) = (\{ИНН; СНИЛС\}; \{ОКИН; ОКСО; ОКПДТР; ОКЗ\})_1^h \cup (ВУ; ССОПС; ПОМС)_1^h$$

$$ICD_1^h = (П; ЭПБГТ; БК; СГПС; МТ)_1^h$$

$$П_1^h = \left(\begin{array}{l} \text{ФИО : Иванова И.С; Пол : Ж; ДР : 01.01.1988; СП : _; МР : Санкт - Петербург;} \\ \text{Место жительства : СПб, ул. Репина д.12 кв.142;} \end{array} \right)_1^h$$

$$ЭПБГТ_1^h = (НПГ(РФ)_1^h; \text{Дата приобретения; Место приобретения; Количество поездок})_1^h$$

$$БК_1^h = (НПГ(РФ)_1^h; ИНН_1^h; НЛСФЛ_1^h)$$

$$СГПС_1^h = (НПГ(РФ); СНИЛС, ФИО, Дата и место рождения, Дата регистрации)_1^h$$

$$MT_1^h = (НПГ(РФ); АН МТ)$$

$$ОКИН(h_\alpha) = \left[\begin{array}{l} \text{Пол : 1, Гражданство : РФ(1); Национальность : Русский(001);} \\ \text{Языки народов Российской Федерации и иностранные языки : Русский (155);} \\ \text{Образование : Среднее профессиональное(11), Высшее профессиональное(18);} \\ \text{Состояние в браке : Никогда не состоял(1); Виды занятости : Работающий} \\ \text{на постоянной работе(1); Отношение к учебе : Обучается в аспирантуре(11);} \\ \text{Сектора экономики при оценке занятости населения : Негосударственный(02);} \\ \text{Источники средств существования : Работа по найму (10) в организации(11)} \end{array} \right]_1^h$$

$$ОКПДТР(h_\alpha) = [1220026 - \text{Агент по продаже недвижимости}]_1^h$$

$$ОКСО(h_\alpha) = [080112 - \text{Маркетинг (по отраслям)}]_1^h$$

$$ОКЗ(h_\alpha) = \left[\begin{array}{l} \text{3.Специалисты среднего уровня. 34.Средний персонал в области финансово-} \\ \text{экономической административной и социальной деятельности.} \\ \text{341.Средний персонал в области финансовой и торговой деятельности.} \\ \text{3413.Агенты по продаже имущества} \end{array} \right]_1^{cl_{\kappa=3\zeta=2}}^h$$

2) Информация об организации ea_1 , в которой работает потребитель h_α

$$ea_1 = (ICD)_1^{ea} = (id_1^{ea}; \{cl_1^{ea}\}) = \left(\{ОГРН; ИНН; КПП; ПИ\}, \left\{ \begin{array}{l} ОКВЭД; ОКУН; \\ ОКАТО; ОКПД \end{array} \right\} \right)_1^{ea}$$

$$ICD_1^{ea} = (СППРОНО; ВЕГРЮЛ; ДОРС(ЛС))_1^{ea}$$

$$СППРОНО_1^{ea} = (ОГРН; ИНН; КПП; КИФНС; НО; ДПНУ)_1^{ea}$$

$$ВЕГРЮЛ_1^{ea} = \left(\begin{array}{l} \text{ПНЮЛ : ООО" ИТАКА"; ОГРН; ИНН; КПП;} \\ \text{Адрес местонахождения : 199034, Санкт – Петербург, Васильевский о - в} \\ \text{14 - линия, д.7, оф.48; ОКВЭД, ...} \end{array} \right)_1^{ea}$$

$$ДОРС(ЛС)_1^{ea} = (ОГРН_1^{ea}; ИНН_1^{ea}; КПП_1^{ea}; ОКВЭД_1^{ea}; ИНН(Б); РС(Б); БИК)$$

$$ОКВЭД_1^{ea} = \left(\begin{array}{l} \text{Операции с недвижимым имуществом, аренда и} \\ \text{предоставление услуг (Раздел К); Операции с недвижимым} \\ \text{имуществом (70); Подготовка к продаже покупка и продажа} \\ \text{собственного недвижимого имущества (70.1), Сдача в наем} \\ \text{собственного недвижимого имущества (70.2),} \\ \text{Предоставление посреднических услуг, связанных с} \\ \text{недвижимым имуществом (70.3)} \end{array} \right)_1^{ea}$$

$$ОКПД_1^{ea} = \left(\begin{array}{l} \text{Услуги, связанные с недвижимым имуществом (Раздел L);} \\ \text{Услуги по операциям с недвижимым имуществом (68);} \\ \text{Услуги по покупке и продаж собственного недвижимого} \\ \text{имущества (68.1); Услуги по сдаче в аренду (внаем) собственного} \\ \text{или арендованного недвижимого имущества (70.2);} \\ \text{Услуги по операциям с недвижимым имуществом за вознаграждение} \\ \text{или на договорной основе (68.3)} \end{array} \right)_1^{ea}$$

$$ОКУН_1^{ea} = \left(\begin{array}{l} 800000 - \text{Прочие услуги населению; 803000 - Услуги, связанные с} \\ \text{опреациями с недвижимым имуществом} \end{array} \right)$$

$$ОКАТО_1^{ea} = \left(\begin{array}{l} \text{Санкт - Петербург, Васильевский о - в} \\ 14 - \text{ линия, д.7, (40263561000)} \end{array} \right)$$

$$ПИ_1^{ea} = \left(\begin{array}{l} \text{Санкт - Петербург, Васильевский о - в} \\ 14 - \text{ линия, д.7, оф.48 (199034)} \end{array} \right)$$

3) Информация о месте проживания $o \inf r_1$ пользователя h_α

$$o \inf r_1 = (ICD)_1^{o \inf r} = (id_1^o; \{cl\}_1^o) = \left(\{KH, ИНОН, ПИ\}; \left\{ \begin{array}{l} ОКОФ; ОКФС; \\ ОКАТО; (ОКС) \end{array} \right\} \right)_1^{o \inf r}$$

$$(ICD)_1^{o \inf r} = (\text{ЭПМД; КП; ТПЗ})$$

$$(ОКС)_1^{o \inf r} \rightarrow [CHuП II - Л.1 - 62 Жилые здания]_1^{o \inf r}$$

$$ОКОФ_1^{o \inf r} = \left[\begin{array}{l} 134527050 - \text{Здания жилые; 134527611 - Здания жилые общего} \\ \text{назначения многоквартирные} \end{array} \right]_1^{o \inf r}$$

$$ОКФС_1^{o \inf r} = \left[\begin{array}{l} \text{Российская собственность (10); Частная собственность (16);} \\ \text{Муниципальная собственность (14); Смешанная Российская} \\ \text{собственность (17)} \end{array} \right]_1^{o \inf r}$$

$$ОКАТО_1^{o \inf r} = (\text{Санкт - Петербург, ул. Ретина д.12, (40263561000)})_1^{o \inf r}$$

4) Информация о месте $o \inf r_2$, в котором потребитель h_α приобрел товар.

$$o \inf r_2 = (ICD)_2^{o \inf r} = (id_2^o; \{cl\}_2^o) = \left(\{KH, ИНОН, ПИ\}; \left\{ \begin{array}{l} ОКОФ; ОКФС; \\ ОКАТО; (ОКС) \end{array} \right\} \right)_2^{o \inf r}$$

$$(ICD)_2^{o \inf r} = (\text{ЭПЗ; КП; ТПЗ})_2^{o \inf r}$$

$$ОКОФ_2^{o\inf r} = \left[\begin{array}{l} 110000000 - \text{Здания (кроме жилых)}; 114527010 - \text{Здания предприятий} \\ \text{торговли и общественного питания}; 114527102 - \text{Гастроном}; \\ 114527101 - \text{Универсам}; \end{array} \right]_2^{o\inf r}$$

$$ОКФС_2^{o\inf r} = \left[\begin{array}{l} \text{Российская собственность(10)}; \text{Частная собственность(16)}; \\ \text{Муниципальная собственность(14)}; \text{Смешанная Российская} \\ \text{собственность(17)} \end{array} \right]_2^{o\inf r}$$

$$ОКАТО_2^{o\inf r} = (\text{Санкт - Петербург, 11 - линия, д.14/39, (40263561000)})_1^{o\inf r}$$

5) Информация о здании $o\inf r_3$, в котором потребитель h_α работает.

$$o\inf r_3 = (ICD)_3^{o\inf r} = (id_3^o; \{cl\}_3^o) = \left(\{KH, ИНОН, ПИ\}; \left\{ \begin{array}{l} ОКОФ; ОКФС; \\ ОКАТО; (ОКС) \end{array} \right\} \right)_3^{o\inf r}$$

$$(ICD)_3^{o\inf r} = (\text{ЭПЗ; КП; ТПЗ})_3^{o\inf r}$$

$$(ОКС)_3^{o\inf r} \rightarrow [CH\P II - Л.2 - 62 \text{ Общественные здания и сооружения}]_3^{o\inf r}$$

$$ОКОФ_3^{o\inf r} = \left[\begin{array}{l} 110000000 - \text{Здания (кроме жилых)}; 114527010 - \text{Здания предприятий} \\ \text{торговли и общественного питания}; \end{array} \right]_3^{o\inf r}$$

$$ОКФС_3^{o\inf r} = [\text{Российская собственность(10)}; \text{Частная собственность(16)}]_3^{o\inf r}$$

$$ОКАТО_3^{o\inf r} = (\text{Санкт - Петербург, 11 - линия, д.14/39, (40263561000)})_3^{o\inf r}$$

6) Информация о городском общественном транспорте trb , которым воспользовался пользователь h_α .

$$trb_1 = (ICD)_1^{trb} = (id_1^{trb}; \{cl\}_1^{trb}) = (\{VIN, ГРНЗ ТС, НПТС\}; \{ОКОФ; ТНВД; ОКФС\})_1^{trb}$$

$$(ICD)_1^{trb} = (ПТС, ТО, ПОСАГО, ГТД, ПАМ)$$

$$ПТС_1^{trb} = \left(\begin{array}{l} VIN; \text{ФЛ " Автобусный парк №7" (BTC)}; \text{МАЗ (Марка)}; 103562 (\text{Модель}); \\ ГРНЗ; \text{Санкт - Петербург, Кубинская ул., д86 (Адрес)}; \text{СРТС}; D (\text{Категория}) \end{array} \right)_1^{trb}$$

$$ТХ_1^{trb} = \left(\begin{array}{l} \text{Количество мест для сидения : } 36 + 1 \\ \text{Номинальная вместимость : } 88; \end{array} \right)_1^{trb}$$

$$ОКОФ_1^{trb} = \left[\begin{array}{l} 153410000 - \text{Автомобили}; 153410271 - \text{Автобусы средние} \\ \text{городские и экскурсионные}; \end{array} \right]_1^{trb}$$

7) Информация о маршруте городского общественного пассажирского транспорта - автобусного trb , которым воспользовался пользователь h_α .

$$routeb_1 = (ICD)_1^{rt} = (id_1^{rt}; \{cl\}_1^{rt}) = \left(\left\{ \begin{array}{l} \text{№7(НМ)} + \text{информация аналог.п.2} \\ (\text{Автом.тр} - \text{т(КТМВТ)} + \text{информация аналог.п.2}) \end{array} \right\} \right)_1^{rt}$$

$$(ICD)_1^{rt} = ПАМ_1^{trb}$$

$$ПАМ_1^{trb} = \left[\begin{array}{l} \text{ул.Наличная} - \text{ул.Кораблестроителей} - \\ - \text{наб.Новосмоленская(НС)} - \text{мост Наличный} - \\ - \text{наб.Новосмоленская(ЧС)} - \text{ул.Кораблестроителей} - \\ - \text{ул.Нахимова} - \text{ул.Наличная} - \text{пр.Малый В.О.} - \text{ул.Гаванская} - \\ - \text{пр.Большой В.О.} - \text{линия 1я В.О.} - \text{линия Кадетская В.О.} - \\ - \text{наб. Университетская} - \text{мост Дворцовый} - \\ - \text{проезд Дворцовый} - \text{пр.Невский} - \text{пл.Восстания} \end{array} \right]_{1}^{trb};$$

ПУТЬ СЛЕДОВАНИЯ

$$\left[\begin{array}{l} (\text{М.пл. Восстания})(\text{пр.Литейный})(\text{м.Гостиный двор})(\text{м.Невский проспект}) \\ (\text{ул.Большая Конюшенная})(\text{ул.Малая морская})(\text{наб.Дворцовая}) \\ (\text{наб.Университетская})(\text{Университет})(\text{наб.Университетская}) \\ (1 - \text{я линия В.О.} / \text{пр.Большой В.О.})(\text{угол 8 - 9 линий} / \text{пр.Большой В.О.}) \\ (16 - 17 \text{ линии} / \text{пр.Большой В.О.})(22 - 23 \text{ линии} / \text{пр.Большой В.О.}) \\ (26 - 27 \text{ линии} / \text{пр.Большой В.О.})(\text{ул.Детская})(\text{пр.Большой В.О.}) \\ (\text{пр.Средний В.О.} / \text{угол Гаванской улицы})(\text{Шкиперский проток}) \\ (\text{пр.Малый В.О.} / \text{угол Наличной улицы})(\text{ул. Нахимова 11})(\text{гст.Прибалтийская}) \\ (\text{ул.Кораблестроителей 19})(\text{ул.Мичманская})(\text{наб.Новосмоленская 6}) \\ (\text{М.Приморская})(\text{мгз.Строитель})(\text{наб.Новосмоленская})(\text{ул.Капитанская}) \\ (\text{ул.Кораблестроителей 35})(\text{ул.Кораблестроителей}) \end{array} \right]_{1}^{trb}; [ПМ]_1^{trb};$$

ОСТАНОВОЧНЫЕ ПУНКТЫ

$$[РМПО]_1^{trb}; [РМОПМНП]_1^{trb}$$

8) Информация об организации перевозчике ФЛ «Автобусный парк №7» ea_2 , осуществляющей услуги по перевозке пассажиров городским общественным транспортом tr_b , которым воспользовался пользователь h_α .

$$ea_2 = (ICD)_2^{ea} = (id_2^{ea}; \{cl\}_2^{ea}) = \left(\left\{ \begin{array}{l} 1027809247300(\text{ОГРН}); \\ 7830001758(\text{ИНН}); \\ 196240(\text{ПИ}) \end{array} \right\}; \left\{ \begin{array}{l} \text{ОКВЭД}; \text{ОКУН}; \\ \text{ОКАТО}; \text{ОКПД}; \\ \text{ОКОНХ} \end{array} \right\} \right)_2^{ea}$$

$$ОКВЭД_2^{ea} = (60; 60.2; 60.21; 60.21.1; 60.21.11; 60.21.12)_2^{ea}$$

ОКВЭД. 60. Деятельность сухопутного транспорта; 60.2. Деятельность прочего сухопутного транспорта; 60.21. Деятельность прочего сухопутного пассажирского транспорта, подчиняющегося расписанию; 60.21.1. Деятельность автомобильного

(автобусного) пассажирского транспорта, подчиняющегося расписанию; 60.21.11.Внутригородские автомобильные (автобусные) пассажирские перевозки, подчиняющиеся расписанию; 60.21.12. Пригородные автомобильные (автобусные) пассажирские перевозки, подчиняющиеся расписанию.

$$ОКОНХ_2^{ea} = (50000; 51000; 51100; 51120; 51121)_2^{ea}$$

ОКОНХ. 50 000. Транспорт и связь; 51000. Транспорт; 51100. Сухопутный и трубопроводный транспорт; 51120. Шоссейный транспорт; 51121. Автомобильное хозяйство.

$$ОКАТО_2^{ea} = (40284563000)_2^{ea}$$

$$ОКПД_2^{ea} = (60; 60.2; 60.21; 60.21.3; 60.21.31.110)_2^{ea}$$

ОКПД. 60 . Услуги сухопутного транспорта и транспортирования по трубопроводам; 60.2. Услуги сухопутного транспорта прочие; 60.21. Услуги пассажирского сухопутным транспорта, подчиняющегося расписанию, прочие; 60.21.3. Перевозки внутригородские и пригородные пассажирские, кроме железнодорожных; 60.21.31.110. Перевозки внутригородские и пригородные регулярные пассажирские, кроме железнодорожных.

$$ПН_2^{ea} = (196240[Адрес])$$

[Адрес : Санкт – Петербург, Кубинская ул., д86]

$$ОКУН_2^{ea} = (020000; 021000; 021500; 021520; 021521)$$

ОКУН. 020000 Транспортные услуги; 021000 Услуги пассажирского транспорта; 021500 Услуги пассажирского автомобильного транспорта; 021520. Перевозки пассажиров автобусами по регулярным маршрутам/ в городском сообщении; 021521. Перевозки пассажиров автобусами по регулярным маршрутам в пригородном сообщении.

9) Информация об организации ea_3 , осуществившей продажу товаров в здании $o_{inf} r_3$ по адресу Санкт-Петербург, линия 11-я, 14/39 пользователю h_α .

$$ea_3 = (ICD)_3^{ea} = (id_3^{ea}; \{cl\}_3^{ea}) = \left(\left\{ \begin{array}{l} 1027810320174(ОГРН); \\ 7826029045(ИНН); \\ 198095(ПН) \end{array} \right\}; \left\{ \begin{array}{l} ОКВЭД; ОКУН; \\ ОКАТО; ОКПД; \\ ОКОНХ \end{array} \right\} \right)_3^{ea}$$

$$OKBЭД_3^{ea} = \left(\begin{array}{l} 52.1 - \text{Розничная торговля в неспециализированных магазинах;} \\ 52.11 - \text{Розничная торговля в неспециализированных магазинах} \\ \text{преимущественно пищевыми продуктами, включая напитки} \\ \text{и табачными изделиями;} \end{array} \right)_3^{ea}$$

$$OKОНХ_3^{ea} = (71100 - \text{оптовая торговля})_3^{ea}$$

$$ОКПД_3^{ea} = (51; 51.3; 51.4; 51.9)_3^{ea}$$

ОКПД. 51. Услуги по оптовой торговле, включая торговлю через агентов, кроме услуг по торговле автотранспортными средствами и мотоциклами; 51.9. Услуги по оптовой торговле прочие; 51.3. Услуги по оптовой торговле пищевыми продуктами, напитками и табачными изделиями; 51.4. Услуги по оптовой торговле непродовольственными потребительскими товарами.

10) Информация о товаре, который приобрел пользователь h_α : батон нарезной.

$$good_1 = (ICD)_1^{gd} = (id_1^{gd}; \{cl_1\}_1^{gd}) = \left(\{4602701200442(EAN)\}; \left\{ \begin{array}{l} 911501(ОКП); \\ 15.81.11.134(ОКПД) \end{array} \right\} \right)_1^{gd}$$

ЕАН – 4602701200442 (460 – Россия; 270120 – Регистрационный номер предприятия изготовителя ОАО «Фацер» ; 044 - порядковый номер продукции внутри предприятия ОАО «Фацер» ; 2 – Контрольная цифра.

ОКП 911501. Батоны из пшеничной муки первого сорта (масса до 500 г)

ОКПД.15.81.11.134. Изделия хлебобулочные из пшеничной муки первого сорта упакованные

11) Информация о пешеходных участках пути $r \inf p_1, \dots, r \inf p_6$, по которым передвигался пользователь h_α (рисунок 3.10).

Рассмотрим информацию о маршруте, на примере пешеходного участка пути $r \inf p_1$.

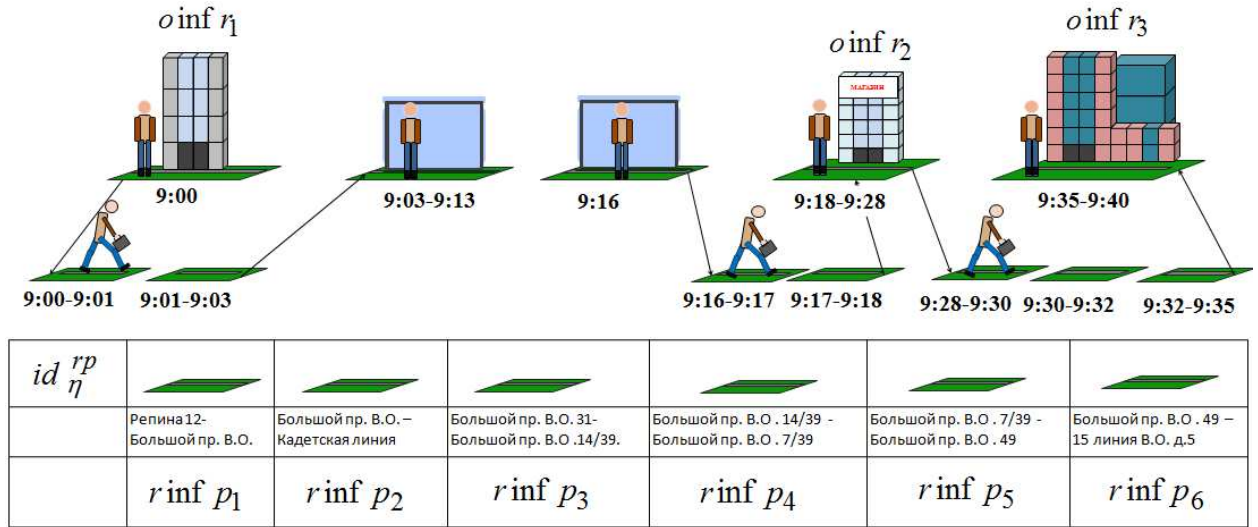


Рисунок 3.10. Пешеходный маршрут пользователя h_{α} .

$$r \inf p_1 = (ICD)_1^{r \inf p} = (id_1^{rp}; \{cl_1^{rp}\}) = \left(\{KH; ИНД\}; \left\{ \begin{matrix} ОКФС; ОКОВ; \\ СНиП \end{matrix} \right\} \right)_1^{gd}$$

$$*(ICD)_1^{r \inf p} = (ЭПД)_1^{r \inf p} = \left(\begin{matrix} \text{Наименование : ул.Репина;} \\ \text{Протяженность : 775м; Ширина : 4м} \end{matrix} \right)_1^{r \inf p}$$

*Частичные данные, указанные в ЭПД.

$$ОКФС_1^{r \inf p} = \left[\begin{matrix} \text{Российская собственность(10); Государственная собственность(11);} \\ \text{Муниципальная собственность(14);} \end{matrix} \right]_2^{o \inf r}$$

$$ОКОВ_1^{r \inf p} = (1245260000; 124526372)_1^{r \inf p}$$

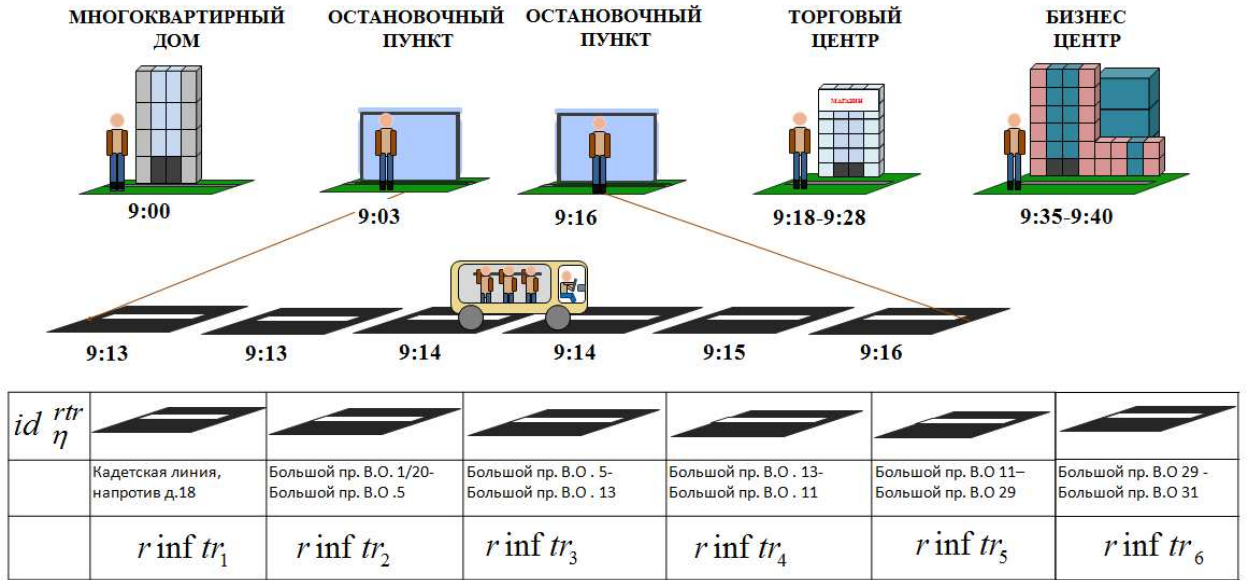
124526000. Сооружения для строительной индустрии, транспорта и связи;

124526372. Дорога автомобильная с усовершенствованным облегченным или переходным типом дорожного покрытия.

$$СНиП = (\text{Пешеходная дорога}(СНиП II - К.3 - 62))$$

12) Информация об автомобильной дороге $r \inf tr_1, \dots, r \inf tr_6$, по которой передвигался пользователь h_{α} на автобусе trb_1 (рисунок 3.11).

Рассмотрим информацию о маршруте, на примере автомобильного участка пути $r \inf tr_1$.

Рисунок 3.11. Автодорожный маршрут пользователя h_{α} .

$$r \inf tr_1 = (ICD)_1^{r \inf tr} = (id_1^{r \inf tr}; \{cl\}_1^{r \inf tr}) = \left(\{KH; ИИД\}; \left\{ \begin{matrix} ОКФС; ОКОВ; \\ СНиП \end{matrix} \right\} \right)_1^{r \inf tr}$$

$$* (ICD)_1^{r \inf tr} = (\mathcal{ЭПД})_1^{r \inf tr} = \left(\begin{matrix} \text{Наименование : Кадетская линия;} \\ \text{Протяженность : 1200м; Ширина проезжей части : } 2 \times 11.5 \text{м} \\ \text{Число полос движения : 6; Ширина обочины : 2м;} \\ \text{Пропускная способность : } 14000 \text{ед/сут} \end{matrix} \right)_1^{r \inf tr} * \mathcal{C}$$

астичные данные, указанные в ЭПД.

$$ОКФС_1^{r \inf tr} = \left[\begin{matrix} \text{Российская собственность(10); Государственная собственность(11);} \\ \text{Муниципальная собственность(14);} \end{matrix} \right]_1^{r \inf tr}$$

$$ОКОВ_1^{r \inf tr} = (1245260000; 124526371)_1^{r \inf tr}$$

124526000. Сооружения для строительной индустрии, транспорта и связи;
124526371. Дорога автомобильная с усовершенствованным капитальным типом дорожного покрытия.

$$СНиП = (\text{Магистральная автомобильная дорога (СНиП II – 60 – 75)})$$

13) Информация об остановочных пунктах ожидания городского пассажирского транспорта $to \inf s_1, to \inf s_2$.

Доступную СУ ГТС информацию об остановочных пунктах ожидания пассажирского транспорта рассмотрим на примере $to \inf s_2$ (рисунок 3.12).

