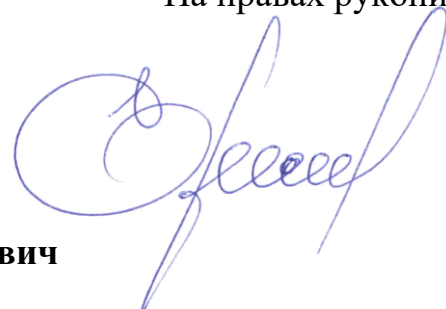


Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»

На правах рукописи



Еремин Сергей Васильевич

**МЕТОДОЛОГИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕВОЗОК ПАССАЖИРОВ
ГОРОДСКИМ ОБЩЕСТВЕННЫМ ТРАНСПОРТОМ В УСЛОВИЯХ
ПЕРСПЕКТИВНОГО ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ГОРОДА**

Специальность 2.9.4. Управление процессами перевозок

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени

доктора технических наук

Научный консультант

д-р техн. наук, профессор

Новиков Александр Николаевич

Орел, 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ И МОДЕЛЕЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ГОРОДОВ И РЕГИОНОВ	13
1.1. Проблемы, задачи и методы развития транспортных систем	13
1.1.1. Методология развития транспортных систем за рубежом	13
1.1.2. Стратегия Avoid-Shift-Improve	15
1.1.3. Современная методология развития транспортных систем в России	21
1.1.4. Стратегии транспортной политики в зависимости от типа застройки городов	25
1.2. Методы моделирования транспортных сетей	28
1.2.1. Формализации случайных графов в модели транспортной сети	28
1.2.2. Инструментальные средства моделирования транспортных сетей	30
1.3. Показатели эффективности и методы моделирования маршрутных сетей ...	38
1.3.1. Система показателей качества транспортного обслуживания населения наземным пассажирским транспортом общего пользования	38
1.3.2. Показатели эффективности систем массового обслуживания	44
1.3.3. Статистическая обработка результатов транспортного моделирования	45
1.4. Методы обработки данных дорожно-транспортных происшествий	49
Выводы по главе 1	55
2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ В РАМКАХ ПЕРСПЕКТИВНОГО ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ	57
2.1. Принципы моделирования транспортных систем	57
2.1.1. Общие проблемы моделирования и реконструкции транспортных систем	57
2.1.2. Формальное описание элементов и построение модели транспортной системы	59
2.1.3. Моделирование нестационарных процессов	62
2.2. Формирование проектных решений выбора вида перекрестков	64

2.2.1. Критерии выбора вида перекрестка на основе нормативной базы Российской Федерации.....	66
2.2.2. Круговое движение	69
2.2.3. Результаты моделирования.....	72
2.2.4. Рекомендации выбора типов пересечений	74
2.3. Светофорное регулирование	77
2.3.1. Оценка резервов пропускной способности УДС, оптимальный уровень загрузки	79
2.3.2. Основные принципы расчета программы регулирования.....	81
2.3.3. Расчет программы регулирования.....	85
2.4. Разработка плана реконструкции перекрестка улиц Академика Киренского и Копылова.....	88
2.4.1. Существующая схема перекрестка улиц Академика Киренского и Копылова	88
2.4.2. Предложенная схема перекрестка улиц Академика Киренского и Копылова	93
2.4.3. Сравнительный анализ существующей и предложенной схем.....	97
2.4.4. Эффект строительства четвертого моста через р. Енисей.....	100
2.5. Прогноз динамики матрицы корреспонденций в свете расширения жилищного строительства.....	107
2.5.1. Равновесные модели управления транспортными системами крупных городов	107
2.5.2. Методика нечеткого вывода при оценке спроса на жилье в различных районах	113
2.5.3. Программная поддержка системы нечеткого вывода в системе MatLab	122
2.5.4. Примеры оценки спроса на жилье в районах с различной инфраструктурой.....	125
2.5.5. Изменение матрицы корреспонденций.....	128

2.5.6. Поиск компромиссов по транспортному строительству как задача многокритериальной оптимизации	129
Выводы по главе 2.....	131
3. ОРГАНИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЕДИНОГО ЖИЛИЩНО-ТРАНСПОРТНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ.....	134
3.1. Концептуальная схема имитационной модели маршрутной сети города ...	134
3.2. Статистический анализ пассажиропотоков	136
3.2.1. Анализ ежедневного пассажиропотока за год	140
3.2.2. Показатели неравномерности пассажиропотоков	144
3.2.3. Анализ почасового временного ряда пассажиропотоков за день	146
3.2.4. Анализ пятнадцатиминутного временного ряда пассажиропотоков ...	149
3.3. Разработка имитационной модели обслуживания маршрута	152
3.3.1. Имитационная модель одиночного маршрута	153
3.3.2. Модели генерации нестационарных взаимосвязанных пассажиропотоков	154
3.3.3. Модели формирования матрицы межостановочных пассажирских корреспонденций.....	157
3.3.4. Модели расчета вероятностей конечной остановки.....	162
3.4. Метод оценки необходимого состава парка для обслуживания маршрута.	165
3.4.1. Аналитические модели оценки времени ожидания пассажиров и затрат АТП на содержание маршрута	166
3.4.2. Упрощенная оптимизационная задача выбора состава парка.....	168
3.4.3. Эвристический алгоритм подбора парка	169
3.4.4. Задача выбора в многокритериальной постановке.....	171
Выводы по главе 3.....	174
4. ФОРМИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ПЕРСПЕКТИВНОГО ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ГОРОДА	176
4.1. Статистика ДТП до проведения мероприятий по повышению БДД	176

4.1.1. Статистический анализ ДТП.....	176
4.1.2 Временные ряды как базовая теория описания статистики ДТП	178
4.1.3 Выявление узких мест по аварийности.....	181
4.2. Методы оценки эффективности мероприятий по повышению БДД.....	182
4.2.1. Формирование критериев безопасности.....	183
4.2.2. Зависимость между безопасностью дорожного движения и пропускной способностью	185
4.2.3. Многокритериальная оценка безопасности	187
4.2.4. Рекомендации по формированию системы автоматизированной оценки БДД.....	189
4.2.5. Метод конфликтных точек при моделировании БДД.....	193
4.3. Определение зависимости количества ДТП по временному фактору	194
4.3.1. Раздельный анализ по отдельным факторам времени	194
4.3.2. Гамма распределение и распределение Релея.....	196
4.3.3. Анализ структуры данных ДТП	197
4.3.4. Теоретические аспекты нелинейного оценивания	200
4.3.5. Анализ структуры данных с усреднением по годам	201
4.3.6. Мультипликативная регрессия	205
Выводы по главе 4.....	207
5. ЦИФРОВИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГОРОДСКИМ ОБЩЕСТВЕННЫМ ТРАНСПОРТОМ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕРОПРИЯТИЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ГОРОДА КРАСНОЯРСКА.....	209
5.1. Схема гибридной интеграции моделей компонентов транспортной системы.....	209
5.2. Описание механизмов формального представления карты поведения.	212
5.3. Правила интерпретации синхронного параллельного гибридного автомата.....	213
5.4. Моделирование транспортных потоков	216

5.5. Общие принципы формирования механизмов управления сетевым планированием транспортной системы города.....	218
5.6. Предложения по совершенствованию (реорганизации) системы управления дорожно-транспортным комплексом города.....	220
5.7. Развитие инфраструктуры интеллектуальных транспортных систем в рамках функционирования общественного транспорта общего пользования .	227
5.8. Эффективность мероприятий совершенствования транспортной системы города Красноярска.....	241
Выводы по главе 5.....	247
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	249
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	253
ПРИЛОЖЕНИЕ А	279
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	290
ПРИЛОЖЕНИЕ В	298

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Многие ученые сходятся во мнении, что одна из важнейших проблем современных городов Российской Федерации – вопрос адекватного транспортного планирования. В советское время вопросам организации дорожного движения уделялось значительное внимание. Однако, начиная с 1990-х гг., намечается тенденция интенсивного роста автомобилизации населения, и транспортные системы городов оказались неготовыми к такому вызову. Почти повсеместно они сталкивались с проблемой транспортных заторов, следствием которых становилось снижение скорости движения. В этот период основной удар принял на себя пассажирский транспорт общего пользования, отмена административной системы управления и появление частных перевозчиков привело к катастрофическому снижению качества транспортного обслуживания населения. В результате ни индивидуальный, ни общественный транспорт не готов был должным образом удовлетворить потребность в передвижении. Проблема усугублялась слабо развитой системой транспортного и градостроительного планирования. Застройка новых микрорайонов не сопровождалась расчетами транспортного спроса, в итоге они оказывались почти изолированными от системы общественного транспорта общего пользования, что еще больше способствовало росту автомобилизации, и – как следствие – росту транспортных заторов.