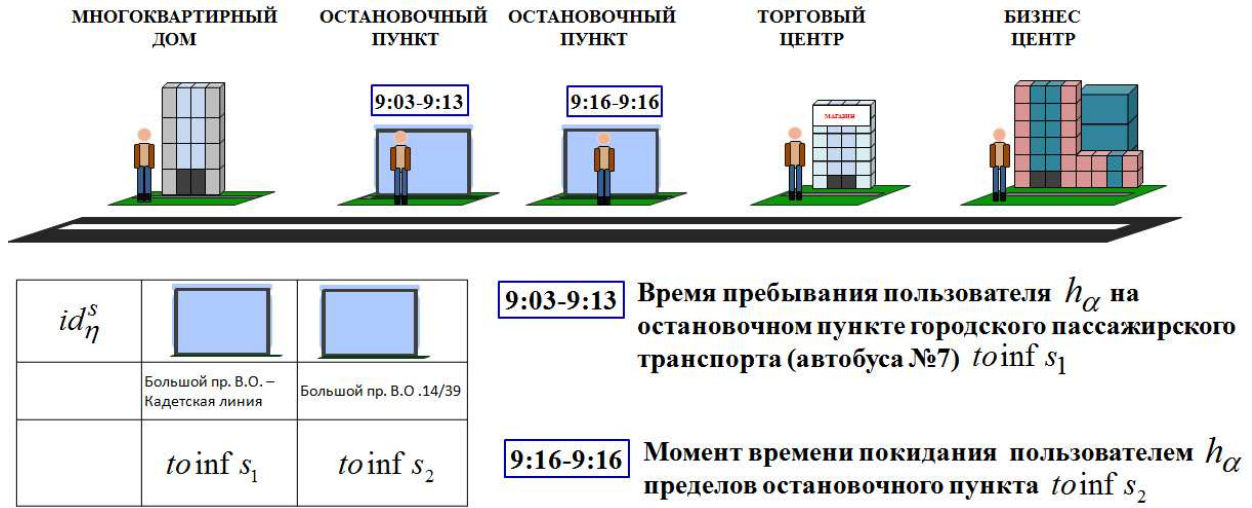


Рисунок 312. Пребывание пользователя h_{α} на остановочных пунктах городского пассажирского транспорта.

$$to\ inf\ s_2 = (ICD)_2^{to\ inf\ s} = (id_2^{to\ inf\ s}; \{cl\}_2^{to\ inf\ s}) = \left(\{KH; ИНОП\}; \left\{ \begin{matrix} ОКФС; ОКОФ; \\ СНПП \end{matrix} \right\} \right)_2^{to\ inf\ s}$$

$$(ICD)_2^{to\ inf\ s} = (ЭПОП)_2^{to\ inf\ s} = \left(\begin{matrix} ИНОП; НС; \\ М : 8-9 \text{ линия В.О. (GPS : 30.279733, 59.938205)} \\ ВГОТОП : \left[\begin{matrix} Автобус; \\ Тролейбус; \\ Марш.такси. \end{matrix} \right] \\ НМ : \left[\begin{matrix} НАМ : 128; 152; 41; 7 \\ НТМ : 10; 11 \\ НММТ : K124; K183; K186; K346; K350; K690; K6K \end{matrix} \right] \\ РДПТ \end{matrix} \right)$$

$$ОКОФ_2^{to\ inf\ s} = (114526345; 114526030; 114526000; 110000000)_2^{to\ inf\ s}$$

110000000 - Здания (кроме жилых); 114526000 - Здания предприятий строительной индустрии, транспорта и связи; 114526030 - Здания предприятий автомобильного транспорта; 11 4526345– Станция пассажирская.

$$ОКФС_2^{to\ inf\ s} = \left[\begin{matrix} Российская собственность(10); Государственная собственность(11); \\ Муниципальная собственность(14); \end{matrix} \right]_2^{to\ inf\ s}$$

II. Определим множество регистрируемых СУ ГТС отношений $R = \{r_{ij}\}$ между пользователем h_{α} и элементами $\{e_i\}$ ГТС (рисунок 3.13).

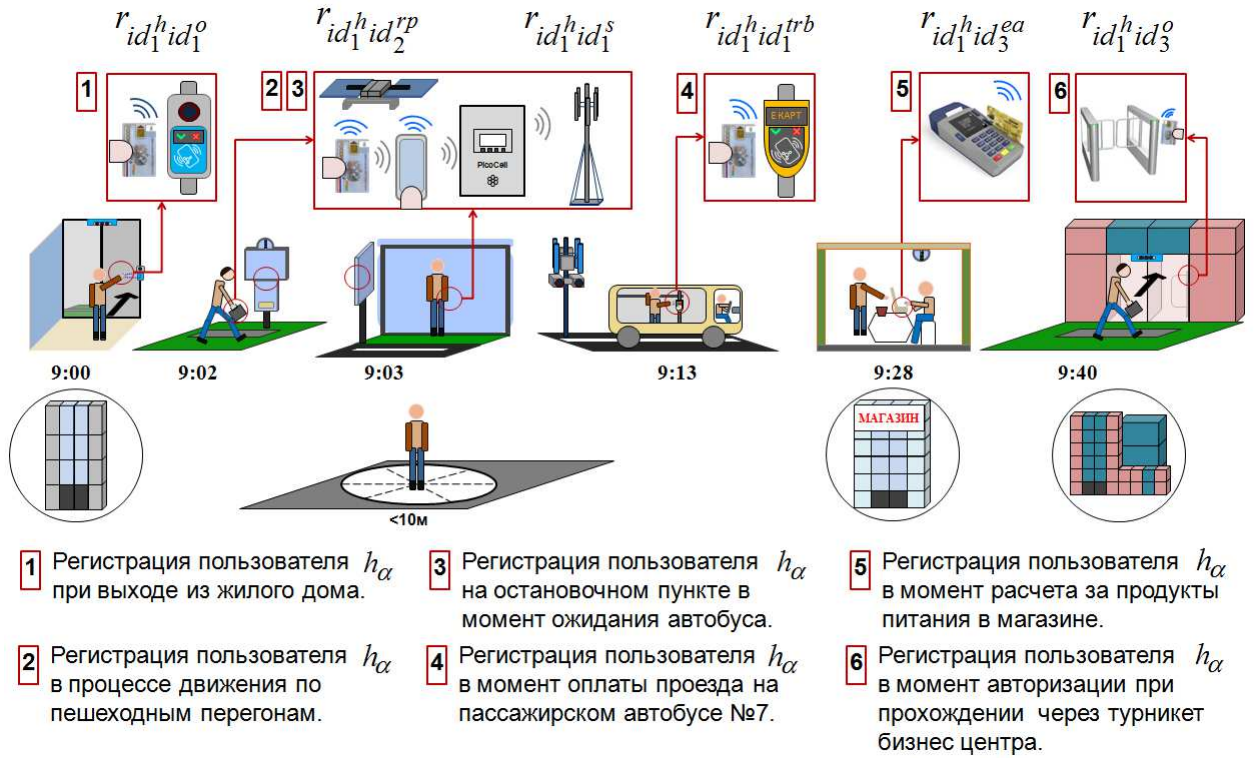


Рисунок 3.13. Отношения между пользователем и элементами городской транспортной системы.

1) Регистрация отношения $r_{id_1^h id_1^o} = \text{"пользователь – жилой дом"}$ при выходе пользователя h_α из жилого многоквартирного дома $o \in \inf r_1$.

$$R_{[t=9:00]} = r_{id_1^h id_1^o}$$

2) Регистрация отношения $r_{id_1^h id_2^{rp}} = \text{"пользователь – пешеходный участок"}$ в момент движения пользователя h_α по пешеходному участку $r \in \inf p_2$.

$$R_{[t=9:02]} = r_{id_1^h id_2^{rp}}$$

3) Регистрация отношения $r_{id_1^h id_1^s} = \text{"пользователь – остановочный пункт"}$ в момент ожидания пользователем h_α пассажирского автобуса №7 на остановке $t \in \inf s_1$.

$$R_{[t=9:03]} = r_{id_1^h id_1^s}$$

4) Регистрация отношения $r_{id_1^h id_1^{trb}} = \text{"пользователь – пассажирский автобус №7"}$ в момент оплаты пользователем h_α стоимости проезда в пассажирском автобусе $tr \in \inf b_1$.

$$R_{[t=9:13]} = r_{id_1^h id_1^{trb}}$$

5) Регистрация отношения $r_{id_1^h id_3^{ea}} = \text{"пользователь – организация"}$ в момент оплаты пользователем h_α стоимости продуктов питания id_1^{gd} , приобретаемых в организации ea_3 , расположенной в здании $o \inf r_2$.

$$R_{[t=9:28]} = r_{id_1^h id_1^{gd}} \xrightarrow{f \Leftrightarrow (2.17)} r_{id_1^h id_3^{ea}} \xrightarrow{f \Leftrightarrow (2.17)} r_{id_1^h id_2^o}$$

Неявное отношение $r_{id_1^h id_2^o} = \text{"пользователь – здание торговли"}$ между пользователем h_α и зданием, в котором расположен магазин организации ea_3 определяется в соответствии со свойством квази-транзитивности (2.17).

6) Регистрация отношения $r_{id_1^h id_3^{ea}} = \text{"пользователь – организация"}$ при прохождении пользователя h_α через турникет с целью допуска на работу в организацию ea_1 , расположенную в здании $o \inf r_3$.

$$R_{[t=9:28]} = r_{id_1^h id_1^{ea}} \xrightarrow{f \Leftrightarrow (2.17)} r_{id_1^h id_3^o}$$

Неявное отношение $r_{id_1^h id_3^o} = \text{"пользователь – здание торговли"}$ между пользователем h_α и зданием $o \inf r_3$, в котором расположено место работы ea_1 пользователя, h_α определяется в соответствии со свойством квази-транзитивности (2.17).

III. Построим динамический агентный граф социально-экономического поведения пользователя h_α .

1) Запишем общий вид динамического агентного графа и динамического функционального графа социально-экономического поведения пользователя h_α . с id_1^h согласно (3.1)

$$B_{id_1^h}^{[9:00-9:40]} = \Gamma_t^{id_1^h} \left(\Gamma_t^{id_1^h} (A; R); T \right) \stackrel{f_\psi^d}{=} \Gamma_t^{id_1^h} (F; T)$$

где $\Gamma_t^{hd_1^h} (A; R)$ - агентный граф; $\{\phi_{r_{ij}}\}_t \in CLe$;

Дадим графическое представление динамического агентного графа СЭА пользователя h_α на рисунке 3.14 и рассмотрим процедуру его построения и формальной интерпретации.

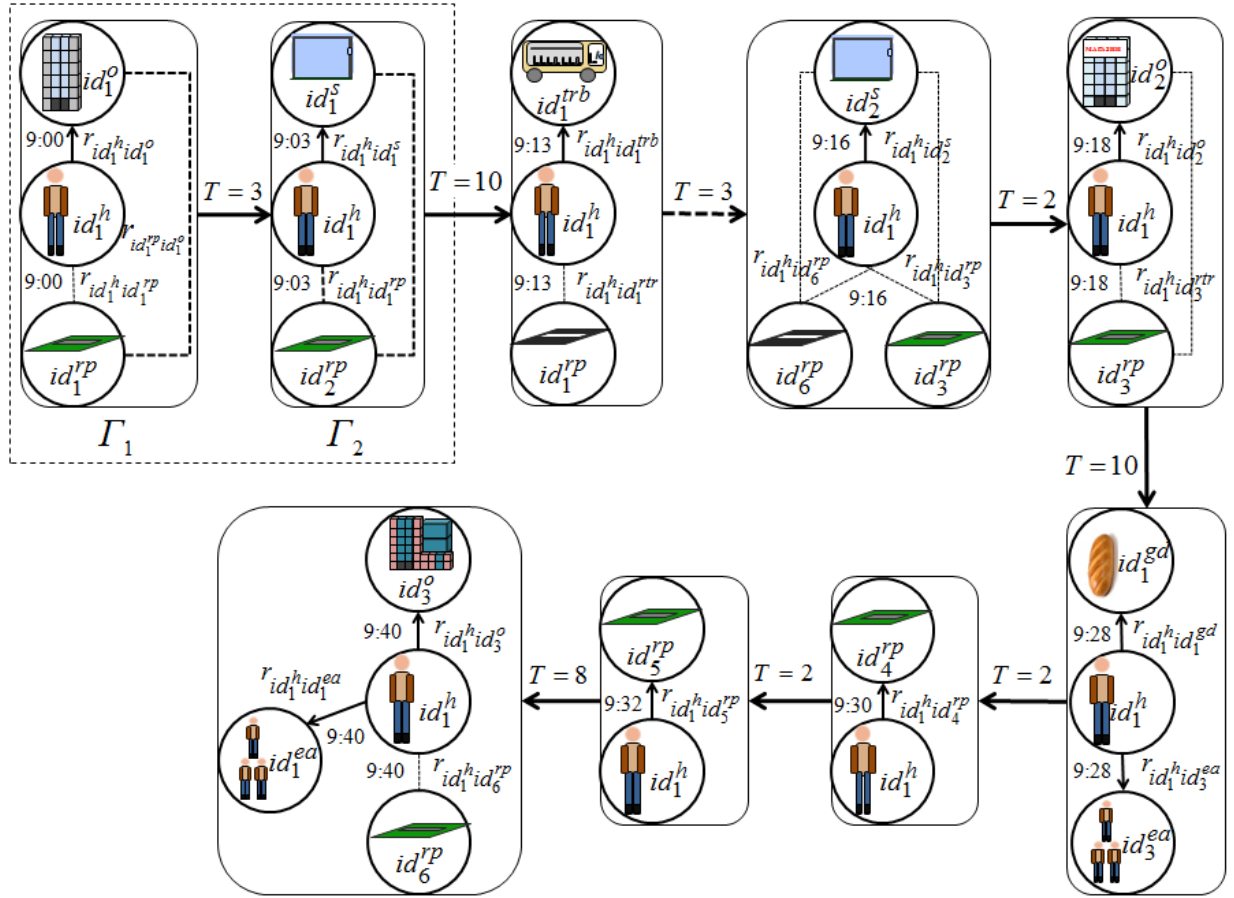


Рисунок 3.14. Динамический агентный граф $B_{id_1^h}^{[9:00-9:40]} = \Gamma_t^{id_1^h} \left(\Gamma_t^{id_1^h} (A; R); T \right)$

пользователя h_α .

Ввиду громоздкости формального представления динамическим агентным графом всего процесса рассмотрим процедуру его упрощенного построения только для вершин Γ_1 и Γ_2 - отношений п. 1 и п. 2 (II).

2) Построение агентного графа расширенных отношений Γ_1 . Граф Γ_1 строится в процессе регистрации отношения $r_{id_1^h id_1^o}$ между пользователем id_1^h и объектом – жилой дом id_1^o через оператор идентификации отношений f_r с образованием графа-регистратора отношений $\Gamma_1^{[r]}$ и последующим наложением квази-транзитивных отношений через оператор $f_{\Leftrightarrow}$, т.е.

$$id_1^h \overset{r_{id_1^h id_1^o}}{\cap} id_1^o \xrightarrow{f_r} \Gamma_1^{[r]} \xrightarrow{f_{\Leftrightarrow}} \Gamma_1$$

Процесс построения графа Γ_1 через промежуточный граф-регистратор отношений $\Gamma_1^{[r]}$ представлен на рисунке 3.15.

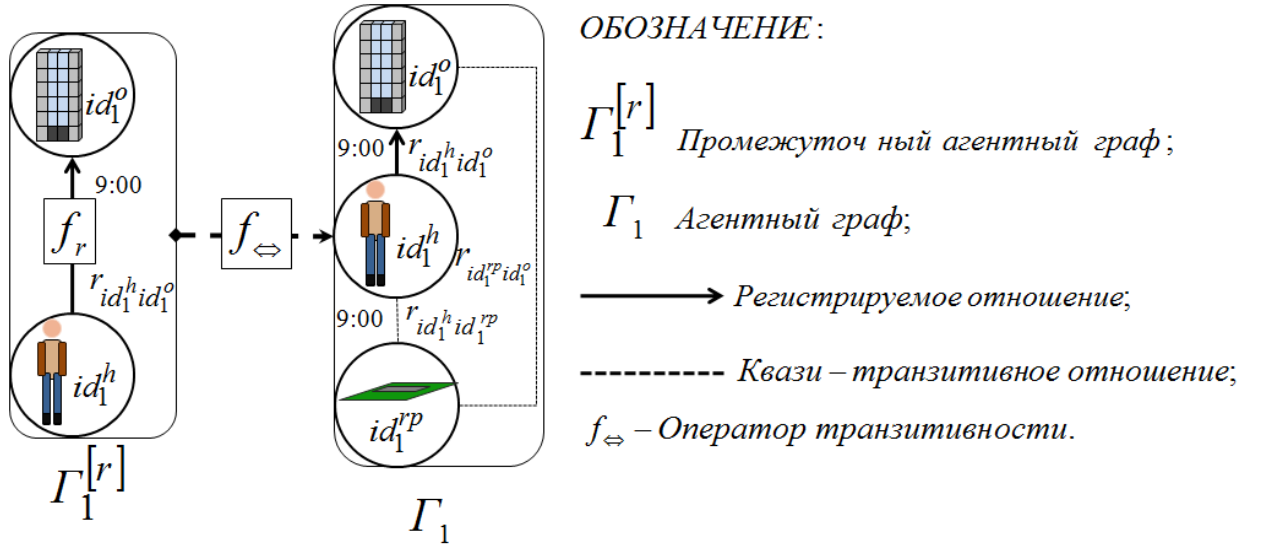


Рисунок 3.15. Процедура построение агентного графа расширенных отношений Γ_1 через граф-регистратор отношений $\Gamma_1^{[r]}$.

Формальное представление графа-регистратора отношений $\Gamma_1^{[r]}$ и агентного графа расширенных отношений Γ_1 через матрицу смежностей имеет следующий вид

$$\Gamma_1^{[r]} = \begin{matrix} & \begin{matrix} id_{\eta}^{\exists_i} / id_{\eta}^{\exists_i} \\ id_1^h \\ id_1^o \end{matrix} & \begin{matrix} id_1^h \\ id_1^o \end{matrix} \\ \begin{matrix} id_1^h \\ id_1^o \end{matrix} & \begin{matrix} - & 1 \\ 1 & - \end{matrix} \end{matrix} \xrightarrow{f_{\Leftrightarrow}} \Gamma_1 = \begin{matrix} & \begin{matrix} id_{\eta}^{\exists_i} / id_{\eta}^{\exists_i} \\ id_1^h \\ id_1^o \\ id_1^{rp} \end{matrix} & \begin{matrix} id_1^h \\ id_1^o \end{matrix} & id_1^{rp} \\ \begin{matrix} id_1^h \\ id_1^o \end{matrix} & \begin{matrix} - & 1 \\ 1 & - \end{matrix} & \begin{matrix} 1 & - \end{matrix} \\ id_1^{rp} & 1 & 1 & - \end{matrix}$$

Переход к размеченному агентному графу Γ_1 осуществляется через функцию разметки, а к взвешенному - через умножение составляющих матрицы смежности на соответствующие веса. Построение графа Γ_2 осуществляется аналогично Γ_1 .

3) Построение динамического агентного графа $\Gamma_{1-2}(\Gamma(A; N); T)$. Динамический агентный граф $\Gamma_{1-2}(\Gamma(A; N); T)$ строится соединением агентных графов расширенных отношений Γ_1 и Γ_2 дугой, исходящей из Γ_1 и входящей в граф Γ_2 , в соответствии с правилом $t_{\Gamma_1} < t_{\Gamma_2}$, а вес дуги равен промежутку времени между соседними актами регистрации отношений $T_{\Gamma_1\Gamma_2} = t_{\Gamma_2} - t_{\Gamma_1}$. Стрелка показывает порядок процесса агентного взаимодействия элементов ГТС (рисунок 3.16).

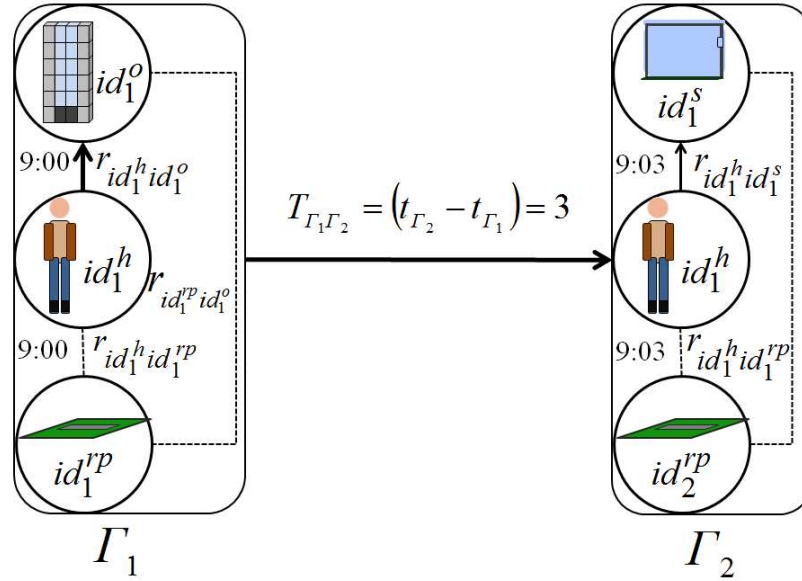


Рисунок 3.16. Динамический агентный граф $\Gamma_{1-2}(\Gamma(A; N); T)$.

Формальное представление динамического агентного графа $\Gamma_{1-2}(\Gamma(A; N); T)$ через матрицу смежностей имеет следующий вид

$$\Gamma_{1-2}(\Gamma(A; N); T) = \begin{array}{c|cc} \Gamma_i / \Gamma_j & \Gamma_1 & \Gamma_2 \\ \hline \Gamma_1 & - & (t_{\Gamma_2} - t_{\Gamma_1}) \\ \Gamma_2 & (t_{\Gamma_2} - t_{\Gamma_1}) & - \end{array}$$

Таким образом, мы последовательно рассмотрели процесс построения динамического агентного графа $B_{id_1^h}^{[9:00-9:40]} = \Gamma_t^{id_1^h}(\Gamma_t^{id_1^h}(A; R); T)$ (рисунок 3.16) для пользователя h_α .

IV. Построим динамический функциональный граф социально-экономического поведения пользователя h_α с номером id_1^h (рисунок 3.16) и параметром $F = \{CL_\zeta, \zeta = 1, 2, 3\} = \{ОКОФ, ОВЭД, ОКП\}$.

1) Динамический функциональный граф социально-экономического поведения пользователя h_α с номером id_1^h построенный по ОКОФ представлен на рисунке 3.17. На графе нанесены объекты транспортной и социальной инфраструктуры, с которыми взаимодействовал пользователь. Классификация пользователей в соответствии с принятыми в РФ классификаторами (ОКЗ, ОКСО и др.) позволяет перейти к классам пользователей, тем самым отходя от персонализации пользователей.

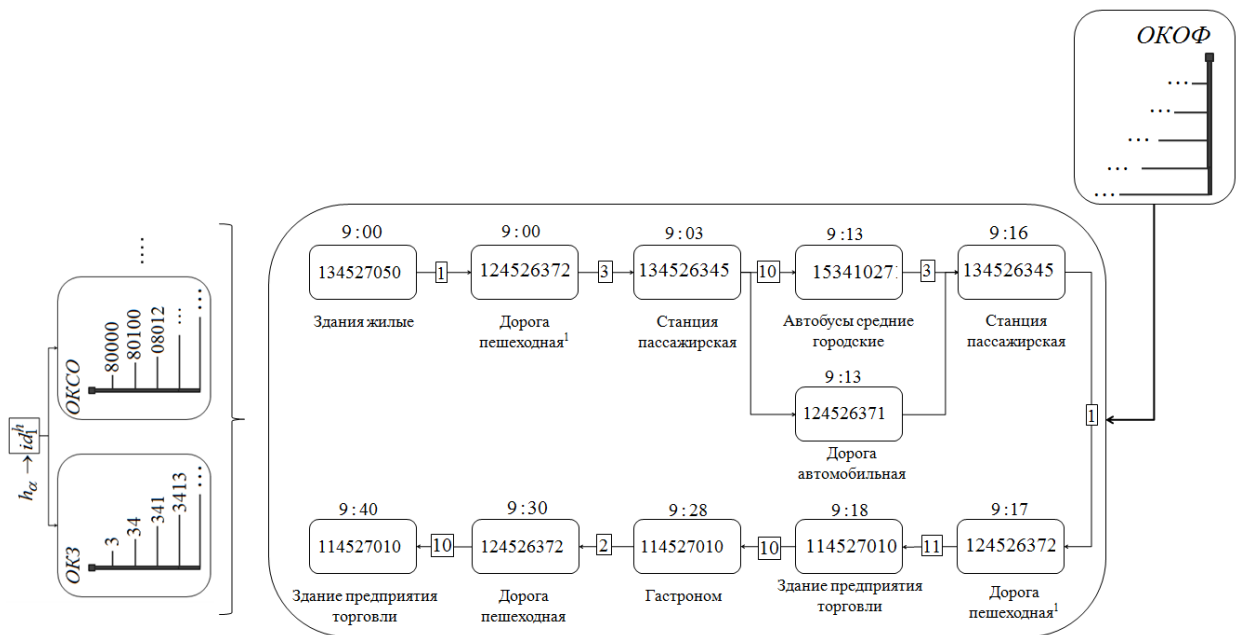


Рисунок 3.17. Динамический функциональный граф социально-экономического поведения пользователя h_α с id_1^h построенный по ОКОФ.

2) Построение динамического функционального графа социально-экономического поведения пользователя h_α с номером id_1^h по ОКВЭД осуществляется аналогично. Данный граф представлен на рисунке 3.18. На графе нанесены субъекты экономической деятельности, с которыми взаимодействовал пользователь.



Рисунок 3.18. Динамический функциональный граф социально-экономического поведения пользователя h_α с id_1^h построенный по ОКВЭД.

3) Построение динамического функционального графа социально-экономического поведения пользователя h_α с id_1^h по ОКП осуществляется аналогично. Данный граф представлен на рисунке 3.19. На графе нанесены продукты, которыми характеризуется потребительская активность пользователя.

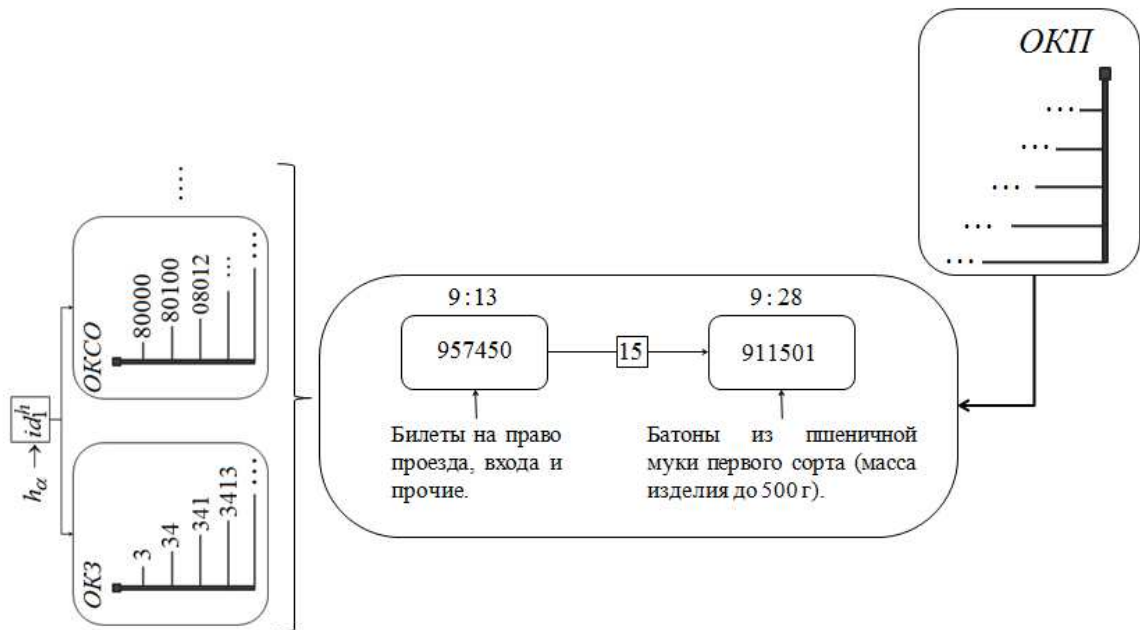


Рисунок 3.19. Динамический функциональный граф социально-экономического поведения пользователя h_α построенный по ОКП.

Таким образом, на практическом примере мы последовательно рассмотрели процесс построения динамического функционального графа.

$$BF_{id_1^h}^{[9:00-9:40]} = \Gamma_t^{id_1^h}(F; T) \Big|_{ОКОФ}, \quad BF_{id_1^h}^{[9:00-9:40]} = \Gamma_t^{id_1^h}(F; T) \Big|_{ОКВЭДб},$$

$$BF_{id_1^h}^{[9:00-9:40]} = \Gamma_t^{id_1^h}(F; T) \Big|_{ОКП}.$$

Предложенный подход к классификации и упорядочиванию социально-экономического поведения городского населения в границах развертываемой Федеральной службой государственной статистики единой системы классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации, единой адресной системы и системы уникальной идентификации субъектов социально-экономической деятельности, а также создаваемых Министерством транспорта РФ интеллектуальных транспортных систем позволит с единых позиций реализовать процесс анализа транспортной мобильности городского населения, а также устанавливать причинно-следственные закономерности функционирования ГТС и механизмы возникновения чрезвычайных ситуаций.

Выводы по главе 3

В ходе проведенных в 3-й главе исследований были получены следующие результаты:

- 1) представлено комплексное решение проблемы структурной упорядоченности неоднородных межагентных отношений в модели ГТС путем совместного использования системы уникальной идентификации субъектов социально-экономической деятельности, единой системы классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации, единой адресной системы, подведомственных Федеральной службе государственной статистике по региону;
- 2) на базе агентной модели ГТС осуществлено построение модели классификации межагентных отношений в городской транспортной системе;

3) предложено классифицировать поведение пользователей и объектов ГТС с использованием расширенной системы классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации;

4) представлен практический пример анализа процесса городской социально-экономической активности пользователя в качестве реализации модели классификации межагентных отношений в городской транспортной системе;

5) показана возможность информационного наполнения модели классификации межагентных отношений в ГТС посредством системы городского транспортно-логистического мониторинга.

В следующей главе рассматриваются методы построения матриц корреспонденций, а также модели распределения городских транспортных потоков и их практические применения.

ГЛАВА 4. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГОРОДСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

4.1. Методы построения матриц корреспонденций

Формирование матрицы корреспонденций (МК) является центральной и наиболее сложной, с математической точки зрения, задачей [21] во всех исследованиях, связанных с количественными, структурными и параметрическими изменениями транспортных потоков городской сети.

Это могут быть различные перемещения пассажиров, грузов или транспорта между любыми парами корреспондирующих пунктов транспортной сети с различными целями. При всем многообразии подходов к формированию таких матриц довольно четко прослеживается разделение их на два больших класса [29,106]: экстраполяционные методы (ЭМ) и вероятностные методы (ВМ).

Модели МК, построенные на ЭМ, носят наименование моделей коэффициентов роста (по наименованию методов) или линейных моделей (по форме записи). На рисунке 4.1 представлен вид МК с принятыми ниже обозначениями.

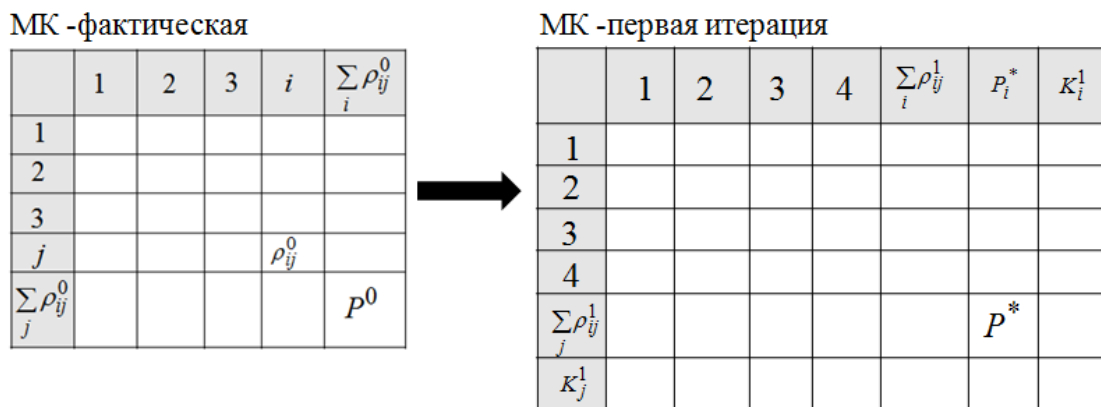


Рисунок 4.1. Матрица корреспонденций.

Экстраполяционные методы формирования МК основаны на данных обследования существующего распределения пассажиропотоков и транспорта между корреспондирующими районами, а прогнозные расчеты МК осуществляются с использованием пропорциональных коэффициентов роста. К ЭМ относят: метод единственного коэффициента роста, метод средних коэффициентов роста, детройтский метод, метод Фратера [128].

Метод единственного коэффициента роста (МЕКР) в качестве исходной информации использует фактические величины корреспонденций между транспортными районами города и прогноз их роста.

Коэффициент роста K определяется как отношение общих прогнозируемых корреспонденций P^* к общим фактическим корреспонденциям P^0 .

$$K = \frac{P^*}{P^0}, \quad (4.1)$$

где «*» - индекс прогнозируемой величины; «0» - индекс фактической величины.

Коэффициент роста K может зависеть от таких показателей, как количество населения (P), величина доход на душу населения (I) и уровень автомобилизации (C), а именно:

$$K = \frac{f(P_i^d, I_i^d, C_i^d)}{f(P_i^c, I_i^c, C_i^c)}, \quad (4.2)$$

Объем прогнозируемых корреспонденций ρ_{ij}^* определяется согласно [13], как произведение количества фактических корреспонденций ρ_{ij}^0 , относящимся к i -тому участку транспортной сети, на коэффициент роста K^0 , т.е.:

$$\rho_{ij}^* = K \cdot \rho_{ij}^0, \quad (4.3)$$

где ρ_{ij}^* - прогнозируемые корреспонденции; ρ_{ij}^0 - фактические корреспонденции.

Метод единственного коэффициента роста (рисунок 4.2) не учитывает динамику развития между отдельными параметрами города, и обладает низкой достоверностью. На практике он используется для приближенных оценок возможных транспортных потоков в условиях проектирования отдельных элементов города на ближайшую перспективу.

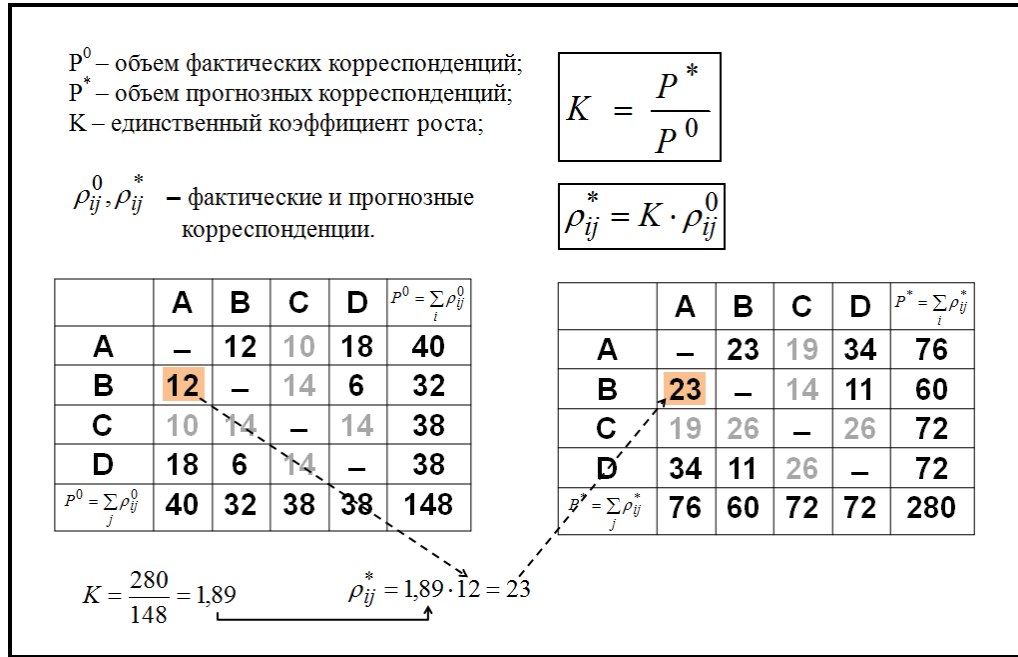


Рисунок 4.2. Метод единственного коэффициента роста.

Метод средних коэффициентов роста (МСКР) основывается на данных обследования фактических корреспонденций между районами.

Средние коэффициенты роста для i -го и j -го транспортных районов рассчитываются на основании общих фактических P_i^0, P_j^0 и общих прогнозируемых P_i^*, P_j^* корреспонденций для i -го и j -го транспортных районов и исчисляются следующим образом:

$$K_i = \frac{P_i^*}{P_i^0}; \quad K_j = \frac{P_j^*}{P_j^0}, \quad (4.4)$$

Объем прогнозируемых корреспонденций ρ_{ij}^1 определяется произведением количества фактических корреспонденций ρ_{ij}^0 и среднего арифметического между K_i и K_j т.е.:

$$\rho_{ij}^1 = \rho_{ij}^0 \frac{(K_i^0 + K_j^0)}{2}, \quad (4.5)$$

где «1» - индекс прогнозируемой расчетной величины на первой итерации.

Поскольку величины корреспонденций, определяемые из соотношения (4.5), как правило, не удовлетворяют следующему равенству,

$$P_i^* = \frac{(K_i^0 + K_j^0)}{2} \sum_i \rho_{ij}^1, \quad (4.6)$$

то для его выполнения необходимо использовать приближенные методы решения. Итерационная форма соотношения (4.6) примет вид:

$$\rho_{ij(i)}^k = \rho_{ij}^{k-1} \frac{(K_i^{k-1} + K_j^{k-1})}{2}, \quad (4.7)$$

где $k, k-1$ - шаги итераций.

Метод средних коэффициентов роста (рисунок 4.3) учитывает различные темпы развития тех или иных районов города, однако, согласно [128,106] при значительном росте подвижности населения, появлении новых жилых массивов или крупных промышленных зон этот метод приводит к большим погрешностям, а потому в проектной практике почти не применяется.



Рисунок 4.3. Метод средних коэффициентов роста.

Детройтский метод (ДМ), в отличие от МСКР, помимо коэффициентов роста отдельных районов учитывает также и коэффициент роста для всего города.

Величина прогнозных корреспонденций определяется как

$$\rho_{ij}^1 = \rho_{ij}^0 \frac{K_i^0 K_j^0}{K^0}; \quad K^0 = \frac{P^*}{P^0}, \quad (4.8)$$

Для соблюдения соответствия между прогнозируемыми и расчетными корреспонденциями прибегают к приближенным методам решений, тогда соотношение (4.8) примет вид

$$\rho_{ij}^k = \rho_{ij}^{k-1} \frac{K_i^{k-1} K_j^{k-1}}{K^0}, \quad (4.9)$$

Детройтский метод (рисунок 4.4) не сложен для расчетов и позволяет получить более высокую точность прогноза, чем МСКР, однако, такой прогноз может значительно отличаться от окончательных корреспонденций, и, как отмечается в [128], это отличие будет тем больше, чем больше отличаются темпы роста отдельного района от города в целом.

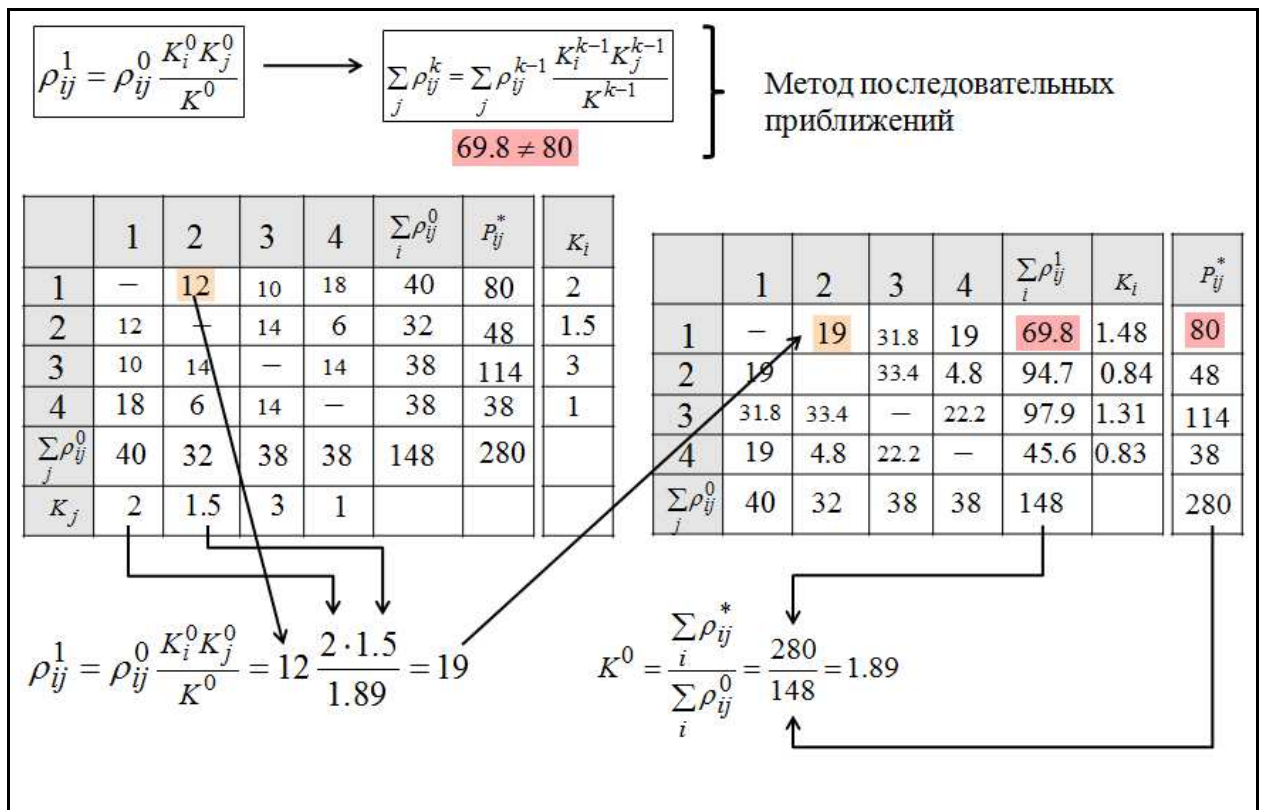


Рисунок 4.4. Детройтский метод.

Метод Фратера (МФ) состоит в том, что объем корреспонденций из i – ой зоны в j – ую для некоторого будущего момента времени считается пропорциональным фактическому объему корреспонденций из i – ой зоны, умноженному на коэффициент развития j – ой зоны, т.е.:

$$\rho_{ij(i)}^1 = \rho_{ij}^0 K_i^0 K_j^0 \left(\frac{L_i^0 + L_j^0}{2} \right), \quad (4.10)$$

где L_i^0, L_j^0 - коэффициенты роста корреспонденций в зоне m , обусловленных развитием i – ой и j – ой зон соответственно,

$$L_i^0 = \frac{\sum_{m=1} \rho_{im}}{\sum_m \rho_{im} K_m}; \quad L_j^0 = \frac{\sum_{m=1} \rho_{jm}}{\sum_m \rho_{jm} K_m}, \quad (4.11)$$

где K_m - коэффициент развития для зоны с номером m , при этом m принимает множество значений, соответствующих всем рассматриваемым зонам.

Метод Фратера также использует итерационный процесс для приближения к окончательному решению.

$$\rho_{ij}^k = \rho_{ij}^{k-1} K_i^{k-1} K_j^{k-1} \left(\frac{L_i^{k-1} + L_j^{k-1}}{2} \right), \quad (4.12)$$

Результаты расчета каждого промежуточного шага являются исходными данными для последующего. Этот процесс ведется до тех пор, пока не будет достигнуто равенство между заранее определенной величиной транспортного оборота района и суммой корреспонденций, полученной в результате расчета для этого района, т.е.:

$$P_i^* = K_j \sum_i \rho_{ij}^1, \quad (4.13)$$

Метод Фратера получил наибольшее распространение среди всех экстраполяционных методов формирования матриц корреспонденций. Трудоемкие расчеты, предусмотренные этим методом, выполняются, как правило, при помощи компьютера. Пример расчета по МФ представлен на рисунке 4.5. Анализ ЭМ представлен в таблице 4.1.

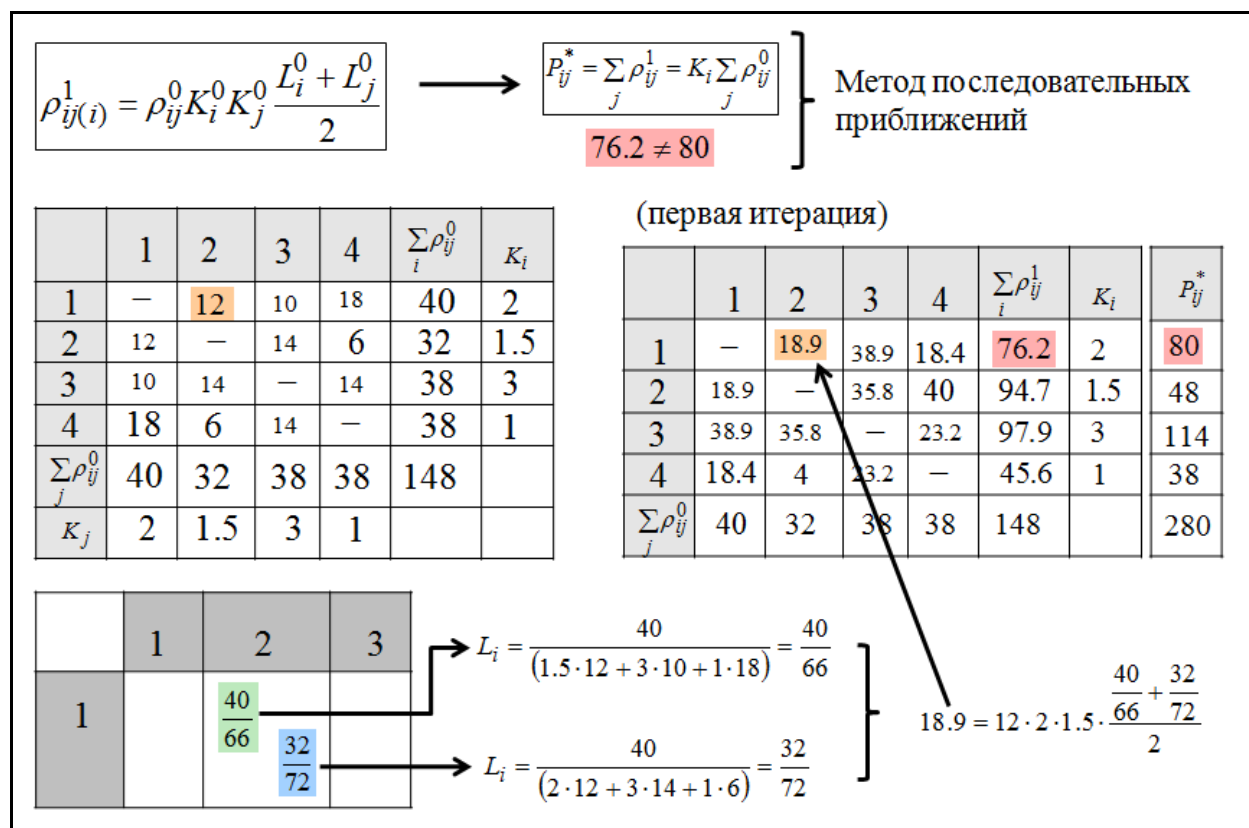


Рисунок 4.5. Метод Фратера.

В практике транспортного моделирования ЭМ широкого распространения не получили по следующим причинам:

- 1) для проведения расчетов ЭМ необходимо иметь информацию о фактических корреспонденциях между транспортными районами города.
- 2) динамика развития структуры города учитывается не адекватно.

Экстраполяционные методы преимущественно используются при низких темпах роста городов и небольших сроках прогноза – не более 5-7 лет.

Таблица.4.1. Экстраполяционные методы (ЭМ) формирования матриц корреспонденций.

№	Наименование метода	Формальное представление	Достоинства	Недостатки
1	Метод единственного коэффициента роста	$K^0 = \frac{P_{ij}^*}{P_{ij}^0};$ $\rho_{ij(i)}^1 = K \rho_{ij}^0$	Интуитивная и вычислительная простота метода. Пригоден для прогнозных оценок ТП на отдельных участках городской сети.	Для калибровки модели требуются данные транспортной статистики. Слабо учитывает динамику развития соотношений между параметрами города.
2	Метод средних коэффициентов роста	$K_i = \frac{P_i^*}{P_i^0}; K_j = \frac{P_j^*}{P_j^0};$ $\rho_{ij(i)}^1 = \rho_{ij}^0 \frac{(K_i^0 + K_j^0)}{2}$ $\rho_{ij(i)}^k = \rho_{ij}^{k-1} \frac{(K_i^{k-1} + K_j^{k-1})}{2}$	1 + учитывают некоторые темпы развития районов города	Не учитывает инфраструктурное развитие города и рост подвижности населения.
3	Детройтский метод	$\rho_{ij}^1 = \rho_{ij}^0 \frac{K_i^0 K_j^0}{K^0};$ $K^0 = \frac{P_{ij}^*}{P_{ij}^0};$ $\rho_{ij}^k = \rho_{ij}^{k-1} \frac{K_i^{k-1} K_j^{k-1}}{K^0}$	2+ учитывает коэффициенты роста для всего города.	Не учитывает диспропорции темпов роста районов и города в целом.

№	Наименование метода	Формальное представление	Достоинства	Недостатки
4	Метод Фратара	$\rho_{ij(i)}^1 = \rho_{ij}^0 K_i K_j \left(\frac{\sum_{m=1} \rho_{im}}{\sum_m \rho_{im} K_m} \right);$ $L_i^0 = \frac{\sum_{m=1} \rho_{im}}{\sum_m \rho_{im} K_m}; L_j^0 = \frac{\sum_{m=1} \rho_{jm}}{\sum_m \rho_{jm} K_m}; L_{ij} = \frac{L_i^0 + L_j^0}{2};$ $\rho_{ij}^k = \rho_{ij}^{k-1} K_i^{k-1} K_j^{k-1} \left(\frac{L_i^{k-1} + L_j^{k-1}}{2} \right).$	3+ метод эффективен при анализе стабильного развития города в течении прогнозного периода.	Не учитывает изменения, происходящие в прогнозный период.

Вероятностные методы формирования матрицы корреспонденций, получили наибольшее распространение в перспективном планировании развития транспорта. Корреспонденции в этом случае определяются на основании эмпирических или теоретических зависимостей двух районов от численности их населения, количества мест приложения труда, условий поездок, размещения районов в плане города и других подобных факторов. Эти методы более глубоко и полно учитывают изменения в размещении жилищных и промышленных образований, транспортной сети, в системе культурно-бытового обслуживания населения и т.д.

К ВМ, согласно [106,21], относят гравитационные модели, энтропийные, модели конкурирующих центров, и др. Анализ ВМ представлен в таблице 4.5.

Гравитационная модель (ГМ) основана на следующем положении: корреспонденция из района i в район j прямо пропорциональна общему объему отправления из центра i , общему объему прибытия в центр j и обратно пропорциональна функции тяготения $f(c_{ij})$, зависящей от удельных расходов $c_{i,j}$ на передвижение из источника i в сток j , т.е.;

$$\rho_{ij}^* = k \frac{s_i \cdot d_j}{f(c_{i,j})}, \quad (4.14)$$

где ρ_{ij}^* - потенциальные корреспонденции между районами i и j , k - калибровочный коэффициент, s_i - общий объем пользователей выезжающих из источника i , $i \in S$; d_j - общий объем пользователей въезжающих в сток j , $d_j \in S$; $f(c_{i,j})$ - функция тяготения, зависящая от удельных расходов $c_{i,j}$ на передвижение из источника i в сток j .

При этом предполагается выполнение условия баланса общего прибытия и отправления:

$$\sum_{j=1}^n \rho_{i,j} = s_i, \quad \sum_{i=1}^m \rho_{i,j} = d_j, \quad \rho_{i,j} \geq 0, \quad i \in S, \quad j \in D, \quad (4.15)$$

где $\rho_{i,j}$ - расчетные корреспонденции между районами i и j .

Перепишем выражение (4.14) в виде:

$$\rho_{ij}^* = \alpha_i \cdot \beta_j \cdot s_i \cdot d_j \cdot f(c_{i,j}), \quad i \in S, \quad j \in D, \quad (4.16)$$

где α_i, β_j калибровочные коэффициенты, которые определяются как:

$$\alpha_{i,j} = \left[\sum_{j \in D} \beta_j \cdot d_j \cdot f(c_{i,j}) \right]^{-1}, \quad \beta_{i,j} = \left[\sum_{j \in D} \alpha_j \cdot s_j \cdot f(c_{i,j}) \right]^{-1}, \quad (4.17)$$

Система (4.17) является совместной в случае равенства суммарных потоков по въезду и выезду, т.е.

$$\sum_{i \in S} s_i = \sum_{j \in D} d_j,$$

Функция тяготения $f(c_{i,j})$ подбирается на основе расчетных данных и данных транспортной статистики. Коэффициенты α_i, β_j определяются методом балансировки Шацкого-Шелейховского [21].

В [21] описана итерационная процедура расчета матрицы корреспонденций. Итерационная процедура начинается с расчета матрицы:

$$\rho_{ij}^{k+1} = \rho_{ij}^k + q_i r_j f(c_{ij}) \left[\sum_{l \in D} r_l f(c_{il}) \right]^{-1}, \quad (4.18)$$

и каждая итерация метода состоит из последовательности следующих операций:

$$\rho_{ij}^k = \begin{cases} \rho_{ij}^k d_j \left[\sum_{i \in S} \rho_{ij}^k \right]^{-1}, & \text{если } \sum_{i \in S} \rho_{ij}^k > d_j \\ \rho_{ij}^k, & \text{в противном случае} \end{cases}$$

$$q_i = s_i - \sum_{j \in D} \rho_{ij}^k, \quad r_j = d_j - \sum_{i \in S} \rho_{ij}^k, \quad (4.19)$$

$$\rho_{ij}^{k+1} = \rho_{ij}^k + q_i r_j f(c_{ij}) \left[\sum_{l \in D} r_l f(c_{il}) \right]^{-1}$$

Вычислительные эксперименты по расчету матрицы корреспонденций согласно [106], показали высокую скорость сходимости процесса (4.18), (4.19) к искомой матрице корреспонденций.

К преимуществам традиционной гравитационной модели можно отнести доступность исходной информации и простоту выполнения расчетов.

В качестве недостатка следует отметить то, что существующий вариант реализации не является строго обоснованным с математической точки зрения, поскольку расчетная формула только отражает общие связи между параметрами модели, но не гарантирует полной аналогии корреспонденций между транспортными районами города. Центры прибытия ТП рассматриваются изолированно от возможных альтернативных центров.