Значение общественного пассажирского транспорта трудно переоценить, прежде всего на нем лежат социальные функции. Качественный общественный транспорт способен снизить нагрузку на улично-дорожную сеть и решить проблему транспортных заторов, однако для достижения этого требуется, чтобы он стал по-настоящему привлекательным для населения и мог составить конкуренцию личному автомобилю.

Все сказанное выше подчеркивает актуальность проблемы совершенствования пассажирских перевозок в городах, так как они оказывают влияние не только на экономическое развитие, но и на состояние городской среды в целом. Поэтому для многих администраций населенных пунктов решение этой

проблемы имеет первостепенное значение, требующее незамедлительного решения.

Степень разработанности проблемы. Научным и практическим разработкам по повышению эффективности работы городского общественного транспорта в России и за рубежом, а также проблемам организации оптимальных транспортных систем городов посвящены труды таких ученых как В.А. Гудков, Л.Б. Миротин, И.В. Спирин, О.Н. Ларин, М.Е. Антошвили, М.Д. Блатнов, А.В. Вельможин, И.С. Ефремов, М.Р. Якимов, А.Э. Горев, В.Д. Герами, В.В. Сильянов, Ю.Н. Ризаева, А.Н. Новиков, С.В. Жанказиев, В.В. Зырянов, И.Е. Агуреев, Н.Н. Якунин, Н.В. Якунина, В.И. Рассоха, М.Я. Блинкин, Д.Б. Ефименко, В.В. Донченко, М.Е. Корягин, Е.М. Лобанов, А.В. Зедгенизов, П. Пржибыл, М. Свитек, В. Вучик, Я. Цибулка и другие, результаты исследований которых были использованы в данной работе.

Цель работы – развитие методологии перспективной организации транспортного обслуживания населения городов на основе компромиссных решений между градостроительной политикой и развитием транспортной системы.

Задачи исследования:

- 1) выполнить системный анализ методов и моделей проектирования транспортных систем городов и регионов;
- 2) разработать и научно обосновать теоретические положения равновесной модели жилищного и транспортного развития города на основе поиска компромиссного решения между выбором мест жилищной застройки и реализацией строительства транспортной инфраструктуры;
- 3) выполнить имитационное моделирование для обоснования рациональных решений по реконструкции ключевых участков улично-дорожной сети города Красноярска;
- 4) выполнить детальный статистический анализ маршрутов пассажирского транспорта города Красноярска с целью параметризации модельных пассажиропотоков;

5) научно обосновать метод определения матрицы межстаночных корреспонденций на основе аппроксимации взвешенной смесью нормальных распределений параметров стоков и истоков;

6) разработать метод многокритериальной оптимизации состава парка подвижного состава городского пассажирского транспорта;

7) разработать и научно-обосновать методику многокритериальной оценки обеспечения безопасности дорожного движения на основе новой зависимости между количеством ДТП и временным фактором для прогнозирования аварийности на улично-дорожной сети;

8) оценить эффективность применения разработанных научных положений на примере транспортной системы города Красноярска.

Объект исследования – процесс перевозки пассажиров городским общественным транспортом с учетом перспективного развития транспортной сети города.

Предмет исследования – причинно-следственные связи между процессами транспортного обслуживания населения пассажирским транспортом и градостроительными решениями на уровне муниципальных образований.

Научная новизна исследования

1. Разработаны и научно-обоснованы теоретические положения математической равновесной модели жилищного и транспортного развития города на основе нечеткого вывода для прогнозирования перспективных транспортных корреспонденций пассажиров.

2. Усовершенствована методика оптимизации парка подвижного состава городского пассажирского транспорта на основе аддитивной свертки временных затрат и стоимости подвижного состава путем последовательного поиска решения методом идеальной точки.

3. Получена зависимость между неравномерностью пассажиропотока на маршрутах городского общественного транспорта и пятнадцатиминутными временными интервалами путем спектрального и факторного анализа для повышения точности имитационного моделирования одиночного маршрута.

4. Получена зависимость между пассажиропотоками на всех остановочных пунктах городского общественного транспорта, представленная в виде главной компоненты, позволяющей осуществлять имитационное моделирование в условиях недостаточного объема исходных данных.

5. Усовершенствована математическая модель определения выходных корреспонденций на основе мультиэллиптического представления территориальной структуры города путем аппроксимации взвешенной смесью нормальных распределений параметров стоков и истоков.

6. Разработана и экспериментально подтверждена факторная модель максимизации пропускной способности участка улично-дорожной сети, позволяющая установить взаимосвязь значений интенсивностей транспортных потоков в различных направлениях.

7. Разработана и научно обоснована методика многокритериальной оценки факторов обеспечения безопасности дорожного движения на основе новой зависимости между количеством ДТП и мультипликативной функцией двух переменных: месяца и часа.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость работы заключается в разработке и обосновании методологии организации перевозок пассажиров городским общественным транспортом в условиях перспективного территориального развития города как совокупности определенных методов и математических моделей, схем и условий, технических решений, отражающих объективные закономерности в области транспортного планирования с использованием результатов статистического анализа для решения задачи параметризации аналитико-имитационной модели, алгоритма гибридной аналитико-имитационной модели обслуживания городского пассажирского маршрута.

Практическая значимость работы заключается в прикладном характере результатов исследований, которые использованы органами исполнительной власти и федеральными структурами на уровне субъекта, что подтверждено актами внедрения.

Методология и методы исследования

Диссертационная работа выполнена на основе научных исследований ведущих отечественных и зарубежных ученых в области организации пассажирских перевозок и транспортного планирования. Методы исследований: статистический анализ; математическая статистика и теория вероятностей; прогнозирование; нечеткая логика; математическое программирование; эксперимент.

Положения, выносимые на защиту

- Теоретические основы представления компромиссных решений между жилищным и транспортным развитием города на основе модели нечеткого вывода.
- Зависимость формирования неравномерностей пассажиропотока на маршрутах городского общественного транспорта Красноярска на пятнадцатиминутных временных интервалах.
- Зависимость между пассажиропотоками на всех остановочных пунктах города Красноярска, представленная в виде главной компоненты.
- Методика оптимизации парка подвижного состава городского пассажирского путем последовательного поиска решения методом идеальной точки.
- Математическая модель определения выходных корреспонденций на основе аппроксимации взвешенной смесью нормальных распределений параметров стоков и истоков.
- Факторная модель максимизации пропускной способности участка улично-дорожной сети, позволяющая установить взаимосвязь значений интенсивностей транспортных потоков в различных направлениях.
- Математическая модель, устанавливающая взаимосвязь между количеством ДТП и мультипликативной функцией двух переменных: месяца и часа.
- Эффективность применения разработанных научных положений на примере транспортной системы города Красноярска.

Степень достоверности и апробация результатов

Основные положения и результаты исследования доложены, обсуждены и одобрены на всероссийских и международных научно-практических конференциях, конгрессах и форумах: «Транспортные системы Сибири. Проблемы безопасности» (Красноярск, 2013); «Транспортные системы Сибири. Развитие транспортной системы как катализатор роста экономики государства» (Красноярск, 2016); «Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы» (Омск, 2019); «Современные направления и перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении» (Севастополь, 2019); «2019 International Conference on Digital Solutions for Automotive Industry, Roadway Maintenance and Traffic Control» (Чолпон-Ата, 2019); «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах» (Санкт-Петербург, 2020); «Современные проблемы машиностроения» (Томск, 2020); «Современные направления и перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении» (Севастополь, 2020); «2020 International Science and Technology Conference on Earth Science» (Владивосток, 2020); «Информационные технологии и инновации на транспорте» (Орел, 2019-2021); Kazan Digital Week – 2020 (Казань, 2020).

Основные положения диссертации опубликованы в 34 статьях, из них 14 – в научных изданиях, включенных в перечень рецензируемых и рекомендованных ВАК РФ для опубликования основных научных результатов диссертаций; 4 – в изданиях, включенных в зарубежную аналитическую базу данных Scopus; 2 – в изданиях, включенных в зарубежную аналитическую базу данных Web of Science.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего 202 наименования, и трех приложений. Текст диссертации изложен на 299 страницах, включает 44 таблицы, 149 рисунков.

1. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ И МОДЕЛЕЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ГОРОДОВ И РЕГИОНОВ

1.1. Проблемы, задачи и методы развития транспортных систем

В сложившейся в России практике территориального и градостроительного планирования, по мнению экспертов, наблюдается недостаточное внимание к стадии планирования развития транспортной инфраструктуры [20, 40, 135, 149, 166]. Среди причин выделяются как специфичные для нашей страны, так и характерные для многих других государств.

1.1.1. Методология развития транспортных систем за рубежом

В настоящее время во многих странах мира методология организации и развития транспортных систем основывается на применении инструмента интегрированного транспортного планирования, а также на разработке взаимосвязанных нормативных документов о среднесрочном и стратегическом планировании развития транспортных систем городов и регионов [55, 73, 98, 121, 135, 154, 171]. Интегрированное транспортное планирование предусматривает принятие во внимание в процессе разработки планов развития транспортной системы множества аспектов (Рисунок 1.1) [93].

Идея интегрированного транспортного планирования заключается в многоуровневом стратегическом планировании на основе комплексных критериев для решения проблем транспортной системы города и региона, а также прогнозировании и обеспечении устойчивого развития в будущем.

Планирование выстраивается следующим образом [13, 93, 171, 193]:

- планирование на краткосрочную перспективу;
- решение первоочередных проблем;
- быстрое устранение актуальных дефицитов пропускной способности;

- планирование на среднесрочную и долгосрочную перспективы;
- функциональная и устойчивая транспортная система;
- преодоление негативных эффектов трафика;
- прогнозирование и учёт структурных изменений в будущем.

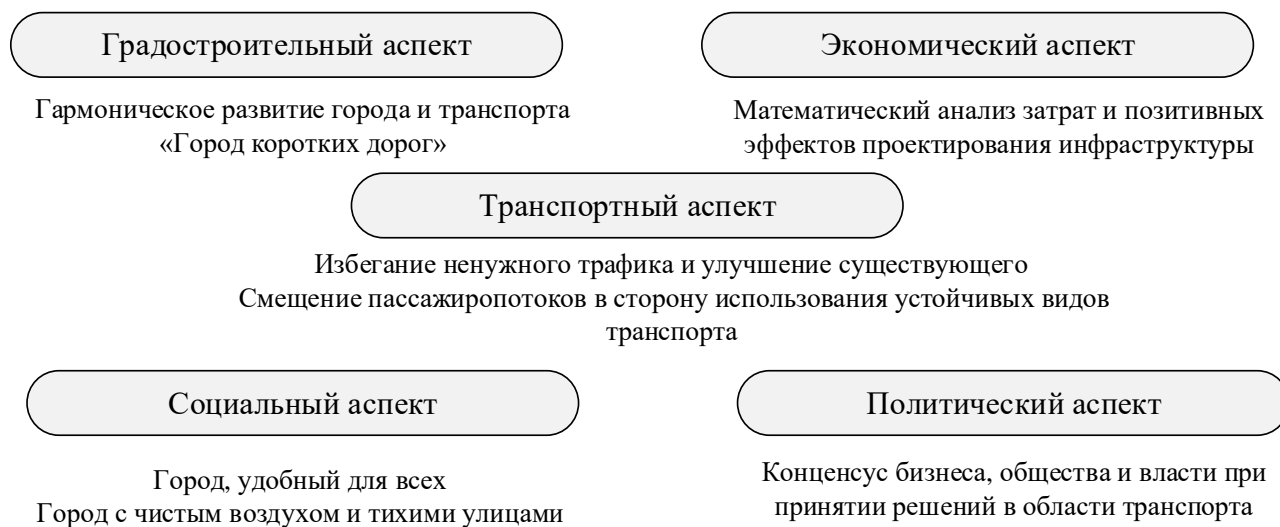


Рисунок 1.1 Аспекты интегрированного транспортного планирования

Методика интегрированного транспортного планирования учитывает уровни интегрированности процессов [86, 90, 98, 171]: вертикальная пространственная интеграция, т.е. согласованность с региональными и федеральными планами транспортного развития во избежание появления системных несогласованностей и «узких мест»; горизонтальная пространственная интеграция, т.е. согласованность с транспортным развитием соседних территориальных субъектов, согласованность развития экспорта транспортных услуг; мультимодальная (интермодальная) интеграция, т.е. согласованное использование транспортных систем для построения сетей с высокоразвитыми структурными связями.

Мультимодальная интеграция включает в себя следующие процессы:

- аддитивная интеграция: различные виды транспорта дополняют друг друга в разных сферах применения (например, внутригородские перевозки – пригородные перевозки – дальнемагистральные перевозки);

- субсидиарная интеграция: различные виды транспорта работают вместе в различных сферах применения по принципу комбинирования;
- замещающая интеграция: различные виды транспорта могут заменять друг друга.

Интеграция на уровне мероприятий – согласованность отдельных планировочных мероприятий в рамках единой стратегии развития.

В понятие интегрированного транспортного планирования также входят:

- оценка социальных, экономических, экологических и культурных аспектов;
- оценка воздействий на физическое, психическое и эмоциональное состояние населения;
- сравнение и оценка индивидуальных потерь и выгоды с общественными потерями и выгодой;
- обеспечение и расширение возможностей участия граждан в процессах планирования, а также возможностей обмена мнениями и информацией между экспертами связанных областей;
- снижение негативных нагрузок на окружающую среду и городской облик;
- прочие аспекты.

1.1.2. Стратегия Avoid-Shift-Improve

В соответствии с основными регламентными и нормативными документами в европейских странах предусматривается развитие транспортных систем с применением следующих трёх основных концепций [20, 40, 200].

1. Избегать ненужных транспортных корреспонденций (avoid). Данная стратегия предполагает создание компактного города, «города коротких дорог», в котором значительная часть транспортных корреспонденций может быть совершена лишь при помощи пешеходных перемещений, а также с использованием велосипеда или городского пассажирского транспорта.

2. Улучшать существующий транспорт (improve). Данная стратегия предусматривает модернизацию транспортных систем и транспортных средств и приоритетное использование инновационных технологий в транспортировке грузов и людей. Приоритет отдаётся транспортным средствам с электродвигателями, а также другим экологически чистым технологиям.

3. Перенаправление пассажиропотоков в пользу наиболее экологически чистых и экономически эффективных транспортных систем (shift). Данная стратегия предполагает смещение пассажиропотоков по следующей цепочке: от личного моторизованного транспорта к транспорту общего пользования → к электротранспорту → к рельсовому транспорту → к немоторизованным средствам передвижения (рисунок 1.2).

Инструменты политики Avoid-Shift-Improve делятся на планировочные (П), регуляторные (Р), экономические (Э), информационные (И) и технологические (Т).

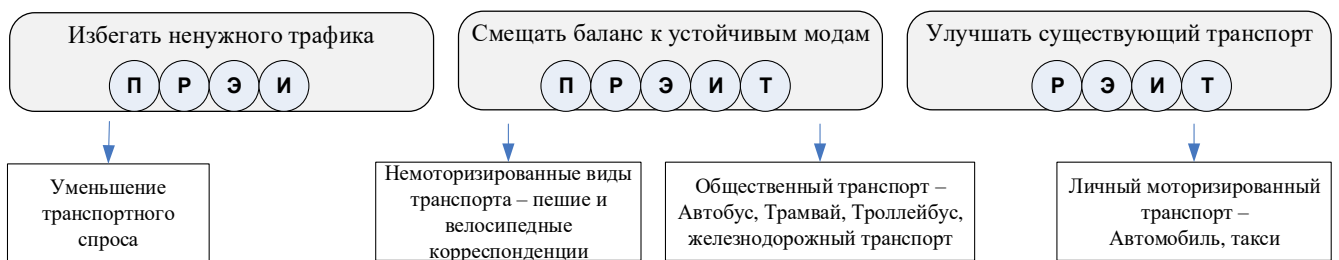


Рисунок 1.2 Инструменты и принципы стратегии Avoid-Shift-Improve

Под **планировочными** инструментами [20, 28, 40, 185, 200] следует понимать инструменты планирования транспортной инфраструктуры, а также градостроительного планирования. Так, в качестве стратегии избегания ненужных транспортных корреспонденций среди планировочных инструментов выделяют высокоплотную застройку городских территорий со смешанным характером использования, строительство логистических хабов/узлов. В контексте стратегии перенаправления пассажиропотоков (shift) выделяют: планирование мультимодальных систем общественного транспорта; строительство высококачественной инфраструктуры для немоторизованных видов передвижений (пешеходная, велосипедная инфраструктура); планирование

развития водного и железнодорожных путей сообщения для создания конкуренции автомобильным грузоперевозкам.

Регуляторные инструменты [20, 28, 40, 200] включают в себя весь набор административно-правовых воздействий, доступных муниципалитетам. К таким инструментам относятся: ограничение парковки, запрет на въезд в определённые районы или проезд по отдельным улицам, установление ставок акцизов на топливо и прочие фискальные меры. В части стратегии улучшения существующего трафика выделяют такие регуляторные инструменты, как создание более жёстких экологических стандартов для транспортных средств, установление значений максимальной скорости на дорогах общего пользования, а также системы контроля за соблюдением этих скоростей [120].

Набор **экономических** инструментов [20, 28, 40] состоит из мер ограничительного характера и различных программ субсидирования. Так, при реализации стратегии избегания ненужного трафика, могут применяться всевозможные фискальные меры, относящиеся к парковочной политике, к использованию участков платных дорог, к обложению дополнительными платежами владельцев транспортных средств устаревших экологических классов. В процессе реализации стратегии смещения модального распределения в сторону наиболее эффективных и экологически чистых видов транспорта могут применяться субсидирование систем общественного транспорта, а также всевозможные ограничительные фискальные меры по отношению к личному автотранспорту. В качестве инструментов реализации стратегии улучшения существующего трафика может быть использовано поощрение государством инвестирования разработки и производства энергоэффективных и экологически чистых транспортных средств и технологий транспортировки пассажиров и грузов за счёт средств финансовой и налоговой политики.

Информационными инструментами [20, 28, 40] стратегии Avoid-Shift-Improve является развитие систем информирования в общественном транспорте, планирования индивидуальных поездок и логистических решений, управления мобильностью. Кроме того, к информационным инструментам следует относить

также и всевозможные методы информирования населения по таким аспектам, как использование экологически чистых видов транспорта и альтернативных концептов мобильности.

Существуют также технологические инструменты реализации описанных стратегий. На современном этапе развития информационных технологий и экономических отношений реальной альтернативой ежедневной маятниковой трудовой миграции становятся методы удалённой работы сотрудников, проведения рабочих встреч, телеконференций. Распространение подобных методов удалённой работы позволяет снижать пиковые нагрузки на участках транспортной сети городов. В аспекте смещения модального распределения в пользу устойчивых видов транспорта технологическое перевооружение и модернизация систем общественного транспорта приводит к повышению их качества и эффективности, что положительно сказывается на их привлекательности для пользователей транспортной сети городов и регионов.

На уровне разработки технологий при проектировании отдельных транспортных средств реализуется стратегия улучшения существующего транспорта. Она включает в себя программы по приоритизации научно-технических работ, связанных с созданием экологически чистых транспортных средств, и технологической модернизации существующих транспортных технологий [148].

Так, на примере Германии в работе проведен анализ структуры нормативных документов, регламентирующих методологию развития транспортных систем. Можно выделить основной нормативный документ – План развития путей сообщения (Bundesverkehrswegeplan, 2004). Это документ, обновляемый раз в 10 – 12 лет, принятый на уровне федерального правительства и являющийся универсальным инструментом для регулирования инвестиционной политики и для транспортного планирования в духе политики интегрированного подхода. Документ охватывает все виды транспорта [16, 33, 68, 136, 150].

За строительством транспортной инфраструктуры признаётся ключевая роль в формировании пространственных связей между поселениями и муниципальными

образованиями. Программы долгосрочного планирования развития транспортной инфраструктуры и их высокая инвестиционная стоимость определяют необходимость создания рамочных инвестиционных планов с целью определения методики координированного транспортного планирования и развития мультимодальных систем.

Именно эту задачу выполняет План развития путей сообщения. Данный документ определяет на основе методики прогнозирования (для всех систем транспорта) и на основе системы оценочных критериев требуемые финансовые ресурсы для строительства новых и ремонта имеющихся путей сообщения.

Основные части Плана развития путей сообщения:

- прогнозы развития транспорта;
- предложения по мероприятиям строительства новой инфраструктуры и модернизации существующей;
- оценка проектов;
- упорядочивание проектов по их срочности;
- планы развития региональных транспортных систем.

Помимо общего Плана развития путей сообщения существуют и разрабатываются также документы, описывающие принципы транспортного планирования на общегородском уровне: Планы транспортного развития (Verkehrsentwicklungspläne) и Планы развития городского пассажирского транспорта (Nahverkehrspläne) [68]. В российской практике их аналогами являются Комплексные транспортные схемы. План транспортного развития, модифицированная версия Генерального плана развития транспорта 50-х гг., является на сегодня неотъемлемой частью интегрированного планирования городского развития.

План транспортного развития является стратегическим документом и не является обязательным к созданию регионами и муниципалитетами. Тем не менее он принят во многих субъектах, так как часто является основанием для выделения субъектам бюджетных средств из федерального бюджета в приоритетном порядке.

Таким образом, на государственном управленческом уровне поощряется стремление муниципалитетов осуществлять стратегическое планирование.

В зависимости от глубины проработки План транспортного развития содержит следующие составные части:

- постановка целей;
- выявление образцового референтного кейса для планирования;
- создание транспортной модели с использованием компьютерной симуляции;
- проработка сценариев развития;
- мультимодальный анализ;
- план вовлечения жителей в процесс планирования;
- план мероприятий, включая инфраструктурные и административно-управленческие;
- оценка и контроль за исполнением.

Среди целей таких нормативных документов следует отметить:

- повышение привлекательности центральной части города за счёт оптимального использования всех видов транспорта;
- улучшение условий для велосипедного движения;
- успокоение трафика на широкой городской территории, введение зон с ограничением скорости 30 км/ч;
- повышение пропускной способности важнейших узловых пунктов существующей сети за счёт оптимизации;
- перепланировка улиц с повышением привлекательности уличного пространства;
- планирование отвода грузового транспорта по объездным магистралям;
- планирование работы с общественностью для разъяснения необходимости тех или иных мероприятий.

1.1.3. Современная методология развития транспортных систем в России

Среди специфических для России причин отставания развития стоит отметить восстановление права частной собственности на землю, резкий рост автомобилизации, делегирование прав и обязанностей по развитию территорий органам местного самоуправления, переориентация товарно-транспортных потоков. Ход этих процессов не поддавался серьёзному планированию.

Хотя из градостроительной деятельности, принятый в 2004 году Градостроительный кодекс РФ исключил аспекты планирования транспортной системы, тем не менее в последние годы многие города разрабатывают транспортные разделы генеральных планов даже несмотря на отсутствие законодательных требований. К этому приводит осознание наличия серьёзных проблем и несогласованности развития города и его транспортной системы. Комплексная транспортная схема разработана на сегодняшний день и для города Красноярска.

В настоящее время в области транспортного и жилищного планирования существуют законодательные проблемы, которые усугубляются отсутствием квалифицированных специалистов в данной отрасли [109].

Кроме того, те нормативные документы, которые принимаются на уровне городов и регионов, как правило, исполняются только на небольшой процент. Причина состоит, по мнению экспертов, в отсутствии конкретных механизмов реализации генпланов и программ развития, а также в отсутствии систем мониторинга за их исполнением.

В то же время органы муниципальной власти не имеют среднесрочных программ развития транспортных систем, а значит, не имеют альтернатив помимо выполнения программы Генплана. Отсутствие таких среднесрочных программ развития приводит к тому, что среднесрочные задачи планирования транспортной инфраструктуры целиком переходят в плоскость оперативного, «ручного» управления, а значит, решения принимаются не на основе научных расчётов

и стратегического планирования, а в результате единоличных или коллегиальных решений на уровне органов муниципальной власти. Вероятность принятия ошибочных решений в таком случае весьма высока, а специальная методология принятия решений не разработана.

В Российской Федерации наблюдается недостаточность проработки методологии развития транспортных систем регионов и городов в аспекте регламентирования процессов планирования [72, 109, 135, 142, 146, 173, 186].