Учет требования неотрицательности корреспонденций влечет за собой перевод задачи по определению элементов матрицы корреспонденций из разряда задач оптимизации при ограничениях в виде равенств в разряд задач

математического программирования. Это требует привлечения к ее решению прямых методов оптимизации.

Энтропийный метод (ЭнМ) моделирования городских систем можно назвать одним из главных направлений «школы математического моделирования». В основе алгоритмов, реализующих энтропийную модель, лежит принцип достижения равновесия в исследуемой системе [21]. Энтропийный метод является своеобразным аналогом второго закона термодинамики и исходит из вероятностного описания поведения пользователей сети.

Руководствуясь принципом максимизации энтропии, будем искать значения корреспонденций $\rho_{i,j}$ как максимум функции $P(\rho)$ вероятности состояния системы, зависящей от матрицы корреспонденций $\rho = \{\rho_{i,j} : i \in S, j \in D\}$.

В результате последовательных преобразований [128,106] наиболее вероятное состояние транспортной системы будет соответствовать матрице корреспонденций, вида

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \rho_{i,j} \frac{v_{i,j}^{\rho_{ij}}}{\rho_{i,j}} \rightarrow \max, \quad (4.20)$$

где $v_{i,j}^{\rho_{ij}}$ - вероятность выбора индивидуумом коммуникации $\rho_{i,j}$.

Условие сбалансированности матрицы корреспонденций:

$$\sum_{j=1}^n \rho_{i,j} = s_i, \quad \sum_{i=1}^m \rho_{i,j} = d_j, \quad \rho_{i,j} \geq 0, \quad i \in S, j \in D, \quad (4.21)$$

Ограничение на общие затраты при проезде:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{i,j} \cdot \rho_{i,j} = C, \quad (4.22)$$

где $c_{i,j}$ - удельные затраты на передвижения из источника i в сток j , а C - полные затраты в транспортной системе.

Разрешения модели (4.20) - (4.22) осуществляется с использованием итерационной схемы [21], начиная с матрицы $\rho^0 = (\rho_{ij}^0 = v_{ij} : i \in S, j \in D)$ на

каждой итерации метода попеременно достигается выполнение балансовых ограничений для выездов и въездов:

$$\rho_{i,j}^k = \rho_{i,j}^{k-1} s_i \left[\sum_{j \in D} \rho_{i,j}^{k-1} \right]^{-1}; \rho_{i,j}^k = \rho_{i,j}^{k-1} d_j \left[\sum_{i \in S} \rho_{i,j}^{k-1} \right]^{-1}, \quad (4.23)$$

В работе [21,128] доказана сходимость процесса (4.23) к оптимальному решению задачи (4.20) - (4.22).

Энтропийно-гравитационная модель (ЭГМ) позволяет вывести условия эквивалентности гравитационного и энтропийного методов. Руководствуясь сведениями, представленными в [21,106] и, учитывая ограничения (4.21), (4.22), запишем функцию Лагранжа в следующем виде:

$$L(\rho, \lambda, \mu, \gamma) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[\rho_{i,j} \ln \frac{v_{i,j}}{\rho_{i,j}} + \lambda_i (S_i - \rho_{i,j}) + \mu_j (d_j - \rho_{i,j}) + \gamma (C - c_{i,j} \rho_{i,j}) \right] \rightarrow \max, \quad (4.24)$$

где $\lambda = \{\lambda_i : i \in S\}$ - вектор двойственных переменных, удовлетворяющий балансовым ограничениям (4.21) для мест отправления; $\mu = \{\mu_j : j \in D\}$ - вектор двойственных переменных, удовлетворяющий балансовым ограничениям (4.21) для стоков; γ - двойственная переменная, удовлетворяющая ограничению по затратам (4.22).

Точка максимума функции (4.24) должна соответствовать условиям (4.21), (4.22) и системе уравнений [21]:

$$\ln \frac{v_{i,j}}{\rho_{i,j}} - 1 - \lambda_i - \mu_j - \gamma \cdot c_{i,j} = 0 \quad i \in S, \quad j \in D, \quad (4.25)$$

Из отношения (4.25) выразим корреспонденции:

$$\rho_{i,j} = v_{i,j} \exp(-1 - \lambda_i - \mu_j - \gamma \cdot c_{i,j}), \quad (4.26)$$

Обозначим:

$$\alpha_i = \frac{\exp(-1 - \lambda_i)}{s_i}, \quad \beta_j = \frac{\exp(-\mu_j)}{d_j}, \quad (4.27)$$

С учетом (4.27) выражение (4.26) примет вид:

$$\rho_{i,j} = \alpha_i \cdot \beta_j \cdot s_i \cdot d_j \cdot v_{i,j} \exp(-\gamma \cdot c_{i,j}), \quad (4.28)$$

Параметры α_i и β_j определим, подставив выражение (4.28) в (4.21):

$$\alpha_i = \left[\sum_{j \in D} \beta_j \cdot d_j \cdot v_{i,j} \exp(-\gamma \cdot c_{i,j}) \right]^{-1}, \quad \beta_j = \left[\sum_{i \in D} \alpha_i \cdot s_i \cdot v_{i,j} \exp(-\gamma \cdot c_{i,j}) \right]^{-1}, \quad (4.29)$$

Параметр γ определяется различными способами калибровки модели [21, 128].

Сопоставив выражение энтропийной модели (4.28) с гравитационной моделью (4.16), мы приходим к заключению, что отличие между ними состоит в аналитическом задании функции притяжения $f(c_{i,j})$. В случае $f(c_{i,j}) = v_{i,j} \exp(-\gamma \cdot c_{i,j})$ гравитационная и энтропийная модели эквивалентны.

В рамках задачи максимизации энтропии может быть также осуществлен расчет корреспонденций с одновременным расщеплением по типам передвижений [21,99,100].

Достоинством ЭнМ является нахождение наиболее вероятного устойчивого состояния системы при независимом поведении пользователей.

Основным недостатком ЭнМ является замкнутость ТП внутри рассматриваемой сети, тем самым, учет в модели транзитных потоков сопряжен с вводом дополнительных ограничений, что приводит к росту размерности модели.

Модель конкурирующих центров. Модели данного вида можно рассматривать как обобщения гравитационной модели, где в выражение (4.16) включаются дополнительные факторы, например индекс посещаемости района прибытия, определяемый формулой

$$I_{ij} = \sum_{l \in R, l \neq i, j} \frac{d_l}{tr_{lj}}, \quad (4.30)$$

Индекс посещаемости увеличивается по мере приближения рассматриваемого района к альтернативным районам отправления. Введение этого фактора в модель позволяет моделировать агломерационные эффекты в структуре корреспонденций [128,129].

Трилинейная модель (на основе теории вероятности Байеса). В современных системах моделирования городских транспортных процессов широкое

применение получили трилинейные модели. Трилинейная модель [149] одновременно дает формальное представление процессов создания, распределения и разделения транспортного потока. В трилинейной модели объем транспортного потока из мест района отправления в места района прибытия рассчитывается на основе демографических и структурных показателей, а также степени подвижности, известной в результате статистических исследований характера передвижений населения. Расчет производится отдельно для каждого слоя спроса.

Группы «место отправление - место прибытия» – это дезагрегированные, однородные по поведению транспортные классы (таблица 4.2), выведенные из цепочки активностей (последовательности перемещений).

Каждое перемещение, направленное на определенное действие, относится к определенным категориям источников (Д-дом) и целей (Р-работа) и, таким образом, к соответствующей группе место отправления - место прибытия (Д-Р).

Таблица 4.2. Группы транспортных классов

Цель Источник	К	Р	Д	У	С	Т	До	П
Квартира (К)		КР(1)	КД(1)	КУ(1)	КС(1)	КТ(1)	КДо(1)	КП(1)
Работа (Р)	РК	—	РП(1)					
Детское учреждение (Д)	ДК	ПР(2)	ПП(3)					
Учебное заведение (У)	УК							
Служебное заведение (С)	СК							
Торговое учреждение (Т)	ТК							
Учреждение досуговой деятельности (До)	ДоК							
Прочее учреждение (П)	КП							

С «создаваемой стороны» к группе «источник-цель» относится как минимум одна базовая группа населения и со «стороны притяжения» - как минимум одна величина структуры. Например, к группе источник-цель Д-Р (Дом-

Работа) со стороны источника относится основная базовая группа населения «Трудящиеся».

Таблица 4.3. Свойства структуры и группы людей в слоях спроса

Слой спроса	Свойство структуры /Группа района источника i	
$DStr_c$	$SG_{i(j)s}$	
ДР (WA)	T(ET)	Трудящиеся
ДДет (WK)	МД(КК)	Маленькие дети
ДШ (WB)	Ш(SCH)	Школьники, обучающиеся в ПТУ, студенты
ДС (WD)	T(ET)	Трудящиеся
ДМ (WE)	Ж(EW)	Жители
ДСвоб (WF)	Ж(EW)	Жители
ДП (WS)	Ж(EW)	Жители
РП (AS)	РМ(B)	Рабочие места
РД (AW)	РМ(B)	Рабочие места
ДетД (KW)	РММД(ККЕ)	Рабочие места/места в детских садах
ШД (BW)	РММШ(КВ)	Рабочие места/места в школах
СД (DW)	РМ(B)	Рабочие места
МД (EW)	РМТ/ТП(ВН/КН)	Рабочие места в торговле/торговая площадь
СвобД (FW)	РМ/МО(ВФ/КФ)	Рабочие места/места в кинотеатрах, кафе и прочих местах отдыха
СД (DW)	РРМ(BS)	Прочие места
ПР (SA)	РРМ(BS)	Прочие места
ПП (SS)	РРМ(BS)	Прочие места
ДР (WA)	РМ(B)	Рабочие места
ДДет (WK)	РММД(ККЕ)	Рабочие места/места в детском саду
ДШ (WB)	РММШ(КВ)	Рабочие места/места в школах
ДС (WD)	РМ(B)	Рабочие места
ДМ (WE)	РМТ/ТП(ВН/КН)	Рабочие места в торговле/торговая площадь
ДСвоб (WF)	РМ/МО(ВФ/КФ)	Рабочие места/места в кинотеатрах, кафе и прочих местах отдыха
ДП (WS)	РРМ(BS)	Прочие рабочие места
РП (AS)	РРМ(BS)	Прочие рабочие места
РД (AW)	T(BT)	Трудящиеся
ДетД (KW)	МД(КК)	Маленькие дети
ШД (BW)	Ш(B)	Школьники, обучающиеся в ПТУ, студенты
СД (DW)	T(BT)	Трудящиеся
МД (EW)	Ж(EW)	Жители
СвобД (FW)	Ж(EW)	Жители
СД (DW)	Ж(EW)	Жители
ПР (SA)	РМ(B)	Рабочие места
ПП (SS)	РРМ(BS)	Прочие рабочие места

Указанные в таблице 4.3. группы могут быть разделены на подгруппы по дополнительным признакам и использоваться для создания транспортного спроса.

Таким образом, процесс классификации городского населения по слоям спроса выглядит следующим образом:

каждой паре «место-отправление «(i)-место-прибытия-(j)», отражающей определенный слой спроса $DStr_c$ из множества $DStr_c \in DStr$, оператор классификации f_{ψ}^d ставит в соответствие свойство структуры $SG_{i(j)s}$ из множества $SG_{i(j)}$, отражающее этот слой спроса:

$$f_{\psi}^d : DStr_c \rightarrow SG_{i(j)s}, \quad (4.31)$$

Для каждого слоя спроса и для каждой группы людей, которая используется в данном слое, должны быть определены степени подвижности (MR). Степень подвижности группы определяется как среднее количество перемещений в день на человека:

$$MR_{pc} = \frac{\text{Количество произведенных в СлСпр передвижений в группе } p}{\text{Количество людей в группе } p} \quad (4.32)$$

На этапе создания транспортного движения из приведенных данных социальной структуры населения и характеристик для всех слоев спроса рассчитывается объем транспортного потока из источника Q_{ic} и объем транспортно потока в цель Z_{jc} или верхние границы $Q_{ic}^{\max}$ и $Z_{jc}^{\max}$ для этих объемов.

Метод расчета зависит от того, к какому типу источника-цели относится данная пара действий слоя спроса. Этот тип указывает, является ли для данной пары действие на месте зарождения действием источника или действием цели. Возможны три типа:

- Тип 1: действие источника = действие на месте зарождения;
- Тип 2: действие цели = действие на месте зарождения;
- Тип 2: действие источника действие цели $\neq$ действию на месте зарождения.

Правила проведения расчета представлены в таблице 4.4. Для типа 1 и 2 расчет начинается с определения объема транспортного потока на месте зарождения (исходя из количества людей, степени подвижности, доли области исследования), который приходится на район места зарождения независимо от направления поездки. При типе 1 это количество перемещений точно соответствует объему транспортного потока из источника, при типе 2 - объему транспортного потока в цель соответствующего района. При типе 1 общий объем транспортных потоков из источника (сумма по всем районам) распределяется на районы цели, пропорционально их потенциалам (которые выводятся из свойств структуры, степеней создания и доли области исследования для данных районов цели). То же самое происходит при типе 2.

Общий объем транспортных потоков в цель распределяется на районы источника пропорционально их потенциалам. При типе 3 общий объем потоков также рассчитывается из суммы объемов транспортных потоков на месте зарождения, однако, определяющим при этом являются параметры районов места зарождения, которые не обязательно должны совпадать с источниками или целями пути. Затем общий объем потоков распределяется пропорционально потенциалу, с одной стороны, на районы источника, с другой стороны, на районы цели.

Таблица 4.4. Создание транспортного движения в трилинейной модели.

1. Модель создания транспортного движения в модели EVA: тип источник - цель1.	
1 этап	Объем транспортного потока на месте зарождения H: $H_{epc} = MR_{epc} BP_{ep} u_{epc}; H_{ec} = \sum_{p \in P} MR_{epc} BP_{ep} u_{epc}$
2 этап	Объем транспортного потока из источника Q, QMax $Q_{ic} = H_{ic}$
3 этап	Общий объем потоков V $V_c = \sum_{i=1}^m Q_{ic}; f_c = \frac{V_c}{\sum_{l=1}^n \sum_{s \in S} ER_{lsc} SG_{ls} v_{lsc}}$
4 этап	Объем транспортного потока в месте назначения Z, ZMax

Таблица 4.4. Создание транспортного движения в трилинейной модели.

	$Z_{jc} = f_c \sum_{s \in S} ER_{jsc} SG_{js} v_{jsc}; Z_{jc} \leq Z_{jc}^{\max} = \sum_{s \in S} ER_{jsc}^{\max} SG_{js} v_{jsc};$ $\hat{Z}_{jc} = \sum_{s \in S} ER_{jsc}^{\max} SG_{js} v_{jsc}; \underline{Z}_{jc} \hat{Z}_{jc} \leq Z_{jc} \leq \bar{Z}_{jc} \hat{Z}_{jc};$ $Z_{jc}^{pot} = \sum_{s \in S} ER_{jsc} SG_{js} v_{jsc}$
2. Модель создания транспортного движения в модели EVA: тип источник - цель2	
1 этап	Объем транспортного потока на месте зарождения H: $H_{epc} = MR_{epc} BP_{ep} u_{epc}; H_{ec} = \sum_{p \in P} MR_{epc} BP_{ep} u_{epc}$
2 этап	Объем транспортного потока в месте назначения Z, ZMax $Z_{jc} = H_{jc}$
3 этап	Общий объем потоков V $V_c = \sum_{j=1}^m Z_{jc}; f_c = \frac{V_c}{\sum_{l=1}^n \sum_{s \in S} ER_{isc} SG_{ls} v_{isc}}$
4 этап	Объем транспортного потока из источника Q, QMax $Q_{ic} = f_c \sum_{s \in S} ER_{isc} SG_{is} v_{isc}; Q_{ic} \leq Q_{ic}^{\max} = \sum_{s \in S} ER_{isc}^{\max} SG_{is} v_{isc};$ $\hat{Q}_{ic} = \sum_{s \in S} ER_{isc}^{\max} SG_{is} v_{isc}; \underline{Q}_{ic} \hat{Q}_{ic} \leq Q_{ic} \leq \bar{Q}_{ic} \hat{Q}_{ic};$ $Q_{ic}^{pot} = \sum_{s \in S} ER_{isc} SG_{is} v_{isc}$
3. Модель создания транспортного движения в модели EVA: тип источник - цель3	
1 этап	Объем транспортного потока на месте зарождения H: $H_{epc} = MR_{epc} BP_{ep} u_{epc}; H_{ec} = \sum_{p \in P} MR_{epc} BP_{ep} u_{epc}$
2 этап	Общий объем потоков V $V_c = \sum_{e=1}^m H_{ec};$

Таблица 4.4. Создание транспортного движения в трилинейной модели.

3 этап	Объем транспортного потока из источника Q, QMax $Q_{ic} = \frac{\sum_{s \in S} ER_{isc} SG_{is} v_{isc}}{\sum_{l=1}^n \sum_{s \in S} ER_{lsc} SG_{ls} v_{lsc}} V_c;$ Объем транспортного потока в месте назначения Z, ZMax $Z_{jc} = \frac{\sum_{s \in S} ER_{jsc}^{\max} SG_{js} v_{jsc}}{\sum_{l=1}^n \sum_{s \in S} ER_{lsc} SG_{ls} v_{lsc}} V_c$
--------	---

Обозначения в таблице 4.4: *e* - индекс района причины перемещений (район места зарождения); *i* - индекс района источника перемещений; *j* - индекс района цели перемещений; *s* - индекс свойства структуры; *p* - индекс группы; *c* - индекс слоя спроса; *m* - количество районов в области исследования; MR_{epc} - степень подвижности группы *p* за единицу времени; ER_{isc} - степень создания свойства структуры *s* за единицу времени; BP_{ep} - количество людей в группе *p*; *SG* - свойство структуры; u_{epc} - доля перемещений, реализованных в области исследования как внутренне транспортное движение; v_{isc} - доля свойств структуры, действительная для внутреннего транспортного движения в области исследования; H_{epc} - объем транспортных потоков на месте зарождения для группы *p*; H_{ec} - общий объем транспортных потоков на месте зарождения; Q_{ic} - объем транспортных потоков из источника; Z_{jc} - объем транспортных потоков в цель; $Q_{ic}^{\max}$ - максимально возможный объем транспортных потоков из источника; $Z_{jc}^{\max}$ - максимальный возможный объем транспортных потоков в цель; $\underline{Q}_{ic}, \bar{Q}_{ic}$ - фактор нижней или верхней границы объема транспортного потока из источника; $\underline{Z}_{jc}, \bar{Z}_{jc}$ - фактор нижней или верхней границы объема транспортного потока в цель; Q_{ic}^{pot} - потенциально возможный объем транспортного потока в источнике;

Z_{jc}^{pot} - потенциально возможный объем транспортного потока в цели; V_c - общий объем потока; фактор который учитывает соблюдение балансового условия $V = \sum_i Q_i = \sum_j Z_j$ при расчете объемов транспортных потоков районов.

Данная модель опирается на Байесовскую вероятность. Постулируется принцип формирования потока: перемещение пользователя h начинается в транспортном районе i , заканчивается в транспортном районе j и при этом используется транспортное средство k .

С помощью A_i, E_j, M_k обозначаются события о том, что перемещение начинается в транспортном районе i , заканчивается в транспортном районе j при этом используется транспортное средство k .

Предполагается, что эти события происходят независимо друг от друга, тогда безусловные вероятности $P(A_i), P(E_j), P(M_k)$ можно представить, как

$$P(A_i) = \frac{s_i}{\mathfrak{P}} \phi_{s_i}; \quad P(E_j) = \frac{d_j}{\mathfrak{P}} \phi_{d_j}; \quad P(M_k) = \frac{tr_k}{\mathfrak{P}} \phi_{tr_k}, \quad (4.33)$$

где $\phi_{s_i}, \phi_{d_j}, \phi_{tr_k}$ - калибровочные коэффициенты, определяемые эмпирическим или расчетным путем, содержащие информацию о предпочтении перемещений.

Условные вероятности из создания транспортного потока примут вид

$$P(A_i|W) = \frac{s_i}{\mathfrak{P}}; \quad P(E_j|W) = \frac{d_j}{\mathfrak{P}}; \quad P(M_k|W) = \frac{tr_k}{\mathfrak{P}}, \quad (4.34)$$

где $\mathfrak{P} = \sum_i s_i$ - общий поток транспорта

Таким образом, для всех i, j, k определены условные вероятности наступления события W , в виде:

$$L_{ijk} = P(W | (A_i \cap E_j \cap M_k)), \quad (4.35)$$

или не наступления события $\bar{W}$, в виде:

$$\bar{L}_{ijk} = P(\bar{W} | (A_i \cap E_j \cap M_k)) = 1 - L_{ijk}, \quad (4.36)$$

Из предположения о том, что ТП $\rho_{i,j,k}$ пропорциональны условным вероятностям $P(\overline{W}|(A_i \cap E_j \cap M_k))$ следует что,

$$\rho_{i,j,k} = P\left(\left(A_i \cap E_j \cap M_k\right) \middle| W\right) \cdot \mathcal{P} = \frac{P(A_i)P(E_j)P(M_k)P(\overline{W}|(A_i \cap E_j \cap M_k))}{\sum_{i'} \sum_{j'} \sum_{k'} P(A_{i'})P(E_{j'})P(M_{k'})P(\overline{W}|(A_{i'} \cap E_{j'} \cap M_{k'}))} \cdot \mathcal{P} \quad (4.37)$$

Вероятность может быть квантифицирована с помощью установок, которые можно проверить эмпирическим путем.

Базовая трилинейная модель (рисунок 4.6) с условиями контрольных сумм транспортных корреспонденций задается следующим образом:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l \rho_{i,j,k} = s_i, \quad (4.38)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^l \rho_{i,j,k} = d_j, \quad (4.39)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \rho_{i,j,k} = tr_k, \quad (4.40)$$

$$\rho_{i,j,k} = L_{i,j,k} \phi_{s_i} \phi_{d_j} \phi_{tr_k}, \quad (4.41)$$

где $L_{i,j,k}$ - вероятность оценки.

Данная модель позволяет с высокой степенью достоверности оценить величину транспортного предложения и транспортного спроса. Достоинством модели является возможность учитывать данные геоинформационных систем и систем учета статистических данных. В модели используется список специфических классов поведенческой активности населения [152] и классов транспортных средств, что делает возможным описывать поведение городского населения в границах пассажирского и служебного транспорта.

Трилинейная модель

s_i Источник зарождения
транспортного потока

d_j Сток поглощения
транспортного потока

tr_k Тип транспортного средства

tr_k	Метро	Троллейбус	Автобус	Трамвай	Маршрутка	Водный транспорт	Личный транспорт	Σs_i
s_i								
s_1	ρ_{11}	ρ_{12}	ρ_{13}	ρ_{14}	ρ_{15}	ρ_{16}	ρ_{17}	
s_i								
Σtr_k								

d_j	d_1	d_2		d_j	Σs_i
s_i					
s_1	ρ_{11}	ρ_{12}		ρ_{1j}	
s_i					
Σd_j					

tr_k	Метро	Троллейбус	Автобус	Трамвай	Маршрутка	Водный транспорт	Личный транспорт	Σd_j
d_j								
d_1	ρ_{11}	ρ_{12}	ρ_{13}	ρ_{14}	ρ_{15}	ρ_{16}	ρ_{17}	
d_j								
Σtr_k								

Рисунок 4.6. Матрицы корреспонденций трилинейной модели.

К недостаткам данной модели можно отнести невозможность учета грузового транспорта, неподвижного транспорта, объектов социальной и транспортной инфраструктуры. Абстрактная система классификации транспортной активности городского населения не позволяет производить анализ транспортной активности в границах системы государственной статистики РФ. Моделирование спроса на транспорт ограничивается одновременным рассмотрением этапов создания, распределения и разделения транспортного потока без учета его перераспределения [152]. В модели затруднена реализация обратной связи с участниками транспортного процесса.

Несмотря на перечисленные недостатки, трилинейная модель наиболее адекватно отражает транспортное поведение участников и будет взята нами в качестве базовой модели распределения городских транспортных потоков.

Таблица. 4.5. Вероятностные методы формирования матриц корреспонденций.

№	Наименование модели	Формальное представление	Достоинства	Недостатки
1	Гравитационная модель $\rho_{i,j} = k \frac{s_i \cdot d_j}{f(c_{i,j})}$ $\rho_{i,j} \geq 0, \quad i \in S, j \in D$	$\rho_{i,j} = \alpha_i \cdot \beta_j \cdot s_i \cdot d_j \cdot f(c_{i,j})$ $\sum_{j=1}^n \rho_{i,j} = s_i, \quad \sum_{i=1}^m \rho_{i,j} = d_j, \quad \sum_{i \in S} s_i = \sum_{j \in D} d_j = R$ $\alpha_{i,j} = \left[\sum_{j \in D} \beta_j \cdot d_j \cdot f(c_{i,j}) \right]^{-1}, \quad \beta_{i,j} = \left[\sum_{j \in D} \alpha_j \cdot s_j \cdot f(c_{i,j}) \right]^{-1}$ $\rho_{ij}^{k+1} = \rho_{ij}^k + q_i r_j f(c_{ij}) \left[\sum_{l \in D} r_l f(c_{il}) \right]^{-1}$	Доступность исходной информации, простота выполнения расчетов.	Центры прибытия ТП рассматриваются изолированно от альтернативных центров. Низкая достоверность модели - расхождения с реальным процессом могут достигать 100% (например, в районах с низкой транспортной активностью).
2	Энтропийная модель $S = - \sum_i \sum_j v_{ij} \ln v_{ij}$ $v_{ij} = \frac{\rho_{ij}}{\sum_i \sum_j \rho_{ij}}$ $\sum_i \sum_j v_{ij} = 1$	$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \rho_{i,j} \frac{v_{i,j}^{\rho_{i,j}}}{\rho_{i,j}} \rightarrow \max$ $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{i,j} \cdot \rho_{i,j} = C; \quad \sum_{i \in S} s_i = \sum_{j \in D} d_j$ $\rho_{i,j}^k = \rho_{i,j}^{k-1} s_i \left[\sum_{j \in D} \rho_{i,j}^{k-1} \right]^{-1}; \quad \rho_{i,j}^k = \rho_{i,j}^{k-1} d_j \left[\sum_{i \in S} \rho_{i,j}^{k-1} \right]^{-1}$	Возможность нахождения наиболее вероятного устойчивого состояния системы при независимом поведении пользователей	Замкнутость ТП внутри сети делает трудноразрешимой задачу учета транзитных потоков

№	Наименование модели	Формальное представление	Достоинства	Недостатки
3	Энтропийно-гравитационная (3) ↔ (1)	$\rho_{i,j} = \alpha_i \cdot \beta_j \cdot s_i \cdot d_j \cdot v_{i,j} \exp(-\gamma \cdot c_{i,j})$ $\alpha_i = \left[\sum_{j \in D} \beta_j \cdot d_j \cdot v_{i,j} \exp(-\gamma \cdot c_{i,j}) \right]^{-1}$ $\beta_j = \left[\sum_{i \in D} \alpha_i \cdot s_i \cdot v_{i,j} \exp(-\gamma \cdot c_{i,j}) \right]^{-1};$ $f(c_{i,j}) = v_{i,j} \exp(-\gamma \cdot c_{i,j})$	Эластичность модели (возможность перехода от ЭнМ к ГМ, посредством изменения функции притяжения) расширяет горизонт прогнозирования.	Ограничение на замкнутость ТП внутри сети делает трудноразрешимой задачу учета транзитных потоков.
4	Модель конкурирующих центров	$I_{ij} = \sum_{l \in R, l \neq i, j} \frac{d_l}{tr_{lj}}$	Доступность исходной информации, простота выполнения расчетов. Позволяет учитывать агломерационные эффекты в структуре корреспонденций.	Достоверность модели не высока и зависит от достоверности эмпирических данных.
5	Трилинейная модель	$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l \rho_{i,j,k} = s_i$ $\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^l \rho_{i,j,k} = d_j$ $\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \rho_{i,j,k} = tr_k$ $\rho_{i,j,k} = L_{i,j,k} \phi_{s_i} \phi_{d_j} \phi_{tr_k}$	Одновременно учитывает процессы создания, распределения и разделения транспортного потока. Достоверность модели выше чем у (1-4).	Достоверность модели зависит от достоверности эмпирических данных.

4.2. Разработка достоверной модели распределения транспортных потоков

В основу модели распределения ГТП положим временные модели цепочек дневной активности городского населения. Тогда, согласно (2.16)- (2.19) поведение каждого пользователя в ГТС можно представить выражением, вида

$$B_t^{h_i}(TS) = \Gamma_t^{h_i} \left(\left(\Gamma_t^N(V;E) \cup \Gamma_t^T(V;E) \cup \Gamma_t^{IS}(V;E) \right); T \right) \cup \Gamma_t^{TS/h_i}(\Gamma_t(V;E); T), \quad (4.42)$$

где $\Gamma_t^{h_i} \left(\left(\Gamma_t^N(V;E) \cup \Gamma_t^T(V;E) \cup \Gamma_t^{IS}(V;E) \right); T \right)$ - граф социально-экономической активности пользователя h_i ; $\Gamma_t^N(V;E)$ - граф потребительской активности пользователя h_i ; $\Gamma_t^T(V;E)$ - граф транспортной активности пользователя h_i ; $\Gamma_t^{IS}(V;E)$ - граф информационно-сетевой активности пользователя h_i ; $\Gamma_t^{TS/h_i}(\Gamma_t(V;E); T)$ - контрольный граф обратной связи объектов ГТС с пользователем h_i .

В качестве эталонных цепочек дневной активности для каждого пользователя выбираются наиболее вероятные цепочки на интервале 1 мес. с учетом дня недели. Тогда эталонный поведенческий граф транспортного процесса, обусловленного поведением всего городского населения $H = \{h_i; i = 1, N\}$ имеет следующий вид:

$$\bigcup_{i=1}^N \bar{\Gamma}_t^{h_i} \left(\left(\Gamma_t^N(V;E) \cup \Gamma_t^T(V;E) \cup \Gamma_t^{IS}(V;E) \right); T \right) = \bigcup_{(ts/h)_i} \bar{\Gamma}_t^{(ts/h)_i} \left(\Gamma_t^{(ts/h)_i} (A_{h_i}^{TF}; R); T \right), \quad (4.43)$$

где $\bar{\Gamma}_t^{h_i}$ - усредненная цепочка дневной активности $\Gamma_t^{h_i}$ пользователя h_i на интервале 1 мес; $\bar{\Gamma}_t^{(ts/h)_i}$ - усредненный контрольный граф обратной связи пользователя h_i на интервале 1 мес.

Социально-экономическая активность городского населения функционально упорядочивается через систему РСКК ТЭИ, в соответствии с (3.13)-(3.17). Тем самым, происходит качественный переход от абстрактных классов транспортной активности в смысле [152] к расширенной системе классификации и кодирования технико-экономической и социальной

информации, позволяющей функционально формализовать социально-экономическое поведение городского населения. Переход из одной системы классификации в другую можно формально представить следующим образом:

$$\left[f_{\psi}^d : DStr_c \rightarrow SG_{i(j)}s \right] \Rightarrow \left[f_{\psi}^d : B_t(TS) \rightarrow BF_t(TS) \equiv \Gamma_t(CLe; T) \right], \quad (4.44)$$

где $CLe \in [PCKKTЭСИ]$.

Восстановление достоверных матриц корреспонденций и построение динамического агентного графа социально-экономического поведения пользователей осуществляется посредством использования СГТЛМ через регистрацию процесса городской мобильности пользователей ГТС.

Построенная в соответствии с условиями (4.43) и (4.44) модель распределения транспортных потоков называется достоверной.

В достоверную модель распределения транспортных потоков укладывается трилинейная модель (2.31)-(2.39), которая является ядром программного пакета PTV Vision®.

Основное отличие предлагаемой методики транспортного моделирования от существующей на сегодняшний день заключается в том, что она обеспечивает:

- 1) возможность создания примыканий в автоматическом режиме с использованием информации, полученной от СГТЛМ;
- 2) возможность интеграции модели классификации межагентных отношений с РСККТЭСИ, отражающей процесс структурного и функционального анализа транспортной мобильности городского населения;
- 3) расширение и уточнение существующей системы классификации OGZ⁴ [152], до настоящего момента лишь поверхностно отражающей поведенческие цепи активности городского населения;
- 4) повышение точности транспортных прогнозов на краткосрочный, среднесрочный и долгосрочный периоды.

Транспортное моделирование является эффективным инструментом планирования в области организации движения ТП, обусловленных

⁴ OGZ - Quelle-Ziel-Gruppe -(нем) Группы источник-Цель [152].

организационными, инфраструктурными и иными изменениями городской транспортной среды.

В функциональном операторном базисе СУ ГТС, рассмотренном нами выше, переход к операторам планирования и регулирования возможен лишь при срабатывании оператора измерения. Последнее определяет место транспортного моделирования в последовательности операций управления ГТС. Данная последовательность операций имеет следующий вид:

- 1) регистрация СГТЛМ данных о СЭА городского населения;
- 2) передача СГТЛМ данных о СЭА городского населения в городские хранилища данных;
- 3) накопление и сохранение данных о СЭА городского населения;
- 4) автоматическая обработка данных о СЭА городского населения (классификация, обобщение и статистическая обработка), построение динамических агентных графов, динамических функциональных графов, восстановление достоверных матриц корреспонденций;
- 5) определение набора регулирующих воздействий на ГТС;
- 6) моделирование транспортных ситуаций с использованием эталонно-поведенческой модели;
- 7) выбор оптимального регулирующего воздействия на ГТС;

В случае расхождения прогнозных и реальных параметров поведения ГТС, после реализации искомого регулирующего воздействия цикл транспортного моделирования необходимо повторить.

Обобщенная модель управления, реализуемая функциональным операторным базисом СУ ГТС, представлена на рисунке 4.7. Транспортное моделирование осуществляется в блоке «ПЛАНИРОВАНИЕ».

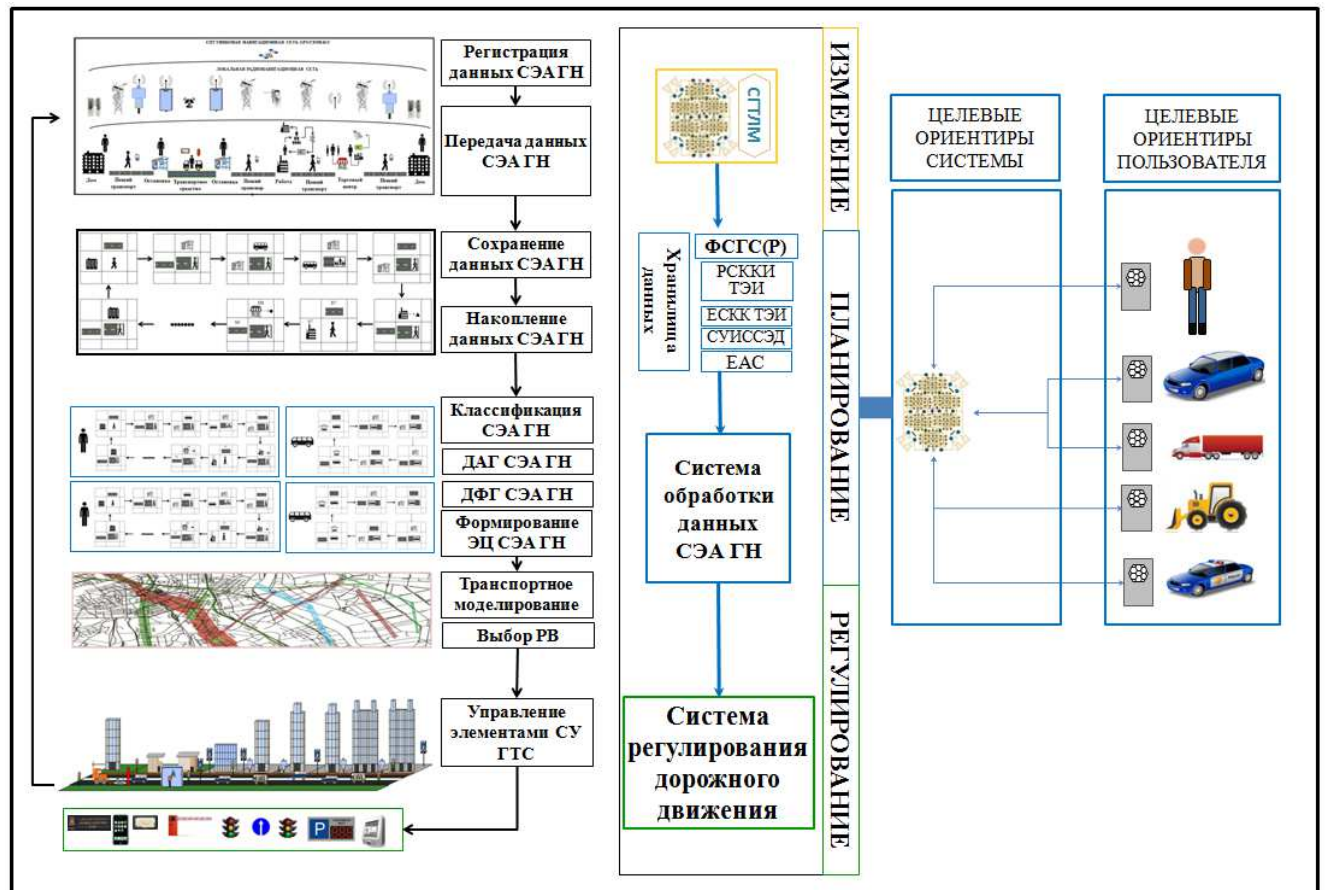


Рисунок 4.7. Обобщенная модель управления городскими транспортными потоками.

Теперь перейдем к рассмотрению практической реализации достоверной модели распределения транспортных потоков.

4.3. Разработка информационно-логической модели распределения транспортных потоков

В качестве примера рассмотрим модель распределения транспортных потоков на улично-дорожной сети Санкт-Петербурга и внутренней сети метрополитена с вводом новых станций метрополитена: «Адмиралтейская», «Обводный канал», «Бухарестская» и «Международная».

Разработка моделей распределения транспортных потоков на улично-дорожной сети Санкт-Петербурга и внутренней сети метрополитена осуществлена в программе PTV Vision® VISUM. В настоящем разделе рассмотрены 3 модели.

Первая модель отражает ситуацию до ввода новых станций метро. Вторая модель включает в себя две новые станции метро «Адмиралтейская » и «Обводный канал». Третья модель включает в себя еще две новые станции метро «Международная» и «Бухарестская».

В качестве исходных данных использовались:

- 1) городская базовая транспортная модель ГОПТ Санкт-Петербурга 2009г (380 транспортных района, 4400 примыканий, 32000 узлов, население 4650 тыс.чел) ;
- 2) план Фрунзенского и Центрального районов;
- 3) общие сведения об исследуемых районах (жилые, торговые, учебные, промышленные и иные общественные здания и сооружения) ;
- 4) данные статистики (сведения о населении, о трудоспособном населении, о рабочих местах, о рабочих местах в сфере услуг);
- 5) данные транспортных структур (типы дорог, среднегодовая суточная интенсивность, пропускная способность в час) ;
- 6) транспортная статистика (расписания и маршруты общественного транспорта).

Построение информационно-логической модели транспортного процесса разберем на примере ввода станций метро «Бухарестская» и «Международная».

Зонирование Фрунзенского района для этого сценария изображено на рисунке 4.8. Связь района с сетью осуществляется через примыкания. (виртуальные отрезки) его центра тяжести к узлам транспортной сети. Примыкания представляют собой виртуальной отрезки, через которые осуществляется генерация и поглощение транспортных потоков данным районом.

Если сеть содержит малое количество транспортных районов, то ставить примыкания ко всем остановкам не целесообразно. Если построить примыкания ко всем остановкам, то остановки, которые располагаются на большем удалении от центров тяжести района не получают практически никакого распределения пешеходов, т.к. путь до такой остановки невыгоден исходя из затрат времени. Т.е.

на них практически будет отсутствовать нагрузка, что не соответствует действительности.



Рисунок 4.8. Зонирование Фрунзенского района для сценария с вводом станций «Бухарестская» и «Международная».

Схема транспортных районов с примыканиями, для сценария с вводом станций «Бухарестская» и «Международная» приведена на рисунке 4.9. Следующим пунктом при создании модели является вставка и редактирование остановок и маршрутов.

Остановка - это конкретное местоположение остановки одной или нескольких линий общественного транспорта (ОТ). Она может находиться в сети ОТ на узле или на отрезке.

Каждая остановка может включать несколько зон остановок, а зона — пунктов остановки. Например, остановка станции метро «Проспект Ветеранов» включает зоны остановки у каждого входа в метро и саму станцию, а также пункты остановки для разных видов транспорта: автобусов, троллейбусов, метро.

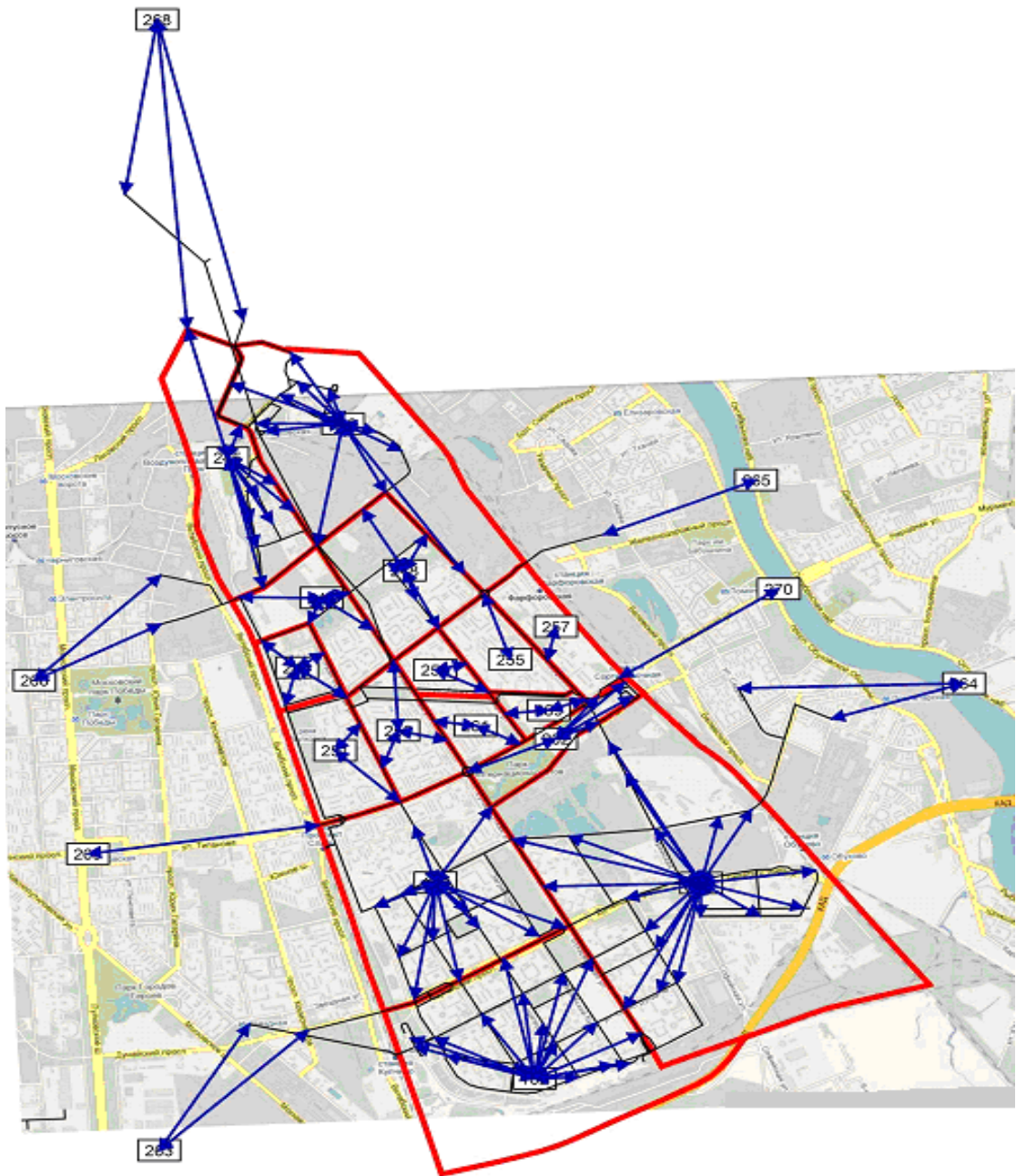


Рисунок 4.9. Транспортные районы с примыканиями для сценария с вводом станций «Бухарестская» и «Международная».

Маршрут - это один либо несколько вариантов маршрута, которые могут отличаться местопрохождением по маршруту, либо по расписанию.

Варианты маршрута определяют пространственный путь маршрута одного направления и его остановки.

Для каждого варианта маршрута задается расписание движения.

Расписание движения – сведения о времени, месте и последовательности выполнения рейсов по маршруту.

В модели рассматривались маршруты городского пассажирского транспорта: автобусные, троллейбусные, трамвайные.

Схема района с введенными новыми станциями «Бухарестская» и «Международная» представлена на рисунке 4.10, а главная транспортная схема Санкт-Петербурга представлена на рисунке 4.11.

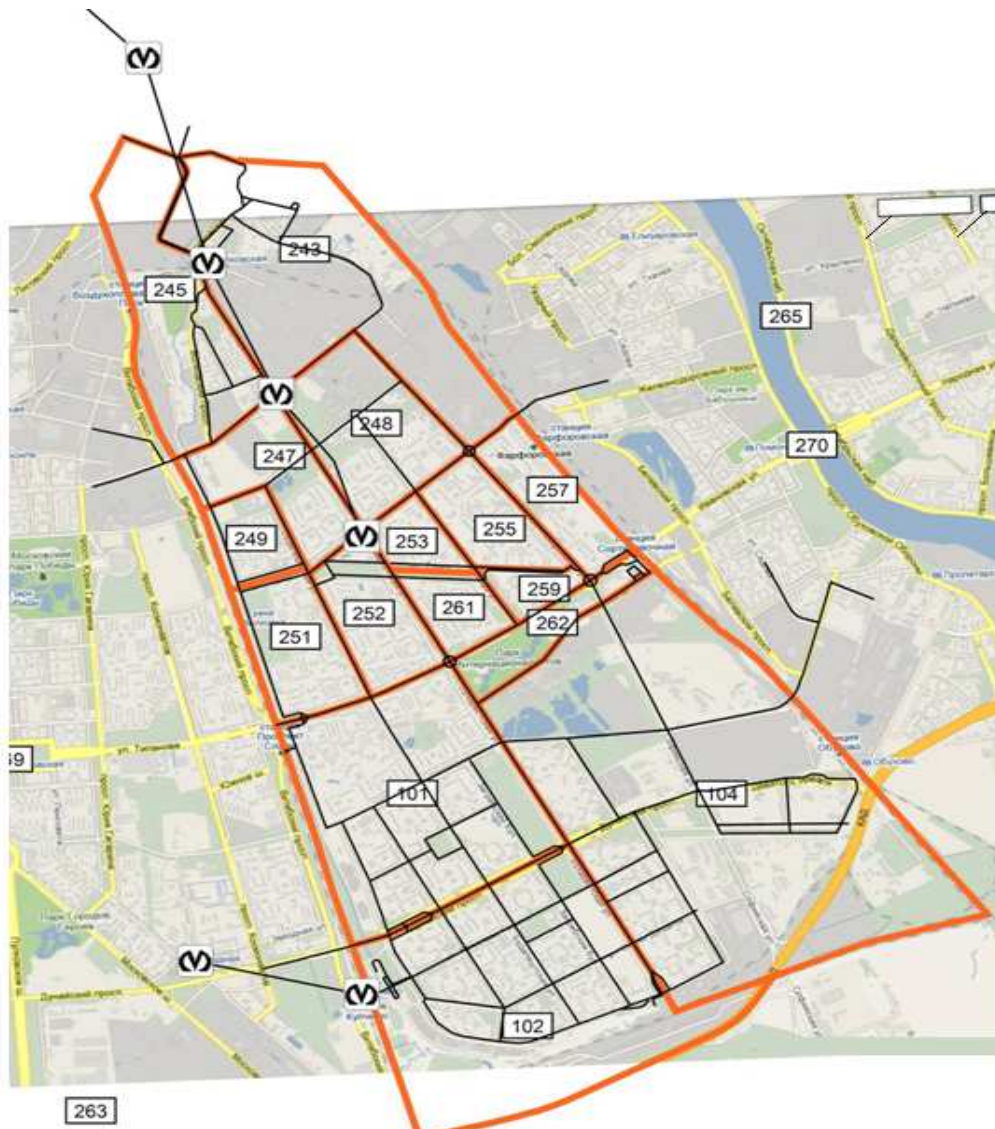


Рис.4.10. Схема Фрунзенского района с введенными станциями «Бухарестская» и «Международная»



Рис.4.11. Главная транспортная схема Санкт-Петербурга.

Разработка информационно-логической модели для сценария ввода станций метро «Адмиралтейская » и «Обводный канал» осуществляется аналогично.

На этом создание транспортной модели заканчивается и можно приступить к процедурам прогнозного моделирования транспортных потоков.

Расчет спроса на транспорт выполнен с помощью программы PTV Vision® VISUM.

Данные спроса заносятся в матрицу пассажирских корреспонденций. Матрица сетевых корреспонденций строится после определения нагрузки на транспортную сеть. В этой матрице отмечается корреспонденция пассажиров от одного микрорайона до другого.

Таким образом, на основе рассчитанных моделей нами была получена модель взаимодействия транспортного спроса и предложения: она рассчитывает перераспределение транспортных потоков – выбор конкретного пути следования – на основе существующей сети с заданными параметрами и данными об источниках, целях и количестве перемещений. Это позволяет графически анализировать результаты.

Промежуточные результаты разберем на примере сценария ввода станций «Международная» и «Бухарестская».

Промежуточная модель взаимодействия транспортного спроса и предложения для Фрунзенского района, построенная на основе рассчитанных матриц пассажирских корреспонденций, представлена на рисунке 4.12, а промежуточная модель сравнения на рисунке 4.13.

На основании промежуточных результатов уже можно сделать вывод, что спрос на новых станциях метро составит более 40 тыс. человек в сутки.

Промежуточная модель взаимодействия транспортного спроса и предложения для Центрального района - сценарий ввода станций метро «Адмиралтейская » и «Обводный канал» производится аналогично.

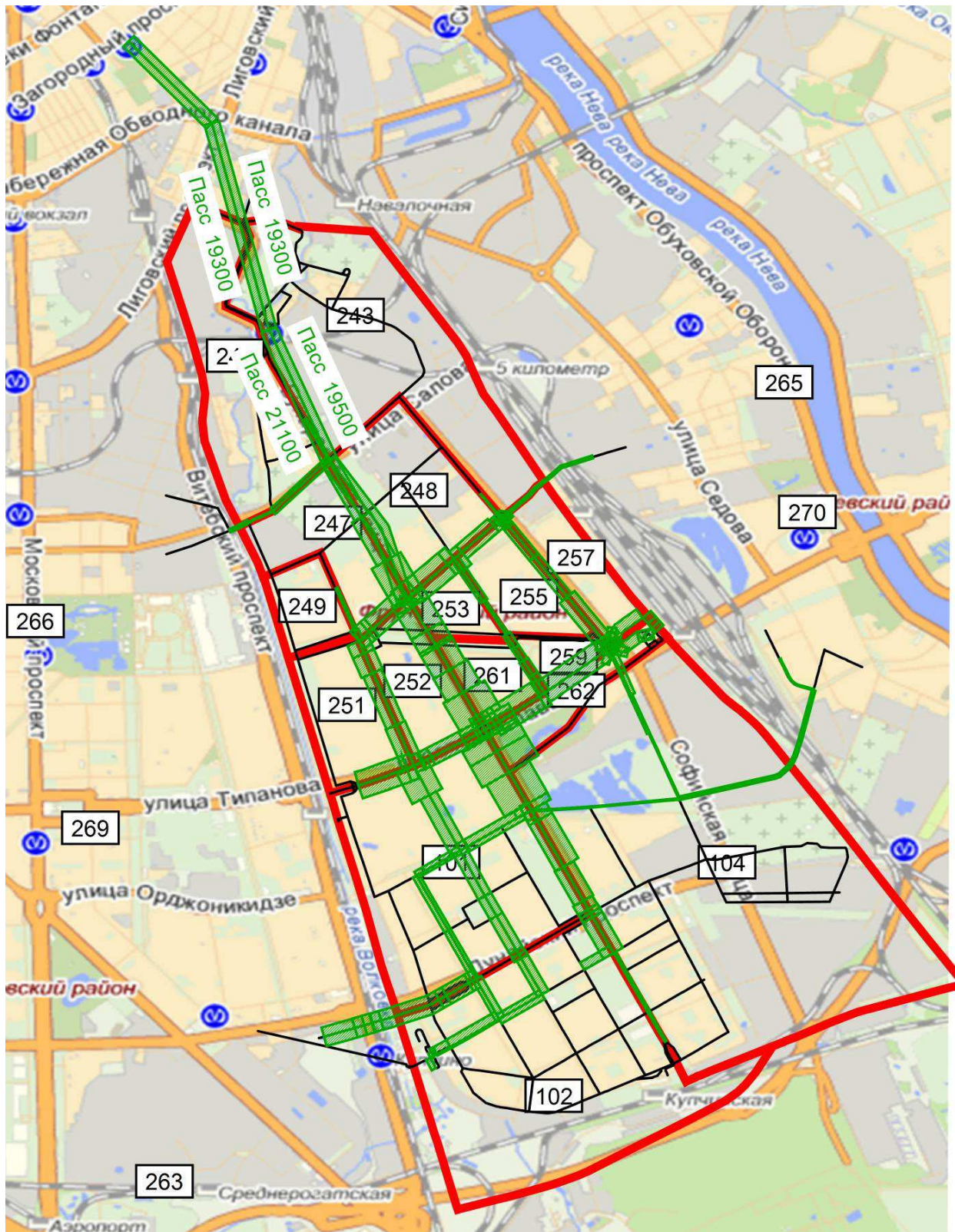


Рисунок 4.12. Промежуточная модель взаимодействия транспортного спроса и предложения для Фрунзенского района для сценария ввода станций «Международная» и «Бухарестская», пасс./сутки

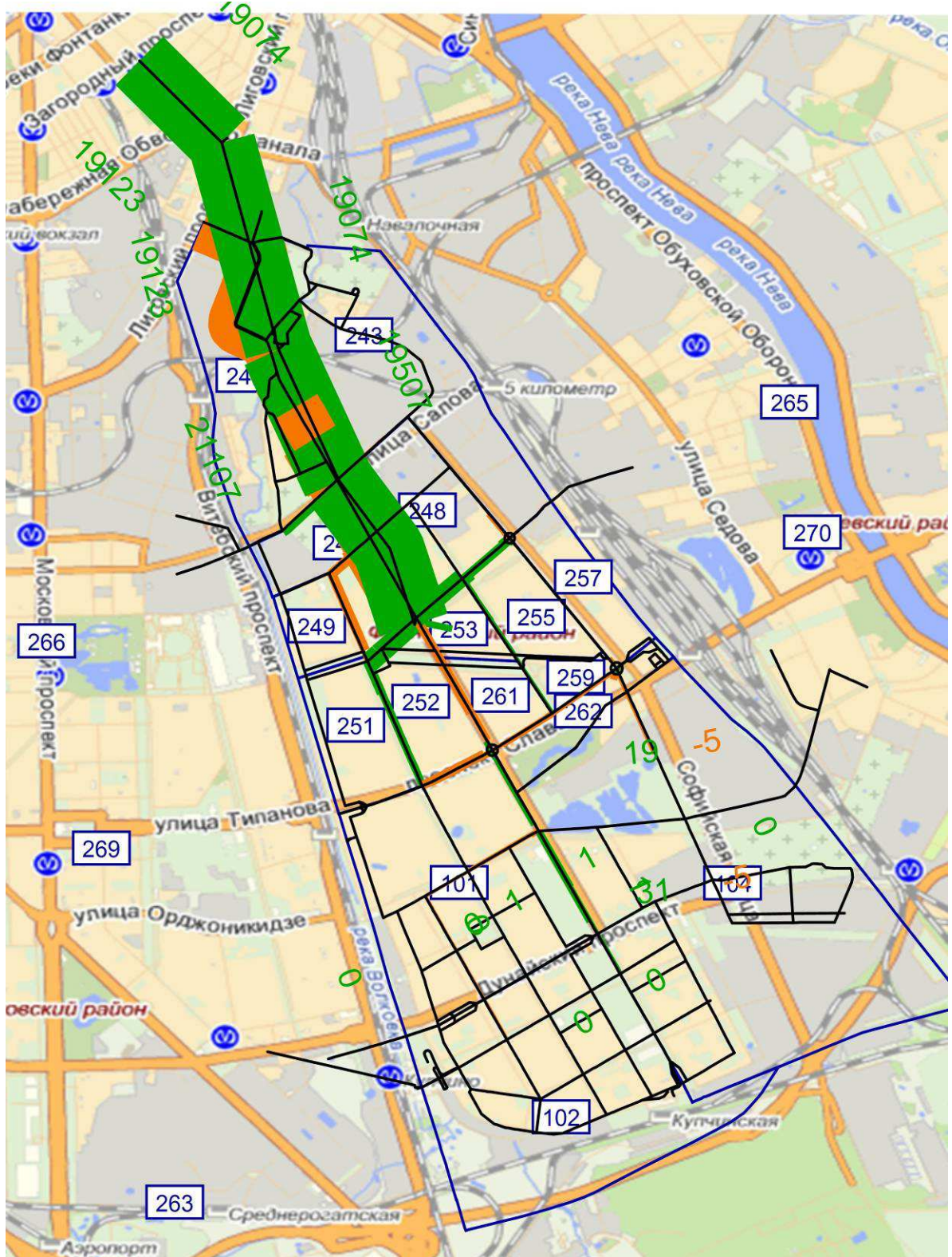


Рисунок 4.13. Промежуточная модель сравнения для Фрунзенского района прогнозной и текущей моделей, разница пасс/сутки.