Транспортная стратегия до 2030 года рассматривает роль и место транспорта в социально-экономическом развитии, содержит анализ современного состояния и проблем развития транспорта [194]. Авторы стратегии справедливо утверждают ведущую роль транспортных систем в функционировании и развитии народного хозяйства и указывают на проблему недостаточного качества и уровня развития транспортной отрасли, что ограничивает экономический рост. Также уделяется внимание низкому уровню транспортной безопасности и увеличению негативного влияния на экологию. При этом приводится фраза о необходимости «существенной перестройки», но без дальнейшего раскрытия этого утверждения.

Далее изложены прогнозные сценарии развития транспортной системы: инерционный, энергосырьевой и инновационный. Все три сценария базируются прежде всего на сырьевом характере российской экономики, что в целом соответствует реальному положению. Различия сценариев в основном состоят в глубине переработки сырья, объемах перевозок, уровню подвижности населения. Исходя из достоинств и недостатков данных сценариев, ставится задача перехода от инерционного и энергосырьевого путей развития к инновационному. Инновационный сценарий подразумевает сохранение особенностей базового (консервативного) сценария, но исходит из полицентрической модели пространственного развития, связанной с реализацией потенциала развития регионов.

Иные нормативные акты, связанные с развитием транспорта в Российской Федерации, рассматривают лишь отдельные аспекты либо устанавливают объемы

финансирования развития транспорта [199]. При этом следует отметить следующее.

1. В Российской Федерации уделяется крайне мало внимания методологии развития транспортных систем. Вышеназванная Стратегия является нормативным актом, рассматривающим прежде всего цели, задачи и общие вопросы методологии.

2. В Стратегии изложены важные аспекты, показывающие особенности российской экономики, и предложен принцип выработки целей и задач развития транспорта, что дает основу для выбора методов.

3. Несмотря на обозначенные в Стратегии системные проблемы и необходимость перестройки транспортной отрасли, дальнейшее целеполагание носит консервативный характер – по принципу сохранения и приумножения. Таким образом, предлагаемые Стратегией меры в основном экстенсивны и не предполагают принципиальную реорганизацию и модернизацию отрасли. Модернизация выражается лишь в пространственных и количественных показателях.

4. Вопрос интеграции транспортных систем рассматривается только в области пространственной интеграции.

5. В основу развития транспортных систем положен опережающий метод, подразумевающий развитие с запасом мощностей на основе прогнозируемых показателей. В условиях фактического отставания развития транспорта от потребностей населения такой метод требует крупных капиталовложений и качественного прогнозирования, что в текущей экономической ситуации труднодостижимо.

6. Предлагаемые меры повышения качества перевозок соответствуют современным требованиям, хотя и локализованы в рамках различных видов транспорта, не образуют единого принципа и методологии.

7. В Стратегии рассмотрены важные аспекты безопасности и экологии, однако в тексте о них говорится в последнюю очередь. Стратегия не дает представления о конкретных методах улучшения этих показателей, а лишь

констатирует их необходимость, в то время как в развитых европейских странах эти аспекты рассматриваются в первую очередь.

Содержание Стратегии в целом соответствует сложившейся традиции развития транспорта в России, связанной с сырьевым характером экономики, экстенсивными методами развития транспортных систем и консервативной транспортной политикой [190]. Попытка реализации опережающего развития транспортной инфраструктуры истощает бюджет, но не сокращает отставание от растущего спроса, поскольку зачастую имеет локальный и незавершенный характер. Пространственная интеграция при таком методе труднореализуема, а интеграция транспортной отрасли с другими отраслями хозяйства и вовсе практически не рассматривается. Все это требует разработки научно обоснованной методологии реализации поставленных задач, учитывающей мировые достижения, вносящей новые принципы развития транспортных систем, интегрированных не только в физическом пространстве, но и в области логического взаимодействия различных отраслей. Нарастающая проблематика развития транспорта говорит о том, что требуется не столько экстенсивное увеличение показателей, сколько реорганизация и смена транспортной политики с консервативно-экстенсивной на рационально-интенсивную.

В транспортных системах крупных городов проблемы развития транспорта выражены наиболее остро. А местные особенности, такие как характер застройки, конфигурация транспортной сети, уровень развития и качество транспортной системы, требуют также дополнительных, региональных нормативных актов, дополняющих федеральные, устанавливающих методологию развития транспорта в местных условиях.

В документе уделяется внимание интеграции транспортных систем, улучшению связности сетей как методу обеспечения доступности, единства и безопасности транспортных систем.

Отдельно рассматривается вопрос инновационного развития транспортной системы за счет развития науки и системы подготовки кадров, стимулирования разработки технологий, проведения исследований в области безопасности.

Рассмотренная Стратегия дает представление об особенностях российской транспортной отрасли и, кроме постановки целей и задач, предлагает принципиальные методы их достижения. Однако для развития транспортных сетей конкретных регионов с учетом их местных особенностей этого недостаточно. Вопрос мультимодальности в Стратегии рассматривается очень кратко и в основном применительно к грузовым перевозкам. Таким образом, необходимы дополнительные исследования и разработки с целью конкретизации и актуализации методов развития транспортных систем для регионов с учетом местных особенностей и передового мирового опыта развития транспортных систем крупных городов.

1.1.4. Стратегии транспортной политики в зависимости от типа застройки городов

Транспортная наука выделяет три основных градостроительных типологии городов с точки зрения соотношения площади городов и их населения и, соответственно, три основных возможных направления реализации транспортных мероприятий. В городах европейского типа, как правило, господствует взвешенная, сбалансированная транспортная политика управления спросом и достаточного предложения в духе немецкой «белой книги» [58]. В азиатских городах возможно только проведение жёсткой политики “Promote/Opposition”, отказ от которой приводит к хроническим заторам и деградации городской среды.

Согласно открытым данным, приведённым на официальном портале администрации города Красноярск [165], показатель площади проезжей части улично-дорожной сети Красноярского транспортного узла, границы которого при исследовании автомобильного транспорта можно принять за границы городского округа город Красноярск (359,3 км²), составляет более 13 млн. кв. м. В то же время требует дальнейшего уточнения методика подсчёта площади УДС, используемая при данном подходе.

В результате обработки геоинформационных и топографических данных на этапе разработки интеллектуальной транспортной модели транспортной системы города Красноярск представляется возможным дальнейшее уточнение площади УДС города Красноярска.

В целом нужно отметить, что территориально-планировочные характеристики города Красноярска определяют выбор методики развития транспортной системы [36]. Очевидно, что никакие теоретически возможные темпы дорожного строительства не приблизят город к территориям, комфортным для перемещений на автомобиле. Таким образом, естественным путём развития транспортной системы видится использование стратегии “Promote/Opposition” в центральных районах наряду с мерами по повышению связности УДС и развитием автодорожной инфраструктуры в периферийных районах [15, 83, 180]. Более подробное обоснование предлагаемой политики приводится ниже.

Возможные инструменты транспортного планирования группируются в различные комплексы действий, определяющие некоторые согласованные стратегии, а именно:

- подход минимального вмешательства;
- использование планирования землепользования для снижения числа и длины поездок;
- разработка транспортной сети, ориентированной в первую очередь на автомобили;
- разработка транспортной сети, ориентированной в первую очередь на общественный транспорт;
- управление спросом на поездки.

Эта идея полезна тем, что подчеркивает, что стратегический подход должен использоваться для решения конкретной проблемы и принятия четкого решения вместо попытки удовлетворить сразу все требования. Эффективная стратегия является результатом четкого определения сферы действия.

Представляется интересным конкретное сравнение третьей и четвертой стратегий. Из-за политических последствий планы обычно пытаются охватить как

общественный транспорт, так и частный автомобильный транспорт. Такой компромисс приводит к снижению эффективности каждого плана.

Наблюдается тенденция решения текущих и будущих проблем транспортной системы путем увеличения пропускной способности каждого вида транспорта. Последствие такого подхода состоит в появлении новых поездок: пропускная способность дорог, предназначенных для частных автомобилей, будет заполняться без возможности навсегда решить проблему заторов, тогда как возможности новых пассажиров, которых привлекает общественный транспорт, будут ограничены.

Примером таких параллельных мер по сдерживанию автомобилизации могут служить приоритет общественного транспорта при светофорном регулировании, использование выделенной правой полосы исключительно для общественного транспорта, взимание платы за использование дорог, парковочная политика и др. В условиях ограниченных ресурсов (в особенности пространства) эти меры являются основой успеха плана. Нужно отметить, однако, что такие решения непопулярны и вступают при принятии решений в противоречие с распространенным мнением о том, что личный транспорт гораздо привлекательнее и комфортабельнее общественного при любых условиях.