Основные результаты прогноза распределения транспортных потоков на УДС Санкт-Петербурга и внутренней сети метрополитена по рассмотренным выше сценариям получим в результате моделирования всей транспортной модели Санкт-Петербурга.

Для наглядности результаты расчета представим в виде укрупненных диаграмм-схем с нанесенной нагрузкой пасс/сутки и сводных таблиц.

Результаты расчета представлены в Приложении.

4.4. Анализ результатов моделирования

Проанализируем полученные в результате программного моделирования результаты, которые представлены в Приложении.

1. Ввод станций Адмиралтейская и Обводный канал вызовет следующие изменения:

- на внутренней сети метрополитена

Минимальный пассажиропоток на станции «Адмиралтейская» после ее ввода составит не менее чем 22000 чел/сут, а на станции «Обводный канал» не менее 27000 чел/сут.

На величину более 2000 пас/сут снизится нагрузка на станции: «Василеостровская» (2160), «Пионерская» (2047), «Садовая» (2145), «Маяковская» (2239).

На величину более 5000 пас/сут снизится нагрузка на станции: «Невский проспект-1» (7770), «Лиговский проспект» (8284), «Площадь Восстания-1» (5950);

Вследствие перераспределения пассажиропотоков на величину более 2000 пас/сут возрастет нагрузка на станции «Комендантский проспект» (2978), «Спортивная» (4117), «Сенная площадь» (2040), «Волковская» (3651);

На величину более 5000 пас/сут возрастет нагрузка на станции: «Звенигородская» (5916), «Спасская» (7872)

- на улично-дорожной сети Санкт-Петербурга

На величину более 1000 пас/сут снизится нагрузка на следующие улицы: Салова (1300 пас/сут), Лиговский проспект (1100 пас/сут), Витебский проспект (2300 пас/сут), наб. Обводного канала (1000 пас/сут), Заневский проспект (1000 пас/сут), Большой проспект В.О. и Наличную улицу (900 пас/сут).

На величину более 2000 пас/сут снизится нагрузка на улицы: Дворцовую набережную, Троицкий мост (в обоих направлениях) и Каменоостровский проспект (2100 пас/сут), наб. Робеспьера, Литейный проспект и Литейный мост (в обоих направлениях) и Лесной проспект (2000 пас/сут).

На величину более 1000 пас/сут возрастет нагрузка: по всему Витебскому проспекту до железнодорожного переезда (1000 пас/сут), по Невскому проспекту в сторону моста Александра Невского (1100 пас/сут), на Малый проспект В.О. (1100 пас/сут), по Невскому проспекту от пересечения с Лиговским проспектом до улицы Садовой (1800 пас/сут).

На величину более 2000 пас/сут возрастет нагрузка на Бухарестскую ул, Дворцовый мост, Биржевой мост, набережную Макарова и проспект Добролюбова (от 2000 пас/сут).

В соответствии с полученными результатами были сформулированы следующие предложения по транспортному обслуживанию Центрального района.

Целесообразно создать транспортную развязку между Васильевским островом и Петровской набережной посредством строительства Кронверкского коридора (рис.4.14) [Финляндский пр. — Сампсониевский мост — ул. Куйбышева (или Петроградская наб. — Петровская наб. — Троицкая пл.) — Кронверкский пр. (Кронверкская наб.) — пр. Добролюбова (Мытнинская наб.) — Биржевой мост] позволит снизить нагрузку на УДС в районе Троицкого моста и существенного сократить время движения.



Рисунок 4.14. Схема движения транзитных транспортных потоков по Кронверкскому коридору.

2. Ввод станций «Международная» и «Бухарестская» вызовет следующие изменения:

- пассажиропоток на внутренней сети метрополитена.

Минимальный пассажиропоток на станции «Международная» после ее ввода составит не менее чем 52000 чел/сут, а на станции «Бухарестская» не менее 20000 чел/сут.

На величину более 5000 пас/сут снизится нагрузка на станции: «Московская» (10544), «Московские Ворота» (6001), «Технологический институт» (5861), «Электросила» (8148), «Садовая» (2145), «Невский проспект» (17066), «Гостиный двор» (5600), «Василеостровская» (6424), «Маяковская» (2239), «Лиговский проспект» (12059), «Площадь Восстания-1» (10083), «Волковская» (14256).

Вследствие перераспределения пассажиропотоков на величину более 5000 пас/сут возрастет нагрузка на станции «Комендантский проспект» (5907), «Спортивная» (12050), «Сенная площадь» (9748), «Пушкинская» (5821), «Звенигородская» (14711), «Спасская» (26820);

- пассажиропоток на улично-дорожной сети Санкт-Петербурга

На величину более 1000 пас/сут снизится нагрузка на следующие улицы: Салова (1300пас/сут), проспект Славы (2400), проспект Обуховской обороны (1600), Лиговский проспект (1100пас/сут), Витебский проспект после железнодорожного переезда (2300 пас/сут), наб. Обводного канала (1000 пас/сут), Дунайский проспект (1100), Невский проспект (2300).

В соответствии с полученными результатами были сформулированы следующие предложения по транспортному обслуживанию Фрунзенского района.

В связи с тем, что планируется открытие новых станций метро «Бухарестская» и «Международная», необходимо переорганизовать движение транспорта таким образом, чтобы пассажиры пересеживались с наземного транспорта на метро.

Эту функцию способен выполнять трамвайный маршрут №25. В связи с этим является целесообразным переорганизовать движение трамвая № 25,

построив разворотную стрелку у станции метро «Международная», с целью стимулирования продолжения поездки пассажиров по новым станциям метро. Маршрут трамвая №25 будет заканчиваться у станции метро «Международная», разворачиваться и ехать в обратном направлении (рисунок 4.15). По прогнозу нагрузка на маршрут составит 10 тыс. человек в сутки. Перераспределение потоков к новой станции будет осуществляться за счет пассажиров, направляющихся на станции метро Ломоносовская и Московская.



Рисунок 4.15. Новый маршрут трамвая №25.

Трамваи обладают преимуществами по сравнению с автобусами, т.к. они не загрязняют воздух продуктами сгорания. Трамвайное движение отличает большая провозная способность линий. Трамвай обладает наибольшим среди средств наземного городского транспорта коэффициентом эффективности использования городской площади (отношение числа перевозимых пассажиров к площади, занимаемой на проезжей части). Трамвай может использоваться в сцепках из нескольких вагонов или в многометровых сочлененных трамвайных поездах, что позволяет перевозить массу пассажиров силами одного водителя. Это дополнительно снижает себестоимость такой перевозки.

Выводы по главе 4

В ходе проведенных в 4-й главе исследований были получены следующие результаты:

- 1) проведен анализ методов построения матриц корреспонденций;
- 2) разработана достоверная модель распределения городских транспортных потоков, в основу которой положены временные модели цепочек дневной активности городского населения, привязанные к достоверным матрицам корреспонденций;
- 3) предложено в качестве эталонных цепочек дневной активности использовать наиболее вероятные цепочки на интервале 1 месяц, с учетом дня недели;
- 4) на базе предложенной модели в программном пакете PTV Vision® VISUM осуществлен прогноз распределения динамических транспортных потоков на улично-дорожной сети Санкт-Петербурга и внутренней сети метрополитена с вводом новых станций метрополитена: «Адмиралтейская», «Обводный канал», «Бухарестская» и «Международная».
- 5) по результатам проведенного исследования выработаны рекомендации, направленные на улучшения транспортного обслуживания городского населения в Санкт-Петербурге.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе диссертационного исследования были получены следующие результаты:

1. Теоретические:

- 1) установлено современное состояние исследований в области проблем управления городскими транспортными системами, определены методы, подходы и технологические решения, используемые при их построении;
- 2) выявлены недостатки существующих систем транспортного мониторинга, не позволяющие производить сбор разнородных данных, необходимых для построения систем управления транспортными потоками;
- 3) сформулированы условия достоверной мобильности, выполнение которых необходимо для построения системы управления с учетом неопределенности внешней информационной среды;
- 4) обоснована необходимость построения системы городского транспортно-логистического мониторинга в виде предложенной структуры;
- 5) определен необходимый состав подсистем, обеспечивающих выполнение следующего набора функций: идентификации, аутентификации, распознавания состояний, местоопределения и прямой и обратной связей;
- 6) для решения проблемы обеспечения высокоточного позиционирования транспортных объектов ($R_{def} = 1м$) предложено комбинированное решение, совмещающее технологии глобальных навигационных спутниковых систем, систем сотовой связи и локальных беспроводных радионавигационных сетей;
- 7) осуществлено построение структурной схемы системы городского транспортно-логистического мониторинга;
- 8) произведено построение логико-алгебраической модели исходных данных;
- 9) на базе логико-алгебраической модели исходных данных произведено построена модель функционального операторного базиса управления ГТС,

позволяющая определять режимы оптимального, допустимого и потери управления;

10) произведено построение агентной модели городской транспортной системы, в которой описание поведения элементов ГТС задано динамическим агентным графом;

11) построена графо-аналитическая модель городской транспортной сети;

12) на основе использования первого и второго поведенческих принципов Вардропа осуществлен переход к целевой функции управления, опирающейся на целевые ориентиры пользователя и целевые ориентиры ГТС: в целевые ориентиры пользователя укладываются первый принцип Вардропа и принцип безопасного следования, в целевые ориентиры ГТС укладываются второй принцип Вардропа и принцип надежного функционирования;

13) предложена модель управления городскими транспортными потоками на основе использования распределенной системы управления;

14) представлено комплексное решение проблемы структурной упорядоченности неоднородных межагентных отношений в модели ГТС путем совместного использования системы уникальной идентификации субъектов социально-экономической деятельности, единой системы классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации, единой адресной системы, подведомственных Федеральной службе государственной статистике по региону;

15) на базе агентной модели ГТС осуществлено построение модели классификации межагентных отношений в городской транспортной системе;

16) предложено классифицировать поведение пользователей и объектов ГТС с использованием расширенной системы классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации

17) проведен анализ методов построения матриц корреспонденций;

18) разработана достоверная модель распределения транспортных потоков, в основу которой положены временные модели цепочек дневной активности городского населения, привязанные к достоверным матрицам корреспонденций;

19) предложено в качестве эталонных цепочек дневной активности использовать наиболее вероятные цепочки на интервале 1 месяц, с учетом дня недели.

2. Практические:

1) представлены практические примеры, поясняющие построение агентной модели городской транспортной системы и графо-аналитической модели городской транспортной сети;

2) представлены практические примеры, демонстрирующие реализацию целевых ориентиров пользователя и целевые ориентиры ГТС в составе целевой функции управления;

3) представлен практический пример анализа процесса городской социально-экономической активности пользователя в качестве реализации модели классификации межагентных отношений в городской транспортной системе;

4) на базе разработанной достоверной модели в программном пакете PTV Vision® VISUM осуществлен прогноз распределения динамических транспортных потоков на улично-дорожной сети Санкт-Петербурга и внутренней сети метрополитена с вводом новых станций метрополитена: «Адмиралтейская», «Обводный канал», «Бухарестская» и «Международная» ;

5) по результатам проведенного исследования выработаны рекомендации, направленные на улучшения транспортного обслуживания городского населения в Санкт-Петербурге.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АН МТ – Абонентский номер мобильного телефона;

АСУДД - автоматизированных систем управления дорожным движением;

ВМ - вероятностные методы;

БИК - Банковский идентификационный код;

БК – банковская карта;

БП – биометрический паспорт;

БСТрС - бортовая система транспортного средства;

ГНСС – глобальные навигационные спутниковые системы;

ГОСТ Р – Государственный стандарт России;

ГТС – городская транспортная система;

ГТП – городские транспортные потоки;

ГРНЗ ТрС – Государственный регистрационный номерной знак транспортного средства;

ГТД – грузовая таможенная декларация;

ГМ - Гравитационная модель;

ГПТ - городской пассажирский транспорт;

ДД - Дорожное движение;

ДМ -Детройтский метод ;

ДОБТМ - Динамической области безопасной транспортной мобильности;

ДОИУ – Договор оказания интернет услуг;

ДТПАД – дорожный тариф на платной автомобильной дороге;

ДП- Дорожная пошлина;

ЕАС - Единая адресная система;

ЕСКК ТЭСИ - Единая система классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации;

ИТС – Интеллектуальные транспортные системы;

ИСУДД - Интеллектуальных систем управления дорожным движением;

ИКДУ – идентифициро-классифицирующие документы и устройства;

ИНН - Идентификационный номер налогоплательщика;
ИНД - Идентификационный номер дороги;
ИНБК - Идентификационный номер банковской карты;
ИНОН – Идентификационный номер объекта недвижимости;
ИТ - Индивидуальный транспорт;
КПП - Код причины постановки на учет;
КН – Кадастровый номер;
КП – Кадастровый паспорт;
КТМВТ – Классификация транспортного маршрута по виду транспорта;
ЛК Т-2 – Личная карточка работника по форме Т-2;
ЛРП - Локальное радионавигационное поле;
МК – матрицы корреспонденций;
МТ - Мобильный телефон;
МЕКР - Метод единственного коэффициента роста;
МСКР - Метод средних коэффициентов роста;
МФ - Метод Фратара;
НПГ (РФ) – Номер паспорта гражданина РФ;
НЛСФЛ – Номер лицевого счета физического лица;
НРСЮЛ - Номер расчетного счета юридического лица;
НПТрС – Номер паспорта транспортного средства;
ПАМ - Паспорт автобусного маршрута;
РСККТЭИ - Расширенная система классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации;
ОУ – Объект управления;
ОСИ - Объекты социальной инфраструктуры;
ОДИ - Объекты дорожной инфраструктуры;
ОДН - Области допустимой надежности;
ОКВЭД - Общероссийский классификатор видов экономической деятельности;
ОКП - Общероссийские классификаторы продукции;

ОКПД - Общероссийский классификатор продукции по видам экономической деятельности;

ОКТМО - Общероссийский классификатор территорий муниципальных образований;

ОКОФ - Общероссийский классификатор основных фондов;

ОЗП - Общегражданский заграничный паспорт;

ОКАТО - Общероссийский классификатор объектов административно-территориального деления;

ОКУН - Общероссийский классификатор услуг населению;

ОГРН- Основной государственный регистрационный номер;

ОКФС - Общероссийский классификатор форм собственности;

ОКВГУМ - Общероссийский классификатор видов грузов, упаковки и упаковочных материалов;

ОКС - Общероссийский классификатор стандартов;

ОКОНХ – Общероссийский классификатор отраслей народного хозяйства;

ОСКИР – Общероссийская система классификации интернет ресурсов;

ОТР - Общие транспортные расходы;

ОДН - Области допустимой надежности;

ОТ - Общественный транспорт;

П - Паспорт гражданина РФ;

ПР- Проездной билет;

ПИ – Почтовый индекс;

ПТМ – Паспорт трамвайного маршрута;

ПТрМ – Паспорт троллейбусного маршрута;

ПДД - Правил дорожного движения;

СУ – Система управления;

СУ ГТП – Система управления городскими транспортными потоками;

СГТЛМ - Системы городского транспортно-логистического мониторинга;

СНиП- Строительные нормы и правила;

СППРОНО - Свидетельство о постановке на учет российской организации
налоговом органе по месту нахождения на территории РФ;

СРTrC – Свидетельство регистрации транспортного средства;

СПС - Свидетельство государственного пенсионного страхования;

СУИССЭД - система уникальной идентификации субъектов социально-
экономической деятельности;

СЭА ГН - социально-экономическая активность городского населения;

ССГТЛМ - структурная схема городского транспортно-логистического
мониторинга;

ТП – транспортный поток;

TrC – транспортные средства;

ТПЗ – Технический паспорт здания;

ТН ВЭД – Общероссийского классификатора товарной номенклатуры
внешнеэкономической деятельности;

TrH- Транспортная накладная;

ТН- товарная накладная;

ТТО – Талон технического осмотра транспортного средства;

ТХ TrC– Технические характеристики транспортного средства;

УЭК – Универсальная электронная карта;

УДС- улично-дорожная сеть;

ФСГС (Р) - Федеральной службе государственной статистике по региону;

ЭГМ - Энтропийно-гравитационная модель;

ЭМ - экстраполяционные методы;

ЭнМ - Энтропийная метод;

ЭПБГТ- Электронные проездной билет городского транспорта;

ЭП – Электронный паспорт гражданина РФ;

ЭПЗ – Электронный паспорт здания;

ЭПМД– Электронный паспорт многоквартирного дома;

ЗД TrC – Заводская документация на транспортное средство;

ЭПД – Электронный паспорт дороги;

ЭПОП- Электронный паспорт остановочного пункта;

ICD-10 – (англ. International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems) - Международная статистическая классификация болезней и проблем, связанных со здоровьем (МКБ-10) ;

IP - Уникальный сетевой адрес (Internet Protocol Address);

IMEI - Международный идентификатор мобильного оборудования (International Mobile Equipment Identity);

EAN-13- Европейский номер товара;

SWIFT-code – уникальный код присвоенный сообществом всемирных межбанковских финансовых телекоммуникаций;

VIN - Идентификационный номер транспортного средства;

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аксенов И.Я. Единая транспортная система / И.Я. Аксенов. – М.: Транспорт, 1980. – 382 с.
2. Аксенов И. Я., Аксенов В. И. Транспорт и охрана окружающей среды. М.: Транспорт, 1986. -176 с.
3. Автомобильные дороги: безопасность, экологические проблемы, экономика (российско-германский опыт) / под ред. В.Н. Луканина, К.Х. Ленца. — М.: Логос, 2002. — 624 с.
4. Алексеев В.О. Мобильный вычислительный комплекс для мониторинга среды движения /В.О.Алексеев //Сб. науч.тр. Автомобильный транспорт. - Х.:ХНАДУ. – 2002. – Вып.9. – С.101- 104.
5. Алешин Г.В. Дорожно-сетевая система информирования водителей об оптимальных маршрутах движения / Г.В.Алешин, В.Г.Сословский, А.Н.Ярута // Сб. матеріалов всеукраїнської науково-методичної конференції.- Х.: ХНАДУ, 2007. - С.102-114.
6. Баринова Л.Д., Забалканская Л.Э. Показатели экологически устойчивого развития транспортной системы мегаполиса. Транспорт: наука, техника, управление. 2012. № 8. С. 33-37.
7. Баринова Л.Д., Забалканская Л.Э. Пути снижения негативного воздействия транспортного комплекса на городскую среду. Транспорт: наука, техника, управление. 2012. № 2. С. 14-18.
8. Белый О.В., Кокаев О.Г., Попов С.А. Архитектура и методология транспортных систем. – С-Пб: Элмор, 2002, 246 с.
9. Белый О.В. Проблемы построения и развития транспортных систем / О.В. Белый. – Санкт-Петербург: Элмор, 2012. – 192 с.
10. Белый О.В., Малыгин И.Г. Математические модели оптимизации структуры системы управления крупномасштабной транспортной корпорации. Транспорт: наука, техника, управление. 2014. № 1. С. 7-16.

11. Белый О.В., Гурков Р.М., Скороходов Д.А., Стариченков А.Л. Направления информационных технологий для повышения безопасности транспортных комплексов. // Транспорт Российской Федерации. №5(18), 2008 г. – с.22-24.
12. Беттгер К. Концептуальные исследования для стратегического транспортного планирования в Санкт-Петербурге и других городах РФ. «Транспорт Российской Федерации» № 8 2007, С.6-8.
13. Бобрик П.П. О преимуществе треугольной топологии сети над квадратной. Транспорт: наука, техника, управление. 2005. № 3. С. 32.
14. Бобрик П.П. Обоснование гравитационной модели транспортных корреспонденций при помощи закона убывающей предельной полезности. Труды Московского физико-технического института. 2010. Т.2. № 4.С. 31-34.
15. Богданов А. С., Шевцов В. А. Определение местоположения и управление в современных сетях подвижной радиосвязи. Электронный журнал «Труды МАИ». Выпуск № 40. С. 1-21
16. Богумил В.Н., Ефименко Д.Б. Экспериментальные исследования транспортных потоков с использованием навигационных данных (глонасс/gps) диспетчерских систем // Наука и техника в дорожной отрасли. М. 2011. № 4. с.
17. Бугроменко В.Н. Транспорт в территориальных системах / В.Н. Бугроменко. - М.: Наука, 1987 -112с.
18. Буслаев А.П. К вопросу об интеллектуальных системах в дорожном движении / А.П. Буслаев, Д.М. Кузьмин // Наука и техника в дорожной отрасли. - № 2. - 2006. - С. 33-40.
19. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. — М.: Наука, 1978. — 399 с.
20. Васильев В.И., Ильясов Б.Г. Интеллектуальные системы управления. Теория и практика: учебное пособие. - М.: Радиотехника, 2009. - 392 с.
21. Введение в математическое моделирование транспортных потоков/ под ред. А. В. Гасникова, с приложениями М. Л. Бланка, Е. В. Гасниковой, А. А. Замятина и В. А. Малышева, А. М. Райгородского -. М.: Изд-во МФТИ, 2010. 360 с.
22. Вол М., Мартин Б. Анализ транспортных систем / М. Вол, Б. Мартин: перевод с англ. – М.: Транспорт, 1981.- 516с.

23. Вольф Д., Яковенко О. Инновации во всем: Прогноз транспортных ситуаций в режиме реального времени для городов и мегаполисов, *Логинфо* №5 (155), 2013, С64-69
24. Величко Г.В., Филиппов В.В. Цифровое моделирование как основа автоматизированного решения задач паспортизации, диагностики и управления состоянием автомобильных дорог. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.credo-dialogue.com/getattachment/770fe1f7-2641-4305-85e1-2a26b1ac8a93/Tsifrovoe-modelirovanie.aspx> (дата обращения: 01.09.2013), С.1-4
25. Воскресенская Т.П. О методике проектирования сети логистических центров в регионе. *Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии*. 2010. № 25. С. 150-155.
26. Воскресенская Т.П., Покровская О.Д. Концепция создания терминальной сети региона. *Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии*. 2010. № 26. С. 133-137.
27. Девятков В.В., Алфимцев А.Н. Отслеживание движущихся объектов для мониторинга транспортного потока / Труды 34-ой конференции "Информационные технологии и системы" (Геленджик, 2011). Геленджик: ИППИ им. А.А. Харкевича РАН, 2011. С. 31-36.
28. Дшхунян В.Л., Шаньгин В.Ф. Электронная идентификация. Бесконтактные электронные идентификаторы и смарт-карты. — М.: ООО «Издательство АСТ»: Издательство «НТ Пресс», 2004. — 695с
29. Гасников А.В., Гасникова Е.В., Федько О.С. О возможной динамике в модели ранжирования web-страниц PageRank и модернизированной модели расчета матрицы корреспонденций // Труды МФТИ. 2012. Том 4. № 2 (14). С. 101–120.
30. Гасников А. В., Дорн Ю. В., Нестеров Ю. Е., Шпирко С. В. О трехстадийной версии модели стационарной динамики транспортных потоков, *Матем. моделирование*, 26:6 (2014), 34–70
31. Горев А.Э. Основы теории транспортных систем: Учеб. пособие / А.Э.Горев. – СПб.: СПбГАСУ, 2011. – 173 с.

32. Горев А.Э. Информационные технологии в управлении логистическими системами (монография) / А.Э.Горев. – СПб.: СПбГАСУ, 2004. – 180 с.
33. Горев А.Э. Информационные технологии на транспорте. Электронная идентификация автотранспортных средств и транспортного оборудования / А.Э.Горев. – СПб.: СПбГАСУ, 2010. – 120 с.
34. Горбачев П. Ф., Крикун В. И. Моделирование спроса на перевозку пассажиров в пригородном сообщении // ВЕЖПТ. 2013. №3 (62), С.12-15.
35. Горбачев П. Ф, Колий А.С. Методика расчета емкостей транспортных районов с учетом динамических процессов в транспортной системе// Автомобильный транспорт . 2012. №30. С. 139-143
36. Графкина М. В., В. А. Михайлов. Охрана труда : Автомобильный транспорт : учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / М. В. Графкина. — М. : Издательский центр «Академия», 2014. — 176 с
37. Громов Н.Н. Единая транспортная система: учебник для вузов / Н.Н. Громов, Т.А. Панченко, А.Д. Чудновский. - М.: Транспорт, 1987. – 303 с.
38. Громов Н.Н. Управление на транспорте / Н.Н. Громов, В.А. Персианов. – М.: Транспорт, 1990. – 336 с.
39. Дорогуш Е. Г. Вычисление пропускной способности и уровня загруженности кольцевой автомагистрали // Вестник Московского университета. Серия 15. Вычислительная математика и кибернетика. 2013. № 3. С. 16–24.
40. Захаров В.В., Крылатов А.Ю. Конкурентная маршрутизация транспортных потоков поставщиками услуг навигации // Управление большими системами. 2014. № 49.С.
41. Захаров В.В., Крылатов А.Ю. Системное равновесие транспортных потоков в мегаполисе и стратегии навигаторов: теоретико-игровой подход // Математическая теория игр и ее приложения. 2012. Т. 4. № 4. С. 23-44.
42. Зырянов В.В., Кочерга В.Г., Поздняков М.Н. Современные подходы к разработке комплексных схем организации дорожного движения // Транспорт Российской Федерации. 2011. №1(32). С. 54–59.