Чтобы понять обсуждаемое здесь конкретное явление, полезно более детально рассмотреть реальные условия. В рамках традиционных подходов проблема рассматривается с двух точек зрения. Функционирование городской транспортной системы и ее способность при необходимости отдавать приоритет общественному транспорту измеряются в абсолютном и относительном выражении.

С одной стороны, основной абсолютный показатель, рассматриваемый в этой связи, – число поездок на жителя. С другой стороны, распределение по видам транспорта является предпочтительной системой, используемой для оценки и сравнения функционирования транспортных систем. Эти показатели можно измерять различными способами. В целом существует три типа распределения, которые используются чаще всего и, следовательно, считаются наиболее подходящими [46]:

- общегосударственное распределение по видам транспорта;
- локальное распределение по видам транспорта в столицах и мегаполисах;
- распределение по видам транспорта в часы пик при движении в центральную часть города и из нее.

Выбор одного из типов зависит от целей исследования и от доступности подробной информации.

Необходимо подчеркнуть тесную связь функционирования транспортной системы со взаимодействием между различными видами транспорта (мультимодальность). В этой связи очевиден конфликт между различными видами транспорта.

Красноярск, как и большинство других российских городов, по своей типологии близок к городам западной Европы, поэтому ему подходит именно политика построения гармоничной транспортной сети с приоритетом общественного транспорта, а другие подходы его типологии скорее противоречат.

1.2. Методы моделирования транспортных сетей

В настоящее время существует множество инструментальных средств, позволяющих формировать элементы улично-дорожной сети (УДС) и объединять их в крупные проекты городских и региональных транспортных сетей.

1.2.1. Формализации случайных графов в модели транспортной сети

Так, в модели Эрдеша-Реньи предполагается наличие множества вершин V_n , $n=\{1, \dots, n\}$, на котором будет «формироваться» случайный граф [188]. Считается, что у графа возможных ребер не может быть больше C_n^2 . Наличие ребра между вершинами i и j имеет место с вероятностью $p \in [0, 1]$, причем независимо от наличия других ребер. Случайное множество ребер E формируется на основании следующей схемы. Пусть $G=(V_n, E)$ случайный граф в данной модели.

По аксиоматике Колмогорова для данной формализации будет рассматриваться вероятностное пространство:

$$G(n, p) = (\Omega_n, F_n, P_{n,p}), \quad (1.1)$$

где $\Omega_n = \{G = (V_n, E)\}$, $F_n = 2^{\Omega_n}$, $P_{n,p}(G) = p^{|E|} (1-p)^{C_n - |E|}$.

$|A|$ представляет мощность множества A , а 2^A – множество всех подмножеств A . Компонентами сигма-алгебра F_n является совокупность графов, а для расчета вероятности некоторого события просто подсчитывается количество графов, для которых это свойство выполняется, т.е. $P_{n,p}(A) = \sum_{G \in A} P_{n,p}(G)$. В результате вопрос о связности заключается в определении всех связных графов с заданным множеством вершин.

Транспортная интерпретация данной модели случайного графа предполагает, что имеется несколько попарно соединенных дорогами пунктов. Считается, что с течением времени дорога изнашивается и с некоторой известной вероятностью q становится непроезжей. Задача может заключаться в оценке максимального значения вероятности q , для которого с некоторой заданной вероятностью q_n перемещение между некоторыми двумя пунктами будет невозможно. Естественно для более высоких значений q транспортная сеть более надежна. Таким образом, задача надежности транспортной сети сводится к задаче связности случайного графа, а утверждение о том, что дорога изнашивается с вероятностью q , эквивалентно появлению ребра с вероятностью $p = 1 - q$.

В другой интерпретации случайных графов вероятность наличия ребра между i и j определяется как p_{ij} , т.е. ребра появляются с разными вероятностями, но также взаимно независимы. Вероятностное пространство определяется как:

$$G(n, p_{ij}) = (\Omega_n, F_n, P_{n, p_{ij}}), \quad (1.2)$$

где $\Omega_n = \{G = (V_n, E)\}$, $F_n = 2^{\Omega_n}$, $P_{n, p_{ij}}(G) = \prod_{(i,j) \in E} p_{ij} \cdot \prod_{(i,j) \notin E} (1 - p_{ij})$.

Достаточно важным случаем данной формализации является фиксация графа

$H_n = (V_n, E_n)$ с вероятностями наличия вершин $p_{ij} = \begin{cases} p, & (i, j) \in E_n \\ 0, & (i, j) \notin E_n \end{cases}$. Т. е.

с вероятностью p появляются лишь ребра, которые изначально определены в данном графе H_n . При этом вполне адекватной моделью надежности транспортной сети становится $P_{n,p_{ij}}(G) = p^{|E|}(1-p)^{|E_n|-|E|}$, т. е. изначально задается граф дорог с последующей фиксацией износа.

1.2.2. Инструментальные средства моделирования транспортных сетей

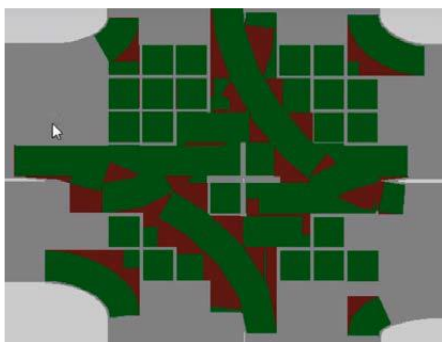
PTV VISUM является мощным инструментом моделирования спроса на транспорт, транспортных потоков, анализа транспортной сети в целом, прогноза последствий реализации проводимых мероприятий по модернизации транспортной сети и других функций [7, 21, 60, 98, 131, 155, 176, 191, 202].

Приложение **VISWALK** решает задачи моделирования пешеходных потоков на основе имитации, которая позволяет закладывать в модель различные варианты взаимодействия пешеходов между собой [131, 201].

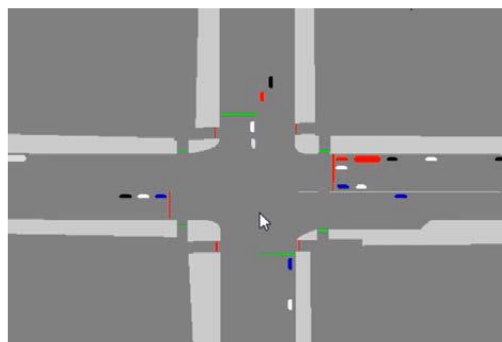
Приложение **VISTRO** рассматривает вопросы оптимизации режимов работы светофоров и дает оценку мероприятий по модификации программных режимов работы светофора [131].

Возможность трёхмерной анимации позволяет сделать наглядную визуализацию динамики перемещения транспортных средств и пешеходов. Возможно моделирование различных типов перекрёстков, а именно: кругового движения, развязок в разных уровнях, регулируемого перекрёстка и других. При этом дается оценка влияния выбора типа перекрестка на пропускную способность дорог и магистралей. Возможен анализ приоритетности общественного транспорта, управления движением и другие функции (Рисунок 1.3).

В **PTV Vissim** на основе модели Видемана с учетом психологических факторов заложен алгоритм различного поведения водителей на дороге, а также реакцию и время реализации решений на выход из экстремальных дорожных ситуаций [8, 19, 29, 71, 144, 202].



а) создание зоны пересечения



б) результат моделирования

Рисунок 1.3 Графическое представление результатов

Aimsun – это программный продукт для создания моделей крупных городов и регионов [5, 6, 60, 98, 157]. В инструментальной среде с помощью микроскопического, мезоскопического и гибридного моделирования имеется возможность высокоскоростной симуляции динамических и статических трафиков движения транспортных средств. Aimsun является программным продуктом анализа дорожного движения, действуя подобно виртуальной передвижной лаборатории, поддерживающей среду для выполнения функций моделирования, микроимитации и планирования транспортных операций.

Специалисты по моделированию могут выполнять корректировку содержимого O/D-матриц, используя информацию с датчиков или извлекая данные матриц обхода для частных моделей того же самого приложения, используемые для моделирования на микроуровне. Объем работы планировщиков сокращается за счет исключения необходимости выполнения дополнительных операций по экспорту данных, поскольку одна и та же информация используется обеими моделями, и потому проблемы ее синхронизации отходят в прошлое. AIMSUN расширяет масштабы моделирования от малых моделей с несколькими перекрестками до сетей среднего и крупного размера. Это становится возможным благодаря наилучшей стратегии выбора маршрутов, производительному симулятору, способному использовать преимущества многоядерных процессоров нового поколения для имитации движения сотен и тысяч автомобилей в режиме реального времени, набору инструментов импорта информации различной

природы (CAD, GIS, EMME/2, SATURN, CONTRAM, CUBE, Paramics и пр.), а также технологиям проверки и классификации данных. Благодаря наличию расширяемого множества функций управления движением, производительности и способности к настройке, программное обеспечение можно считать наилучшим выбором для динамических on-line-приложений.

Оригинальная версия Aimsun включает интерфейсы к приложениям TRANSYT/7F и Synchro, связанным с управлением дорожным движением, а последняя версия включает:

- графический интерфейс пользователя, переработанный в соответствии с архитектурой Microsoft .NET;
- быстрый доступ к средствам анимации CORSIM;
- прямой вызов функций анализа HCS;
- обновленный экран конфигурации полос, поддерживающий полный набор видов перекрестка;
- усовершенствованный экран расчета интенсивности потока насыщения, демонстрирующий до 12 направлений движения одновременно;
- возможность сохранения коэффициентов корректировки интенсивности потока насыщения в TIN-файле;
- функции копирования/вставки перекрестков в режиме просмотра плана, исключающие необходимость повторного задания конфигурации полос, значений нагрузки и временных параметров;
- сочетание разнородных функций и общего графического интерфейса в рамках единого приложения;
- расширенная информация о компании в форматированных отчетах;
- новые текстовые отчеты о маршрутах и интенсивности потоков;
- средства импорта данных CORSIM о параметрах предустановленного, полностью активного и полуактивного режимов управления сигналами, в том числе по множеству периодов и с двухсторонним стоп-контролем;
- непосредственная оптимизация параметров предустановленного, полностью активного и полуактивного режимов в CORSIM;

- импорт произвольного файла CORSIM с данными, рассчитанными и оптимизированными с помощью любого стороннего метода, и их непосредственное использование в проекте;

- доступность русскоязычной версии.

В составе TRANSYT-7F также имеется:

- генетический алгоритм оптимизации продолжительности цикла управления, последовательности фаз, разделений и смещений;

- постобработка средствами CORSIM;

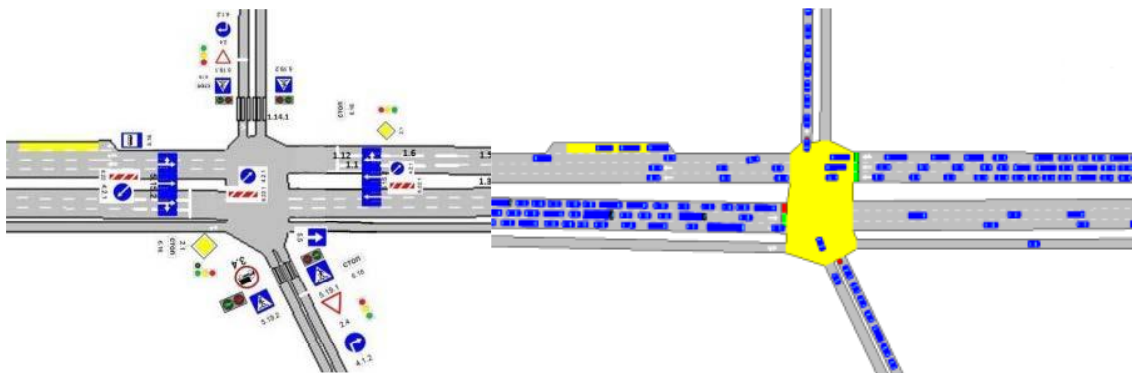
- импорт файлов HCS+;

- оптимизация по множеству периодов;

- анализ по полосам движения, анализ полностью активного режима.

- StaTran™ новый инструмент статистического анализа информации о дорожном движении от McTrans.

Модель поведения водителя выполнена на базе модели Гиппса (Рисунок 1.4).



а) макет дороги

б) результат моделирования

Рисунок 1.4 Визуализация результатов в Aimsun

Использование системы дорожных датчиков для получения информации о транспортных потоках неизбежно приводит к накоплению больших объемов данных. Предлагаемый продукт StaTran™ предназначен для математической обработки больших объемов накопленных данных транспортного мониторинга с целью получения полной, адекватной и удобно представленной информации о транспортных потоках. Он позволяет:

- представлять данные транспортного мониторинга в графическом режиме;

- производить первичную обработку данных с целью идентификации или отбраковки сомнительных данных;
- производить статистическую и историко-статистическую обработку массивов данных и анализировать информацию;
- вводить исправленную статистическую информацию в Transyt, HCS+ и другие программы;
- составлять различные отчеты в текстовом виде и в формате MS Excel;
- использовать научную информацию при планировании и адаптации новых и существующих проектов.

MatSim является программным продуктом, основанным на агентном транспортном моделировании. Среда моделирования состоит из модулей, которые можно использовать в сочетании или по отдельности. К основным возможностям данной среды моделирования можно отнести: моделирование спроса, транспортная симуляция на основе агентов (моделирование потока), возможность перепланировки, контроллер для итеративного запуска моделирования, а также методы анализа выходных данных, генерируемых модулями [2, 30, 41, 60, 98, 125].

При классическом моделировании данные о спросе на передвижение моделируются и оптимизируются в заданной транспортной сети (например, дорожной сети или сети с несколькими видами транспорта в случае, если общественный транспорт также рассматривается в ходе моделирования). Оптимизация данных о спросе является одной из ключевых особенностей пакета и делает возможным изучение эффективности различных сценариев, мероприятий, типов транспортной политики. В процессе моделирования и оптимизации можно выделить 5 основных этапов [125]:

- формирование первоначального спроса;
- выполнение сценария;
- расчет эффективности;
- адаптация сценариев под дорожную ситуацию;
- анализ.

Кратко опишем задачи каждого этапа. Подробная информация об этапах, включая доступные опции, влияющие на этапы, и особенности их работы, приведена далее.

Первоначальный спрос. Первоначальный спрос описывает моделируемое поведение с точки зрения мобильности [122, 125]. Он содержит полный список агентов и не менее одного дневного плана для каждого агента. Дневной план включает список действий (например, пребывание дома, на работе) и поездок (например, на машине за покупками), а также информацию о времени (например, выход из дома в 7:23, работа до 17:39) и дополнительную информацию (например, подробный маршрут перемещения от дома до работы). В планах описываются намерения агентов. Если планы агентов слишком оптимистичны (например, они попадают в пробку или пропускают автобус), может так случиться, что их план невозможно реализовать в соответствии с намерениями в рамках модели.

Выполнение. Выполнение планов агентов, также называемое транспортной симуляцией, происходит параллельно в представлении физического мира. Это означает, что агенты и их средства передвижения перемещаются по сети (инфраструктуре в реальном мире). В ходе выполнения планов агенты могут влиять друг на друга, занимая пространство.

Расчет эффективности. По окончании выполнения планов агентов эти планы оцениваются на основе того, насколько успешно прошло выполнение на практике. Функцию расчета эффективности можно настраивать, но в качестве общего правила время, затраченное на действия, увеличивает оценку, а время, затраченное на передвижение, уменьшает ее. Таким образом, агенты, попавшие в затор, теряют баллы, а агенты, совершившие короткие и быстрые поездки, получают больше баллов, т. к. больше времени тратят на действия.

Перепланировка. На стадии выполнения агенты могут влиять друг на друга, например создавать заторы. На этапе перепланировки агенты могут изменять свои планы (фактически они изменяют копии планов) с целью избежать ситуаций в транспортной симуляции, которые привели к низким оценкам. Типичными примерами таких изменений являются изменение времени окончания действия,

изменение времени начала последующей поездки, изменение вида транспорта для конкретной поездки или изменение маршрута (выбор времени отправления, вида транспорта, пути перемещения). Эти изменения выполняются так называемыми стратегическими модулями.

Анализ. По завершении полного моделирования пользователь часто интересуется некоторыми ключевыми показателями производительности модели. Например, доли видов транспорта, общее расстояние, пройденное агентами, или средняя длительность поездки и среднее расстояние по видам транспорта и времени дня. Такие виды анализа можно выполнять автоматически по завершении моделирования либо в качестве отдельного последующего этапа.