43. Ивахненко А.Г. Долгосрочное прогнозирование и управление сложными системами. «Техніка», 1975, 312 стр.
44. Кабашкин И. В. Интеллектуальные транспортные системы: интеграция глобальных технологий будущего, "Транспорт Российской Федерации", № 2 (27) 2010, С34-38
45. Катковник В.Я. Непараметрическая идентификация и сглаживание данных. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы. 1985.-336
46. В. Т. Капитанов. Управление транспортными потоками в городах / В. Т. Капитанов, Е. Б. Хилажев. - М. : Транспорт, 1985. - 94 с
47. Качалин М. Современные автоматизированные системы слежения за транспортными средствами. Журнал «СТА» № 1/1997. С. 56-59.
48. Клинковштейн Г. И., Афанасьев М. Б. Организация дорожного движения: Учеб. для вузов.– 5-е изд., перераб. и доп. – М: Транспорт, 2001 – 247 с.
49. Кленов С.Л. Теория Кернера трех фаз в транспортном потоке — новый теоретический базис для интеллектуальных транспортных технологий. ТРУДЫ МФТИ. — 2010. Том 2, №4. С. 75-89
50. Козинцев В.И., Орлов В.М. Оптико-электронные системы экологического мониторинга природной среды: Уч.пособие для вузов. –М.Издательство МГТУ им. Бумана, 2002. -528с.
51. Кокаев О.Г, Лукомская О.Ю., Селиверстов С.А. О технологии анализа транспортных процессов в современных условиях хозяйствования // Транспорт Российской Федерации. —2012. —No 2 (39). С. 32-36
52. Кочетов, И.В. Общесистемная постановка некоторых методических проблем построения ЕТС / И.В. Кочетов // Тр. ЦНТИИЭВТ. – 1977. – Вып. 138. – С. 6–34.
53. Кременец Ю.А. Технические средства организации дорожного движения. – М.: Транспорт, 1990. – 255 с.
54. Крылатов А.Ю. Оптимальные стратегии управления транспортными потоками на сети из параллельных каналов // Вестн. С.-Петербург. ун-та. Сер. 10. Прикл. матем. Информ. Проц. упр. 2014. № 2. С. 121-130.

55. Куватов В.И. Выбор рациональных значений скорости и дистанции между автомобилями в плотном транспортном потоке / В.И. Куватов, Д.В. Козьмовский, И.Г. Малыгин // Транспорт: наука, техника, управление. № 6. - 2012. - С. 17-19.
56. Кнут Д. Искусство программирования, том 1. Основные алгоритмы = The Art of Computer Programming, vol.1. Fundamental Algorithms. — 3-е изд. — М.: «Вильямс», 2006. — 720 с. — ISBN 5-8459-0080-8.
57. Кнут Д. Искусство программирования, том 1, выпуск 1. MMIX — RISC-компьютер для нового тысячелетия = The Art of Computer Programming, Volume 1, Fascicle 1 : MMIX — A RISC Computer for the New Millennium. — М.: «Вильямс», 2006. — 160 с. — ISBN 978-5-8459-1163-6.
58. Кнут Д. Искусство программирования, том 2. Получисленные методы = The Art of Computer Programming, vol.2. Seminumerical Algorithms. — 3-е изд. — М.: «Вильямс», 2007. — 832 с. — ISBN 5-8459-0081-6.
59. Кнут Д. Искусство программирования, том 3. Сортировка и поиск = The Art of Computer Programming, vol.3. Sorting and Searching. — 2-е изд. — М.: «Вильямс», 2007. — 824 с. — ISBN 5-8459-0082-4.
60. Кнут Д. Искусство программирования, том 4, А. Комбинаторные алгоритмы, часть 1 = The Art of Computer Programming, Volume 4A: Combinatorial Algorithms, Part 1. — М.: «Вильямс», 2013. — 960 с. — ISBN 978-5-8459-1744-7.
61. Ларин О.Н. Проблемы транспортного обслуживания мегаполисов / О.Н. Ларин // Эксплуатация и обслуживание транспортно-технологических машин: межвузовский сборник научных трудов; отв. ред. Н.С. Захаров. — Тюмень: Издатель Пашкин, 2005. — Вып. 2. — С. 91–92.
62. Ларин О.Н. Развитие транзитного потенциала автотранспортных систем регионов: научная монография / О.Н. Ларин, А.П. Приходько, В.Д. Шепелёв, А.А. Кажаяев. — М.: ВИНТИ РАН, 2010. — 344 с.
63. Левтеров А. И, Алешин Г. В, Ярута А. Н. Способ мониторинга транспортных потоков. ИКСЗТ, 2012 №3. С. 56-60.
64. Лукинский В.С. Логистика автомобильного транспорта / В.С. Лукинский, В.И. Бережной, Е.В. Бережная и др. — М.: Финансы и статистика, 2004. — 368 с.

65. Любушин А.А. Анализ данных систем геофизического и экологического мониторинга. – М.: Наука. 2007.-228с.
66. Малышев В.В. Спутниковые системы мониторинга. Анализ, синтез и управление, под редакцией В.В.Малышева. - М.: Изд-во МАИ, 2000, - 568 с.
67. М. Л. Маринов. Оптимизация безопасности транспортной деятельности с учетом влияния человеческого фактора: особенности решения проблемы. Транспорт Российской Федерации. 2009. Т. 21. № 2. С. 56-59.
68. Милославская С.В. Мультимодальные и интермодальные перевозки: учеб. пособие / С.В. Милославская, К.И. Плужников. – М.: РосКонсульт, 2001. – 368 с.
69. Миротин Л.Б. Глобальные задачи развития и интеграции транспортных систем / О.Н. Ларин, Л.Б. Миротин // Транспорт: наука, техника, управление. – 2007. – № 5 – С. 20–21.
70. Михеева Т.И. Исследование методов локального управления транспортными потоками / Т.И. Михеева, С.В. Михеев // Вестник Самарск. гос. аэрокосм. ун-та. Сер. «Актуальные проблемы радиоэлектроники». 2003. С. 24–30.
71. Малыгин И.Г. Интеллектуальные системы в городском транспортном комплексе / И.Г. Малыгин // Экономика качества. 2013. № 3. С. 81-91.
72. Михеева Т.И. Инструментальная среда для имитационного моделирования потоков / Т.И. Михеева // Математика и ее приложения : тр. междунар. научн. конф. Тольятти : ТГУ. 2005. С. 123–127.
73. Модели и методы теории логистики / под ред. В.С. Лукинского. – СПб.: Питер, 2003. – 176 с.
74. Мкртчян Ф.А. Оптимальное различие сигналов и проблемы мониторинга. – М.: Наука, 1982, 186с.
75. Морозов И.И., Холодов Я.А. Моделирование динамики транспортных потоков // Труды 51-й научной конференции МФТИ. Современные проблемы фундаментальных и прикладных науки. 2008. Т. 2. С. 128-129.
76. Морозов И.И., Гасников А.В., Тарасов В.Н., Холодов Я.А. Численное исследование транспортных потоков на основе гидродинамических моделей // Компьютерные исследования и моделирование. 2011. Т.3. №4. С. 389–412.

77. Никонов О.Я., Шуляков В.Н. Интегрированные информационно-управляющие телепатические системы транспортных средств. Автомобильный транспорт, вып. 27, 2010, С. 83-87.
78. Новиков Д.А., Смирнов И.М., Шохина Т.Е. Механизмы управления динамическими активными системами. – М.: ИПУ РАН, 2002. – 124с.
79. Нурминский Е.А., Шамрай Н.Б. Прогнозирование моделирования трафика Владивостока. // Труды МФТИ. 2010. Т. 2. №4. С. 119–129.
80. Определение экономической эффективности мероприятий по повышению безопасности дорожного движения: Е.П. Попова, М.А. Луковицкий. — М. : Изд-во МАДИ, 1988. — 96 с.
81. Организация дорожного движения: учебник для вузов / Г.И. Клинковштейн, М.Б. Афанасьев. — 5-е изд., пераб. и доп. — М.: Транспорт, 2001. — 231 с.
82. Основы теории транспортных потоков, организации и управления дорожным движением в России и Германии = Grundlagen des Verkehrsablaufes auf StraBen, StraBenverkehrstechnik und Steuerungsverfahren in Deutschland und Russland: учебное пособие на русском и немецком языках / М. Девятов, Р. Кюхлер, В. Девятов, С. Виталин; под общей редакцией М. Девятова. – Волгоград: ВолгГАСУ, 2009. – 498 с.
83. Основы логистики: учебник для вузов / под. ред. В. В.Щербакова. СПб.: Питер, 2009. 432 с.
84. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации/Пер. с польского И.Д. Рудинского. Изд-во: Финансы и статистика, 2002. 344с.
85. Павлова Е.И. Экология транспорта. Учебник для вузов. М.: Транспорт, 2000. - 248 с.
86. Петров Е.А., Д. Вольф. Адаптивная система управлением дорожным движением в составе городской ИТС//Дорожная Держава. –2012. -№ 40. С. 46-49.
87. Петров В. В. Автоматизированные системы управления дорожным движением в городах. Учебное пособие. Омск: Изд-во СиБАДИ, 2007. –104с.
88. Персианов, В. А. Моделирование транспортных систем / В. А. Персианов, К. Ю. Скалов, Н. С. Усков // -М.: Транспорт, 1972. - 208 с.

89. М. П. Печерский. Автоматизированные системы управления дорожным движением в городах [Текст] / М. П. Печерский, Б. Г. Хорович. - М. : Транспорт, 1979. - 176 с
90. Поспелов Д. А. Ситуационное управление: Теория и практика.- М.: Наука.- Гл. ред. физ.-мат. Лит., 1986.-288 с.
91. Поспелов Г.С. Искусственный интеллект - основа новой информационной технологии. Серия: Академические чтения. Издательство: М.: Наука, -1988г, 280с.
92. Райбман Н.С. Дисперсионная идентификация. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы. 1981.-336
93. Резер С.М. Взаимодействие транспортных систем / С.М. Резер. – М.: Наука, 1985. – 247 с.
94. Резер С.М. Управление транспортным комплексом за рубежом / С.М. Резер. – М.: Наука, 1988. – 328 с.
95. А. И. Рябчинский, В. А. Гудков, Е. А. Кравченко. Организация перевозочных услуг и безопасность транспортного процесса. Издательство: Академия, 2014, 256с.
96. Саати, Т. Аналитическое планирование. Организация систем / Т. Саати, К. Кернс: пер. с англ.- М.: Радио и связь, 1991. - 224 с.
97. Сабанов А.Г., Шелупанов А.А. Требования к системам аутентификации по уровням строгости. Ползуновский вестник № 2/1, 2012. С. 61-67
98. Самоорганизация прогнозирующих моделей - Selbstorganisation von Vorhersagemodellen / А. Г. Ивахненко, Й. А. Мюллер, Киев Техніка, Берлин, 1985.- 223 с. ил.
99. Семенов В.В. Математические методы моделирования транспортных потоков // Сборник "Новое в синергетике. Новая реальность, новые проблемы, новое поколение". М.: Наука. 2007. С. 102–133.
100. Семенов В.В. Математическое моделирование динамики транспортных потоков мегаполиса. М.: ИПМ РАН, 2004. 44 с.
101. Семенов В.В. Смена парадигмы в теории транспортных потоков. М.: ИПМ РАН, 2006. 32 с.

102. Смирнов Н.Н., Киселев А.Б., Никитин В.Ф., Юмашев М.В. Математическое моделирование автомобильных потоков на магистралях // Вестник Московского университета. Серия 1. Математика и механика. 2000. № 4. С. 39–44.
103. Селевич С. Г. Методика предварительной обработки данных автомобильных GPS-навигаторов для решения задач прогнозирования транспортных потоков / С.Г. Селевич // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування, 2012. – № 60 (966). – С. 92–96.
104. Селиверстов С.А. Методы и алгоритмы интеллектуального анализа процесса организации транспортной системы. Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2014. № 2 (24). С. 92-100.
105. Селиверстов С.А., Селиверстов Я.А. Основы теории бесконфликтного непрерывного транспортного процесса движения // Интернет-журнал «Науковедение», 2014 №3 (22) [Электронный ресурс]-М.: Науковедение, 2014 -.- Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/74TVN314.pdf> , свободный. – Загл. с экрана. - Яз. рус., англ.
106. Селиверстов Я.А. Моделирование процессов распределения и развития транспортных потоков в мегаполисах, Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ» № 1/2013, С.43-49.
107. Селиверстов Я.А. Использование правила резолюций в вопросно-ответной процедуре транспортного планировщика. //Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2013. No 1 (20). С. 145-152.
108. Селиверстов Я.А., Селиверстов С.А. О логико-алгебраическом представлении транспортно-логистического процесса. Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2014. Т.4.№200. С.57-68
109. Селиверстов Я.А. Основы теории субъективных функциональных возможностей рационального выбора// Интернет-журнал «Науковедение», 2014 №4 (23) [Электронный ресурс]-М.: Науковедение, 2014 -.- Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/90EVN414.pdf>, свободный. – Загл. с экрана. - Яз. рус.

110. Я.А. Селиверстов. Особенности построения системы городского транспортно-логистического мониторинга [Текст]/ Я.А. Селиверстов, А.Л. Стариченков, С.А. Селиверстов // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ» № 1/2015.С. 29-36.
111. Селиверстов Я.А. Построение моделей управления городскими транспортными потоками в условиях неопределенности внешней информационной среды [Текст]/ А.Л. Стариченков, Я.А. Селиверстов// Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2014. №6 (210). С. 81-94
112. Сильянов В.В., Лобанов Е.М. Пропускная способность автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1972. – 152 с.
113. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения / В.В. Сильянов. -М.: Транспорт, 1977. – 303с.
114. Скороходов Д.А., Маринов М.Л. Функционально-психологический подход оптимизации человеческого фактора на безопасность транспортной деятельности. Транспорт: наука, техника, управление. 2009. № 7. С. 18-22.
115. Советов Б. Я. Моделирование систем: учебник / Б. Я.Советов, С. А. Яковлев. – 4-е изд., стер. – М., 2005. - 343 с.: ил.
116. Стариченков А.Л., Степанов И.В. Управление рисками в региональной транспортной системе//Всероссийская конф. «Управление и информационные технологии -УИТ-2005»: Сб. докл. Санкт-Петербург, 30 июня -2 июля 2005 г. СПб., 2005. Т. 2. С. 30-39.
117. Стяпшин А.А. Анализ города как сложной динамической системы. / А.А. Стяпшин // «Физико-математические науки и информационные технологии: актуальные проблемы»: материалы международной заочной научно-практической конференции. (11 июня 2012 г.) — Новосибирск: Изд. «Сибирская ассоциация консультантов», 2012.,С. 53-58
118. Султанмахмедов М. А. Управление городскими пассажиропотоками на основе графовых моделей. Вестник АГТУ. Сер.:Управления,вычислительная техника и информатика, 2010/2, 55-60с..

119. Трифанов В.Н. Инвариантный статистический анализ и управление в транспортных системах. СПб.: «Элмор», 2003.-192с.
120. Таранцев А.А. Случайные величины и работа с ними. СПб: ИД «Петрополис», 2011.-160с.
121. Тархов С.А. Эволюционная морфология транспортных сетей. – Смоленск Универсум, 2005 – С. 384.
122. Форд Л., Фалкерсон Д. Потоки в сетях. – М.: Изд-во «Мир», 1966.-276с.
123. Управление транспортными потоками. Учет ДТП / Т.И. Михеева. Самара : Самар. гос. техн. ун-т, 2006. 125 с.
124. Финкенцеллер К. RFID-технологии. Справочное пособие / К. Финкенцеллер; пер. с нем. Сойунханова Н.М. — М. : Додэка-XXI, 2010. — 496 с.: ил. — Доп. тит. л. нем.— ISBN 978-5-94120-232-4.
125. В. Ю. Хараев, А.Ф. Ярославцев. Сравнительный анализ мобильных телекоммуникационных технологий для управления транспортными средствами. Вестник СибГУТИ. 2010. № 1. С.56-69.
126. Хейт Ф. Математическая теория транспортных потоков. М.: Изд-во «Мир», 1966.-287с.
127. Шаталова Н.В. Пути совершенствования перевозок и повышение безопасности автотранспорта/В.И. Куватов, В.А. Онов, Н.В. Шаталова //Проблемы управления рисками в техносфере.–2013.-№2–с. 96-109.
128. Швецов В. И. Математическое моделирование транспортных потоков // Автомат. и телемех. 2003. № 11. С. 3–46.
129. Швецов В. И. Алгоритмы распределения транспортных потоков // Автомат. и телемех. 2009. №10. С. 148–157.
130. Цыпкин Я.З. Информационная теория идентификации. – М.: Наука. Физматлит, 1995. -336с.
131. Якимов М.Р. Математическое моделирование распределения транспортного спроса в транспортной системе города / М.Р. Якимов // Транспорт: наука, техника, управление. – 2010. – № 12. – с. 7-13.

132. Якимов М.Р. Анализ влияния различных сценариев развития транспортной системы крупного города на возможные варианты нарушения целостности городской структуры / М.Р. Якимов // Вестник транспорта Поволжья. – 2011. – № 1 (25). – С. 18-23.
133. Якимов М.Р. Общий алгоритм работы четырехшаговой транспортной модели / М.Р. Якимов // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2011. – № 1 (48). – С. 132-137.
134. Якимов М.Р. Постановка, результаты и анализ решения математической модели формирования эффективной транспортной системы крупного города (на примере Перми) / Ю.В. Трофименко, М.Р. Якимов // Вестник МАДИ. – 2011. – №3(26). – С. 182-184.
135. Abdallah Namoun. A Multi-Agent System for Modelling Urban Transport Infrastructure Using Intelligent Traffic Forecasts. Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems Lecture Notes in Computer Science Volume 8062, 2013, pp 175-186.
136. Banister D. (2001) Sustainable transport policies - Scenarios for the future. In, Giorgi, L. (ed.) *Transport Policy and Research: What Future?* Ashgate Publishing: Avebury. pp. 90-129.
137. Banister D. (2001) Transport planning. In, Button, K. and Hensher, D.A. (eds.) *Transport Systems and Traffic Control*. Handbooks in Transport 3, Amsterdam: Elsevier-Pergamon Science, pp. 9-19.
138. U.S. Bureau of Public Roads, editor. Traffic Assignment Manual. U.S.Department of Commerce, Washington, D.C., 1964. 358 p.
139. Castillo E., Menendez J.M., Jimenez P. Trip matrix and path flow reconstruction and estimation based on plate scanning and link observations // Transport Research Part B. 2008. Vol. 42. P. 455–481.
140. Castillo, E., Menendez, J.M., Sanchez-Cambronero, S. Traffic estimation and optimal counting location without path enumeration using Bayesian networks// Computer Aided Civil and Infrastructure Engineering. 2008. Vol. 23. № 3. P.189–207.

141. Chen, B., Cheng, H.H. A Review of the Applications of Agent Technology in Traffic and Transportation Systems. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 11(2), 485–497 (2010).
142. Farahani R.Z., Miandoabchi E., Szeto W.Y., Rashidi H. A review of urban transportation network design problems // *European Journal of Operational Research*. 2013. №229. P. 281–302.
143. Ferber J. *Multi-Agent Systems. An Introduction to Distributed Artificial Intelligence.*– London: Addison Wesley, 1999. – 509 p.
144. Hernandez, J.Z., Ossowski, S., Garcia-Serrano, A.: Multiagent architectures for intelligent traffic management systems. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 10(5), 473–506 (2002)
145. Herrera J. C., et al., “Evaluation of Traffic Data Obtained via GPS Enabled Mobile Phones: The Mobile Century Field Experiment,” *Transportation Research Part C*, Vol. 18, No. 4, 2010, pp. 568-583.
146. Heydt-Benjamin T.S., Chae H.-J., Defend B., Fu K.: Privacy for Public Transportation. In: Danezis, G., Golle, P. (eds.) *PET 2006. LNCS*, vol. 4258, pp. 1–19. Springer, Heidelberg (2006)
147. Hinterwälder G., Paar C., & Burleson W. P. (2013). Privacy preserving payments on computational RFID devices with application in intelligent transportation systems. In *Radio Frequency Identification. Security and Privacy Issues* (pp. 109-122). Springer Berlin Heidelberg.
148. Kaaranen H., Ahtiainen A., Laitinen L., Naghian S., Niemi V. *UMTS Networks Second Edition*. John Wiley & Sons, Ltd, 2005, - 406pp, ISBN: 0-470-01103-3
149. Kerner B.S. *Introduction to modern traffic flow theory and control: the long road to three-phase traffic theory*. Berlin: Springer. 2009. 265 p.
150. Lämmer S., Helbing D. (2010) Self-Stabilizing Decentralized Signal Control of Realistic, Saturated Network Traffic. *Santa Fe Working Paper Nr. 10-09-019*
151. Lo H.P., Zhang N., Lam W.H.K. (1999) Decomposition algorithm for statistical estimation of OD matrix with random link choice proportions from traffic counts, *Transportation Research Part B*, No.33, 369-385.

152. Lohse D. (2004). Travel Demand Modelling with Model EVA -Simultaneous Model for Trip Generation, Trip Distribution and Mode Choice// Working Paper, Technical University of Dresden. 1-15 pp.
153. Mikulski J.: Using telematics in transport. In: Mikulski, J. (ed.) TST 2010. CCIS, vol. 104, pp. 175–182. Springer, Heidelberg (2010)
154. Mikulski J., Kwaśny A. Role of telematics in reducing the negative environmental impact of transport. In: Mikulski, J. (ed.) TST 2010. CCIS, vol. 104, pp. 11–29. Springer, Heidelberg (2010)
155. Mitchell R. B., Rapkin C. Urban traffic, a function of land use. New York, Columbia U. Inst. Urban Land Use & Housing Studies, 1954. 226 p. Libr. Cong.
156. Nagel K., Wagner P., Woesler R., Still flowing: Approaches to traffic flow and traffic jam modeling, Operations Research, 2003, Vol. 51, No. 5, P. 681-710
157. Rilett L.R., Kim K., Raney B. A Comparison of the Low Fidelity TRANSIMS and High Fidelity CORSIM Highway Simulation Models using ITS Data //Transportation Research Record 1739, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 2000, p. 1-8.
158. Rilett L.R., Kim K.O. “Comparison of TRANSIMS and CORSIM Traffic Signal Simulation Modules //Transportation Research Record 1748, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 2001, pp. 18-25.
159. Sadeghi A.R., Visconti I., Wachsmann C. User Privacy in Transport Systems Based on RFID E-Tickets. In: Bettini, C., Jajodia, S., Samarati, P., Wang, X.S. (eds.) PiLBA. CEUR Workshop Proceedings, vol. 397 (2008)
160. Neubert L., Santen L., Schadscheneider A., Schreckenberg M., Single-vehicle data of highway traffic: A statistical analysis, Phys. Rev. E 60, 1999, P. 6480-6490.
161. Simonelli F., Marzano V., Papola A., Vitiello I. A network sensor location procedure accounting for o-d matrix estimate variability // Transportation Research Part B. 2012. Vol. 46. P. 1624–1638.
162. Tong C. O., Wong S. C. A predictive dynamic traffic assignment model in congested capacity-constrained road networks // Transportation Research Part B. 2000. Vol. 34. P. 625–644.

163. Ummenhofer P. ETC-Based Traffic Telematics – Utilizing Electronic Toll Collection Systems as basis for value adding Telematics Applications. In: ITS Europe 2008, Geneva (2008)
164. Van Wee B., Annema J.-A., Banister D. (eds.) (2013) The Transport System and Transport Policy: An Introduction, Cheltenham: Edward Elgar. pp. 424. ISBN: 978-0-85793-689-9.
165. Wang J.M. (2002). The study and analysis of model algorithm for dynamic origin-destination matrix estimation and prediction, Ningxia Engineering Technology, Vol.1, No.4, 362-365.
166. Wardrop J. G. Some theoretical aspects of road traffic research // Proc. Institution of Civil Engineers. 1952. Vol. 2. P. 325–378.
167. Xinwei W., Ning Z. GLS Estimation of OD matrix with traffic counts and information from ATIS. Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 5, pp. 1188 - 1196, 2005.
168. Xie F., Levinson D. Modeling the growth of transportation networks: acomprehensive review // Netw Spat Econ. 2009. №9. P. 291-307.
169. Yashina M.V., Provorov A.V. Verification of infocommunication system components for modeling and control of saturated traffic in megalopolis. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2013. T. 224. C. 531-542.
170. Zhou X. , Mahmassani H.S. (2006). Dynamic OD Estimation Using AutomaticVehicle Identification Data. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol. 7, No. 1, pp. 105-114.
171. Zhou X., Mahmassani H.S. (2007). A Structural State Space Model for Real-Time Traffic Origin-Destination Demand Estimation and Prediction in A Day-to-Day Learning Framework. Transportation Research Part B: Methodological, Vol. 41B, pp. 823–840.
172. <http://www.eansearch.org/>

ПРИЛОЖЕНИЕ.

Результаты моделирования

Рисунок П1. Прогнозная модель перераспределение транспортных потоков на улично-дорожной сети Санкт-Петербурга и внутренней сети метрополитена с вводом станций «Обводный канал» и «Адмиралтейская» по сравнению с исходной моделью, (пасс/сут).

Рисунок П2. Прогнозная модель перераспределение транспортных потоков на улично-дорожной сети Санкт-Петербурга и внутренней сети метрополитена с вводом станций «Бухарестская» и «Международная» по сравнению с моделью ввода станций «Обводный канал» и «Адмиралтейская», (пасс/сут).

Рисунок П3. Прогнозная модель перераспределение транспортных потоков на улично-дорожной сети Санкт-Петербурга и внутренней сети метрополитена с вводом станций «Адмиралтейская», «Обводный канал», «Бухарестская» и «Международная» по сравнению с исходной моделью, (пасс/сут).

Рисунок П4. Исходная модель пассажиропотока на внутренней сети метрополитена с показателями пассажиропотока на УДС Санкт-Петербурга, (пасс/сут).

Рисунок П5. Прогнозная модель пассажиропотока на внутренней сети метрополитена с вводом станций «Обводный канал» и «Адмиралтейская» с показателями пассажиропотока на УДС Санкт-Петербурга, (пасс/сут).

Рисунок П6. Прогнозная модель пассажиропотока на внутренней сети метрополитена с вводом станций «Адмиралтейская», «Обводный канал», «Бухарестская» и «Международная» с показателями пассажиропотока на УДС Санкт-Петербурга, (пасс/сут).

Рисунок П7. Пассажиропоток на внутренней сети метрополитена при вводе станций «Адмиралтейская», «Обводный канал» (пасс/сут).

Таблица П.1. Прогноз расчета суточного пассажиропотока на внутренней сети метрополитена по всем трем сценариям, (пасс/сут).

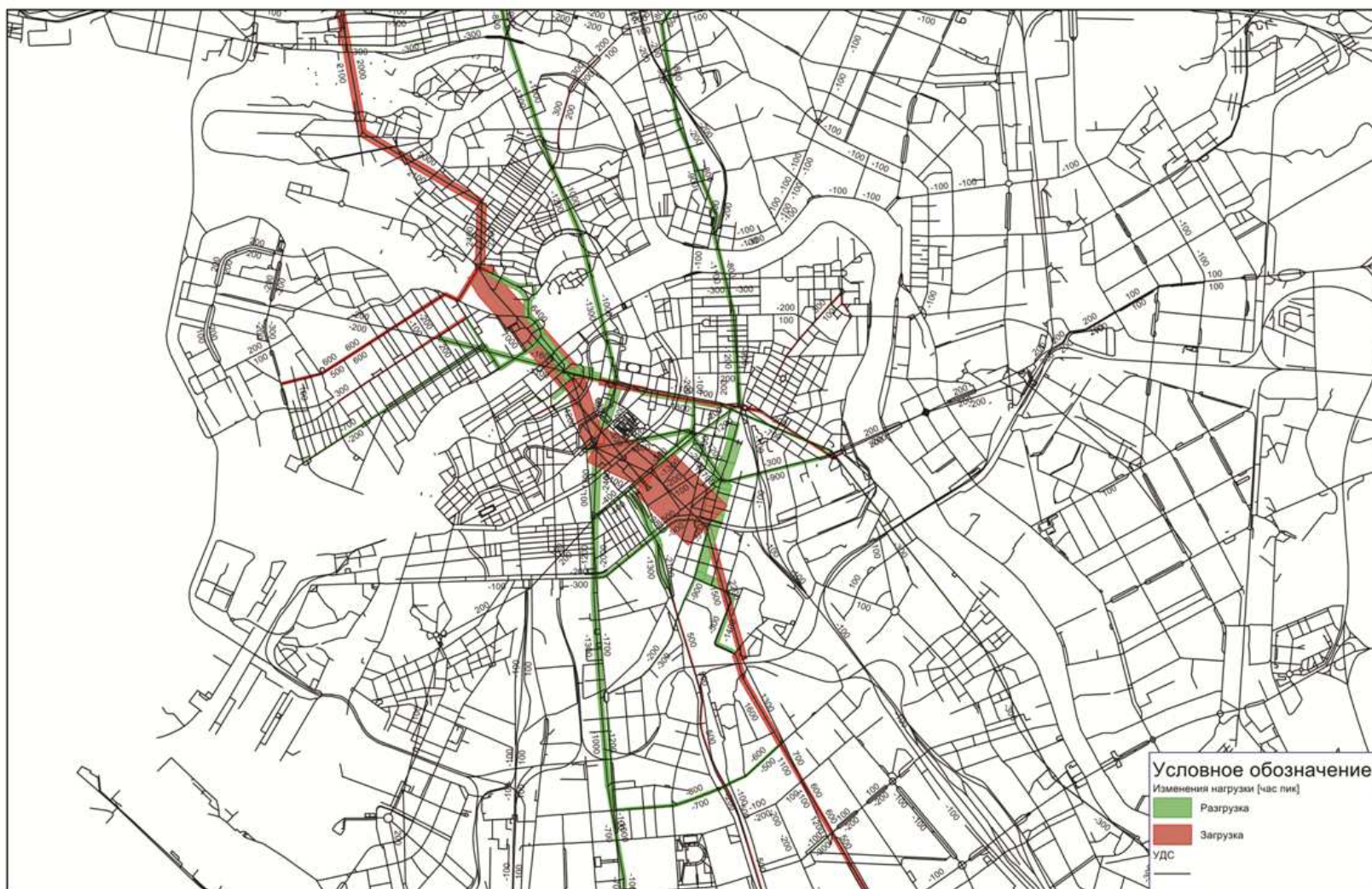


Рисунок П1. Прогнозная модель перераспределение транспортных потоков на улично-дорожной сети Санкт-Петербурга и внутренней сети метрополитена с вводом станций «Обводный канал» и «Адмиралтейская» по сравнению с исходной моделью.



Рисунок П2. Прогнозная модель перераспределение транспортных потоков на улично-дорожной сети Санкт-Петербурга и внутренней сети метрополитена с вводом станций «Бухарестская» и «Международная» по сравнению с моделью ввода станций «Обводный канал» и «Адмиралтейская», (пасс/сут).

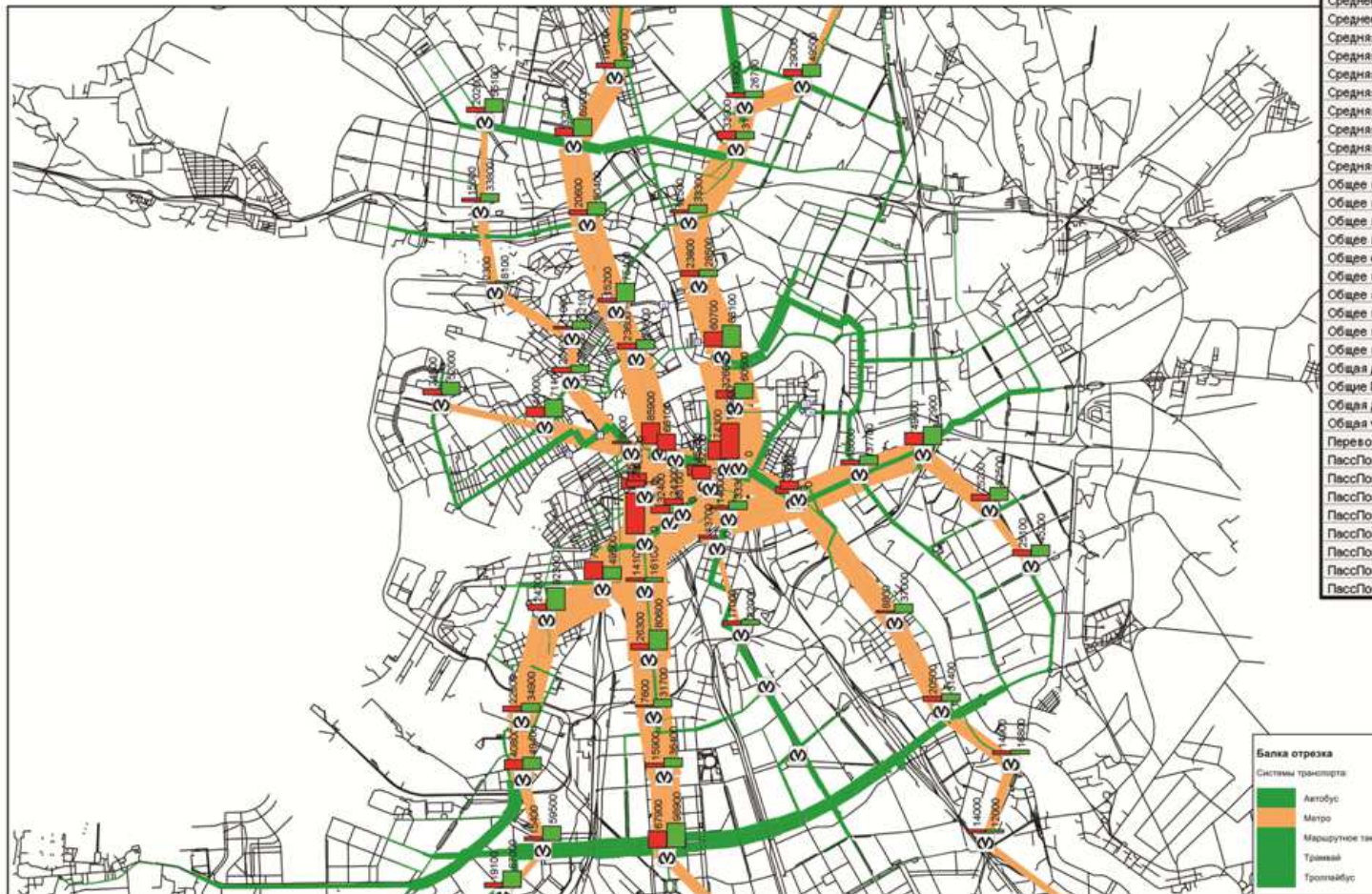


Рисунок ПЗ. Прогнозная модель перераспределение транспортных потоков на улично-дорожной сети Санкт-Петербурга и внутренней сети метрополитена с вводом станций «Адмиралтейская», «Обводный канал», «Бухарестская» и «Международная» по сравнению с исходной моделью, (пасс/сут).



Среднее время поездки ОТ	47min 45s
Средняя время перевозки ОТ	33min 45s
Среднее время поездки в ТС ОТ	26min 19s
Среднее время пересадки ОТ	1min 9s
Среднее стартовое время ожидания	0s
Среднее время пешком при пересадке ОТ	6min 16s
Среднее время ОТ Дополнение ОТ	0s
Среднее время на начальный пеш. подход	7min
Среднее время на конечный пешеходный подход ОТ	7min
Среднее воспринимаемое время поездки ОТ	3h 50min 10s
Средняя длина поездки ОТ	17,109
Средняя длина перевозки	15,010
Средняя длина по воздушной линии ОТ	12,733
Средняя скорость поездки ОТ	21
Средняя скорость поездки в ТС ОТ	34
Средняя скорость по воздушной линии ОТ	16
Средняя частота пересадок ОТ	1,1
Средняя частота обслуживания ОТ	432,02
Общее время поездки ОТ	2024422h
Общее время перевозки	1430860h
Общее время поездки в ТС ОТ	1115960h 54min 11s
Общее время пересадки ОТ	49025h 45min 20s
Общее стартовое время ожидания ОТ	0s
Общее время пешком при пересадке ОТ	265873h 16min 25s
Общее время ОТ Дополнения	0s
Общее время на нач. пеш. подход ОТ	296781h 2min 33s
Общее время на кон. пеш. подход ОТ	296781h 2min 33s
Общее воспринимаемое время поездки ОТ	9758316h
Общая длина поездки ОТ	43522219,670
Общие ПассажирыКм ОТ	38181931,543
Общая длина по воздушной линии ОТ	32390387,614
Общая частота пересадок ОТ	2687788
Перевозки по маршрутам ОТ	5231626
ПассПоездкиОТ Всего	2601329
ПассПоездкиОТ (Пересадок)	610370
ПассПоездкиОТ 1Пересадка	1179147
ПассПоездкиОТ 2Пересадки	754321
ПассПоездкиОТ >2Пересадок	0
ПассПоездкиОТ с перевозкой	2543838
ПассПоездкиОТ без перевозки	0
ПассПоездкиОТ без пути следования	57492

Рисунок П4. Исходная модель пассажиропотока на внутренней сети метрополитена с показателями пассажиропотока на УДС Санкт-Петербурга, (пасс/сут).



Среднее время поездки ОТ	47min 42s
Средняя время перевозки ОТ	33min 42s
Среднее время поездки в ТС ОТ	26min 18s
Среднее время пересадки ОТ	1min 9s
Среднее стартовое время ожидания	0s
Среднее время пешком при пересадке ОТ	6min 15s
Среднее время ОТ Дополнение ОТ	0s
Среднее время на начальный пеш. подход	7min
Среднее время на конечный пешеходный подход ОТ	7min
Среднее воспринимаемое время поездки ОТ	3h 49min 44s
Средняя длина поездки ОТ	17,115
Средняя длина перевозки	15,005
Средняя длина по воздушной линии ОТ	12,733
Средняя скорость поездки ОТ	22
Средняя скорость поездки в ТС ОТ	34
Средняя скорость по воздушной линии ОТ	16
Средняя частота пересадок ОТ	1,1
Средняя частота обслуживания ОТ	434,00
Общее время поездки ОТ	2022672h
Общее время перевозки	1429109h
Общее время поездки в ТС ОТ	1115109h 43min 8s
Общее время пересадки ОТ	48702h 26min 26s
Общее стартовое время ожидания ОТ	0s
Общее время пешком при пересадке ОТ	265297h 17min 38s
Общее время ОТ Дополнения	0s
Общее время на нач. пеш. подход ОТ	296781h 2min 33s
Общее время на кон. пеш. подход ОТ	296781h 2min 33s
Общее воспринимаемое время поездки ОТ	9739724h
Общая длина поездки ОТ	43538652,202
Общие ПассажирКм ОТ	38170820,561
Общая длина по воздушной линии ОТ	32390387,814
Общая частота пересадок ОТ	2681747
Перевозки по маршрутам ОТ	5225585
ПассПоездкиОТ Всеот	2601329
ПассПоездкиОТ 0Пересадок	612518
ПассПоездкиОТ 1Пересадка	1180892
ПассПоездкиОТ 2Пересадки	750428
ПассПоездкиОТ >2Пересадок	0
ПассПоездкиОТ с перевозкой	2543838
ПассПоездкиОТ без перевозки	0
ПассПоездкиОТ без пути следования	57492

Рисунок П5. Прогнозная модель пассажиропотока на внутренней сети метрополитена с вводом станций «Обводный канал» и «Адмиралтейская» с показателями пассажиропотока на УДС Санкт-Петербурга, (пасс/сут).

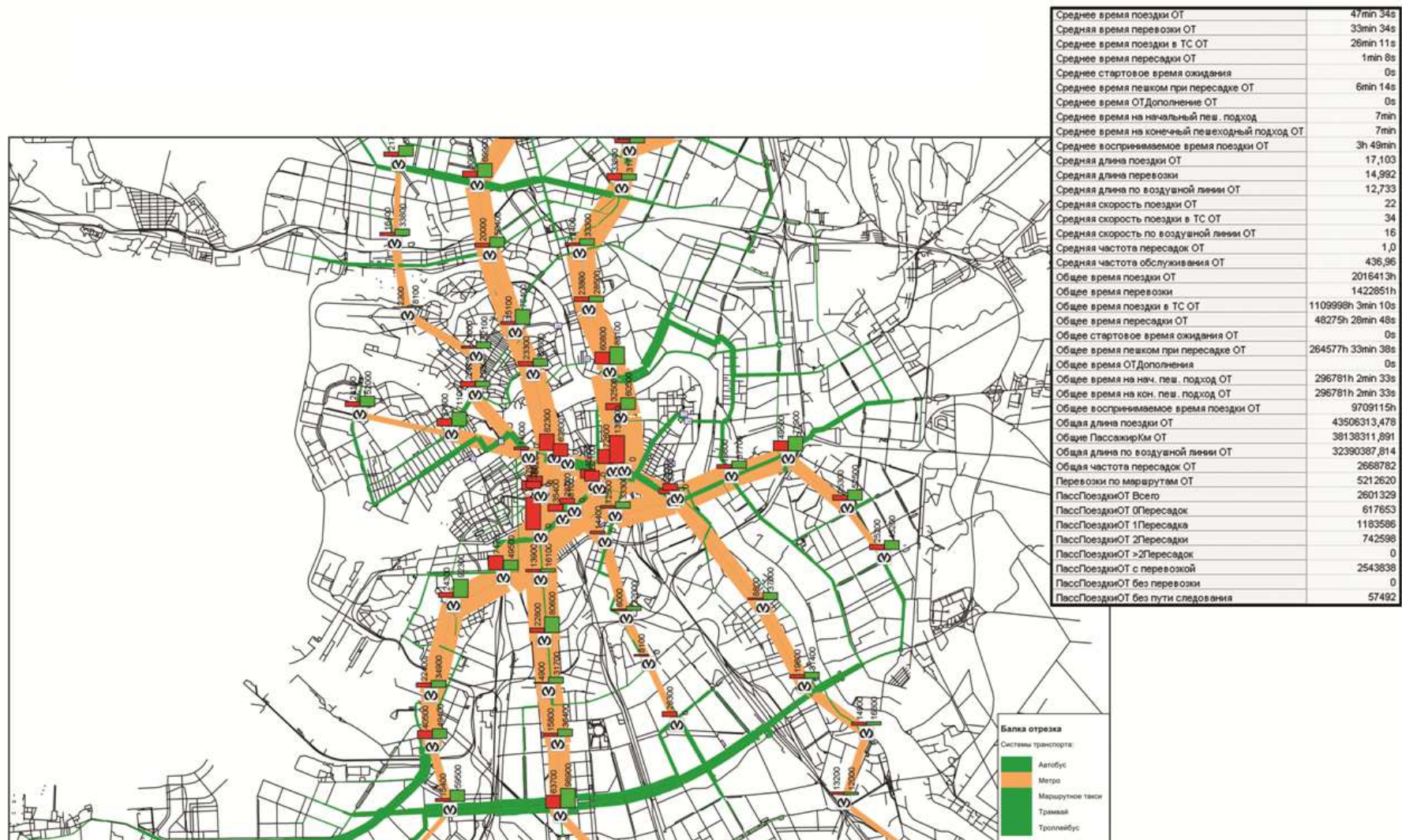


Рисунок П6. Прогнозная модель пассажиропотока на внутренней сети метрополитена с вводом станций «Адмиралтейская», «Обводный канал», «Бухарестская» и «Международная» с показателями пассажиропотока на УДС Санкт-Петербурга, (пасс/сут).



Среднее время поездки ОТ	47min 42s
Средняя время перевозки ОТ	33min 42s
Среднее время поездки в ТС ОТ	26min 18s
Среднее время пересадки ОТ	1min 9s
Среднее стартовое время ожидания	0s
Среднее время пешком при пересадке ОТ	6min 15s
Среднее время ОТ Дополнение ОТ	0s
Среднее время на начальный пеш. подход	7min
Среднее время на конечный пешеходный подход ОТ	7min
Среднее воспринимаемое время поездки ОТ	3h 49min 44s
Средняя длина поездки ОТ	17,115
Средняя длина перевозки	15,005
Средняя длина по воздушной линии ОТ	12,733
Средняя скорость поездки ОТ	22
Средняя скорость поездки в ТС ОТ	34
Средняя скорость по воздушной линии ОТ	16
Средняя частота пересадок ОТ	1,1
Средняя частота обслуживания ОТ	434,00
Общее время поездки ОТ	2022672h
Общее время перевозки	1429109h
Общее время поездки в ТС ОТ	1115109h 43min 8s
Общее время пересадки ОТ	48702h 26min 26s
Общее стартовое время ожидания ОТ	0s
Общее время пешком при пересадке ОТ	265297h 17min 38s
Общее время ОТ Дополнения	0s
Общее время на нач. пеш. подход ОТ	296781h 2min 33s
Общее время на кон. пеш. подход ОТ	296781h 2min 33s
Общее воспринимаемое время поездки ОТ	9739724h
Общая длина поездки ОТ	43538652,202
Общие ПассажирКм ОТ	38170820,561
Общая длина по воздушной линии ОТ	32390387,614
Общая частота пересадок ОТ	2681747
Перевозки по маршрутам ОТ	5225585
ПассПоездкиОТ Всего	2601329
ПассПоездкиОТ 0Пересадок	612518
ПассПоездкиОТ 1Пересадка	1180892
ПассПоездкиОТ 2Пересадки	750428
ПассПоездкиОТ >2Пересадок	0
ПассПоездкиОТ с перевозкой	2543838
ПассПоездкиОТ без перевозки	0
ПассПоездкиОТ без пути следования	57492

Рисунок П7. Пассажиропоток на внутренней сети метрополитена при вводе станций «Адмиралтейская», «Обводный канал» (пасс/сут).

Таблица П.1. Прогноз расчета суточного пассажиропотока на внутренней сети метрополитена по всем трем сценариям, (пасс/сут).

Таблица прогнозного расчета суточного пассажиропотока на внутренней сети метрополитена на 2010г, 2011г и 2012г. (пасс/сут)											
Станции метрополитена	2010			2011			2012			2010-2011	2010-2012
	Выход	Вход	Общее	Выход	Вход	Общее	Выход	Вход	Общее	Общее	Общее
ПРИМОРСКАЯ	22158	24745	46903	21919	24509	46428	21479	24099	45578	-475	-1325
ПРОСПЕКТ ВETERANОВ I	20242	19091	39333	20242	19090	39332	20242	19090	39332	-1	-1
СТАРАЯ ДЕРЕВНЯ	14336	14951	29287	14759	15585	30344	15814	16435	32249	1057	2962
КОМЕНДАНТСКИЙ ПРОСПЕКТ	22313	18733	41046	23851	20173	44024	25238	21715	46953	2978	5907
КРЕСТОВСКИЙ ОСТРОВ	2876	2251	5127	2876	2255	5131	2877	2255	5132	4	5
АВТОВО	43535	40750	84285	43678	40767	84445	43342	40540	83882	160	-403
КИРОВСКИЙ ЗАВОД	18265	22310	40575	18251	22319	40570	18245	22387	40632	-5	57
ЛЕНИНСКИЙ ПРОСПЕКТ	14464	15372	29836	14474	15365	29839	14365	15414	29779	3	-57
НАРВСКАЯ	22178	24217	46395	22191	24224	46415	22228	24307	46535	20	140
ВАСИЛЕОСТРОВСКАЯ	38227	40861	79088	36896	40031	76927	35065	37599	72664	-2161	-6424
СПОРТИВНАЯ	19240	20137	39377	21133	22361	43494	24786	26641	51427	4117	12050
ЧКАЛОВСКАЯ	9773	10608	20381	9989	10953	20942	9993	10955	20948	561	567
ПИОНЕРСКАЯ	28866	33163	62029	27857	32125	59982	26854	30789	57643	-2047	-4386
БАЛТИЙСКАЯ	78258	71661	149919	78170	71858	150028	78232	71733	149965	109	46
ЧЕРНАЯ РЕЧКА	19015	20956	39971	18965	20556	39521	18471	20007	38478	-450	-1493
ПЕТРОГРАДСКАЯ	17767	15291	33058	17767	15215	32982	17516	15075	32591	-76	-467
УДЕЛЬНАЯ	18400	19004	37404	18470	19099	37569	18504	19039	37543	165	139
САДОВАЯ	47277	47150	94427	46537	45745	92282	48834	47939	96773	-2145	2346
ФРУНЗЕНСКАЯ	15213	14651	29864	15011	14056	29067	14815	13927	28742	-797	-1122
МОСКОВСКИЕ ВОРОТА	23814	26949	50763	23382	26270	49652	21952	22810	44762	-1111	-6001
ГОРЬКОВСКАЯ	21135	23655	44790	21114	23641	44755	21577	23264	44841	-35	51
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ	165370	166672	332042	164600	165866	330466	162365	163816	326181	-1576	-5861
ЭЛЕКТРОСИЛА	12149	7798	19947	11814	7612	19426	6857	4942	11799	-521	-8148
СЕННАЯ ПЛОЩАДЬ	45995	45967	91962	47080	46922	94002	51494	50216	101710	2040	9748
ОЗЕРКИ	15814	16832	32646	15791	16830	32621	15647	16708	32355	-25	-291
МОСКОВСКАЯ I	59587	68153	127740	58882	67937	126819	53506	63690	117196	-921	-10544
ПАРК ПОБЕДЫ	18466	15911	34377	18488	15943	34431	18223	15829	34052	54	-325
НЕВСКИЙ ПРОСПЕКТ I	107574	89291	196865	103145	85950	189095	97501	82298	179799	-7770	-17066
ПУШКИНСКАЯ	28108	32626	60734	28683	32447	61130	31183	35372	66555	396	5821
ПАРНАС	3260	3078	6338	3260	3079	6339	3261	3080	6341	1	3
ПРОСПЕКТ ПРОСВЕЩЕНИЯ	45577	47567	93144	45616	47747	93363	45577	47554	93131	219	-13
ГОСТИНЫЙ ДВОР	63121	67394	130515	62998	66091	129089	62070	62848	124918	-1426	-5597
ЛЕСНАЯ	13975	12634	26609	13794	12454	26248	13745	12421	26166	-361	-443
ВЛАДИМИРСКАЯ	43464	46222	89686	43068	45694	88762	43121	45551	88672	-924	-1014
ВЫБОРГСКАЯ	22668	23774	46442	22668	23774	46442	22660	23771	46431	0	-11
ВЛАДИМИРСКАЯ	63922	52315	116237	64068	52184	116252	62613	52081	114694	15	-1543
ЗВЕЗДНАЯ	3775	1298	5073	3740	1162	4902	3736	1162	4898	-171	-175
МАЯКОВСКАЯ	85948	75284	161232	84683	74310	158993	79383	72613	151996	-2239	-9236
ЛИГОВСКИЙ ПРОСПЕКТ	22116	18083	40199	17892	14023	31915	15610	12530	28140	-8284	-12059
ПЛ. ЛЕНИНА	60689	61013	121702	60592	60745	121337	59532	60779	120311	-365	-1391
ЧЕРНЫШЕВСКАЯ	38470	32691	71161	38354	32639	70993	38185	32466	70651	-168	-510
ПЛОЩАДЬ ВОССТАНИЯ I	123801	145225	269026	120189	142887	263076	119778	139165	258943	-5950	-10083
ПЛОЩАДЬ МУЖЕСТВА	39238	34238	73476	38898	33948	72846	38733	33763	72496	-630	-980
ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ	18365	19289	37654	18100	18935	37035	17926	18924	36850	-619	-804
КУПЧИНО	31708	36601	68309	31634	35826	67460	31172	34190	65362	-849	-2947
ПЛОЩАДЬ АЛЕКСАНДРА НЕВСКОГО II	31036	25802	56838	30293	25502	55795	30735	25553	56288	-1043	-550
ПЛОЩАДЬ АЛЕКСАНДРА	36107	34011	70118	35762	33811	69573	35393	33659	69052	-545	-1066
АКАДЕМИЧЕСКАЯ	27867	29188	57055	27832	29037	56869	27779	28955	56734	-186	-321
НОВОЧЕРКАССКАЯ	20040	18540	38580	20025	18556	38581	20184	18650	38834	1	254
ГРАЖДАНСКИЙ ПРОСПЕКТ	27885	26184	54069	27936	26227	54163	28009	26256	54265	94	196
ЕЛИЗАРОВСКАЯ	11570	8829	20399	11565	8828	20393	11568	8823	20391	-6	-8
ЛАДОЖСКАЯ	37999	49556	87555	37826	49553	87379	37906	49478	87384	-176	-171
ДЕВЯТКИНО	677	679	1356	679	679	1358	673	679	1352	2	-4
ЛОМОНОСОВСКАЯ	15737	20478	36215	15734	20466	36200	15541	19599	35140	-15	-1075
ОБУХОВО	13553	14003	27556	13285	13964	27249	12792	13218	26010	-307	-1546
ПРОСПЕКТ БОЛЬШЕВИКОВ	28007	25164	53171	28037	25178	53215	28127	25253	53380	44	209
ПРОЛЕТАРСКАЯ	13838	14922	28760	13838	14922	28760	13837	14922	28759	0	-1
УЛИЦА ДЫБЕНКО	26982	25106	52088	26958	25086	52044	27026	25233	52259	-44	171
РЫБАЦКОЕ	21495	21227	42722	21495	21244	42739	21495	21243	42738	17	16
ВОЛКОВСКАЯ	15956	14892	30848	17456	17043	34499	8584	8008	16592	3651	-14256
ОБВОДНЫЙ КАНАЛ	0	0	0	12403	13658	26061	13185	14448	27633	26061	27633
ЗВЕНИГОРОДСКАЯ	16207	21136	37343	18963	24296	43259	23351	28703	52054	5916	14711
СПАСКАЯ	23976	21968	45944	28286	25530	53816	37749	35015	72764	7872	26820
Бухарестская	0	0	0	0	0	0	11734	8106	19840	0	19840
АДМИРАЛТЕЙСКАЯ	0	0	0	12053	9914	21967	14202	14005	28207	21967	28207
Международная	0	0	0	0	0	0	25095	26323	51418	0	51418

снижение пассажиропотока, чел/сут
увеличение пассажиропотока, чел/сут