Три этапа – выполнение, расчет эффективности и перепланировка – выполняются итеративно с целью предоставить агентам несколько возможностей адаптировать свои планы к планам и поведению других агентов. По этой причине пакет обычно выполняет несколько итераций в рамках одного запуска моделирования, состоящего из нескольких транспортных симуляций, расчета эффективности и перепланировки и до получения конечного результата.

Агенты могут изменять планы относительно первоначального спроса в попытке представить новые варианты плана, которые приведут к получению более высоких оценок. Основная концепция процесса оптимизации основана на принципе так называемых (ко-)эволюционных алгоритмов. Эволюционные алгоритмы обычно имеют набор кандидатов, которые оцениваются с помощью функции пригодности. Создаются и оцениваются новые кандидаты. Кандидаты с низкой пригодностью игнорируются. Если у кандидата высокая пригодность, другой кандидат (с более низкой пригодностью) удаляется из набора кандидатов, а новый кандидат добавляется в набор. Этот процесс повторяется, пока после нескольких попыток количество новых хороших кандидатов не будет сведено к нулю.

AnyLogic является достойной платформой для моделирования проектов развития транспортных систем [44, 51, 60, 98]. Заложенная в программную среду

В результате показано, что для достаточно небольших регионов преимуществом обладает система AnyLogic и PTV Visum. Для крупномасштабных проектов более целесообразно использовать Aimsun [5, 6, 22, 126], хотя MatSim обладает рядом преимуществ в плане выполнения задач оптимизации выбора решений по проектированию перекрёстков [30, 41, 184].

1.3. Показатели эффективности и методы моделирования маршрутных сетей

Перевозки пассажиров различными видами транспорта представляют собой процесс оказания услуг. Разработаны различные критерии, по которым осуществляется оценка качества перевозки.

1.3.1. Система показателей качества транспортного обслуживания населения наземным пассажирским транспортом общего пользования

При осуществлении пассажирских перевозок конечным потребителем данной услуги является пассажир [53, 70, 76, 119, 158, 196]. При совершении поездки на общественном транспорте основными критериями качества для него являются два показателя: время, затраченное на перемещение, и уровень комфорта, который эту поездку сопровождает. Если провести аналогию с грузовыми перевозками, то эти два показателя качества довольно близки по своей сути: и в том, и другом случае конечного потребителя волнуют, по большому счету, лишь два параметра – скорость доставки и сохранность. При грузовых перевозках потребителя беспокоит сохранность груза, а при поездке на пассажирском транспорте общего пользования – собственная безопасность [4, 91].

Для выражения нематериальных показателей качества перевозок через числовые эквиваленты применяется система коэффициентов качества обслуживания населения общественным пассажирским транспортом общего пользования.

Коэффициент наполнения салона автотранспортного средства (K_y) – используется при оценке качества обслуживания пассажиров. Коэффициент относительного наполнения определяется как отношение нормированного коэффициента наполнения (Y_H) к фактическому (Y_D) [1, 35, 76, 91, 197]:

$$K_y = \frac{Y_H}{Y_D}. \quad (1.3)$$

При практических расчетах значение коэффициента может получаться больше единицы, т.к. фактическое наполнение салона в «допиковый», «межпиковый» и «послепиковый» периоды меньше, чем нормированное. В таких случаях коэффициент наполнения принимается равным единице [75, 91].

Коэффициент регулярности движения транспортных средств на маршруте (K_p) [1, 35, 91, 197]:

$$K_p = \frac{n_\tau}{N_\tau}. \quad (1.4)$$

Для внутригородских перевозок при расчете коэффициента K_p значениям показателей числителя и знаменателя соответствуют:

n_τ – количество интервалов движения, удовлетворяющих нормативным показателям, в пределах допустимых отклонений;

N_τ – общее количество интервалов движения.

Для пригородных перевозок при расчете коэффициента K_p значениям показателей числителя и знаменателя соответствуют:

n_τ – фактическое количество прибытий и отправлений транспортных средств на конечный и промежуточные остановочные пункты согласно установленному расписанию, в пределах допустимых отклонений;

N_τ – общее количество прибытий и отправлений транспортных средств.

Необходимо соблюдать различие в определении коэффициента K_p для городских и пригородных перевозок, т.к. не для каждого городского маршрута предусмотрено расписание, а регулярность движения для пригородных перевозок удобно определять именно по расписанию движения, поскольку интервалы

на данных маршрутах обычно велики. Величина допустимого отклонения при определении этого коэффициента принимается равной 2 минуты.

Коэффициент относительных затрат времени на передвижение (K_t) – определяется как отношение затрат времени на перевозку в установленных нормированных благоприятных условиях (T_n) к реальным затратам времени на поездку (T_ϕ) [1, 35, 76, 91, 197]:

$$K_t = \frac{T_n}{T_\phi}. \quad (1.5)$$

Коэффициент организации обслуживания (K_o) определяет фактический уровень организационного обслуживания, определяется для конкретного маршрута количеством предложений и жалоб за некоторый период времени [35, 76, 91, 197]:

$$K_o = 1 - \frac{n}{N}, \quad (1.6)$$

где n – количество жалоб и предложений за некоторый период времени;

N – общее количество пассажиров, перевезенное за этот период времени.

Жалобы и предложения от пассажиров могут поступать как посредством телефонной линии или пейджера, номера которых находятся в салоне транспортного средства, так и путем опроса пассажиров во время проведения комплексного обследования. Учитываются только такие жалобы пассажиров, которые не могут быть учтены в уже имеющихся коэффициентах. Жалобы относительно нарушений регулярности движения транспортных средств на маршруте, сверхнормативного наполнения салона, непредоставления транспортной услуги и т.д. не учитываются, так как эти нарушения отражены в других коэффициентах.

Коэффициент безопасности движения ($K_{\delta\delta}$) – уровень качества перевозок, характеризуется в значительной степени безопасностью движения [1, 35, 91, 197]:

$$K_{\delta\delta} = \frac{1}{1 + A_{ov} + B_0}, \quad (1.7)$$

где A_{ov} – коэффициент потерь времени, связанных с ДТП,

B_0 – показатель уровня ДТП по вине водителя на 1 млн. км.

$$B_0 = \frac{n}{L}, \quad (1.8)$$

где n – число ДТП по вине водителя автобуса (троллейбуса, трамвая);

L – общий пробег подвижного состава в текущем году, млн. км.

Однако после отмены системы измерения степени вины водителя в штрафных баллах, такая формула стала неактуальной. Поэтому предлагается определять динамический показатель уровня ДТП на предприятии исходя из статистики числа нарушений за определенный промежуток времени, вне зависимости от их степени тяжести.

Коэффициент непредоставления транспортной услуги (K_n) определяется как [1, 35, 76, 91, 197]:

$$K_n = \frac{Q_n}{Q_n + Q_{yui}}, \quad (1.9)$$

где Q_n – количество пассажиров, воспользовавшихся транспортной услугой;

Q_{yui} – количество пассажиров не воспользовавшихся транспортной услугой по различным причинам: невозможность посадки в транспортное средство, использование альтернативного варианта передвижения (легковое такси, маршрутное такси, пешее передвижение).

Интегральная оценка качества транспортного обслуживания пассажиров на маршруте нашла свое отражение во многих научных трудах отечественных и зарубежных ученых [35, 91, 118, 143]. Однако, как правило, применяемые методики не учитывали того, что перевозчикам приходится работать на маршруте в условиях конкуренции. Для корректной оценки уровня качества необходимо введение еще одного коэффициента, который демонстрировал бы уровень конкурентоспособности пассажирского автотранспортного предприятия. Таким коэффициентом является показатель непредоставления транспортной услуги (K_n).

Интегральный показатель качества пассажирских перевозок общественным транспортом можно определить по формуле [34, 35, 91, 166, 197]:

$$K_{об} = K_y \cdot K_p \cdot K_t \cdot K_0 \cdot K_{об} \cdot K_n, \quad (1.10)$$

где $K_{об}$ – коэффициент качества обслуживания;

K_y – коэффициент наполнения салона транспортного средства;

K_p – коэффициент регулярности движения транспортных средств на маршруте;

K_t – коэффициент временных затрат на передвижение в общественном транспорте;

K_o – коэффициент организации обслуживания на пассажирском транспорте общего пользования;

$K_{\delta d}$ – коэффициент безопасности движения;

K_n – коэффициент удовлетворения спроса на услуги пассажирского транспорта.

По результатам проведенного обследования деятельность перевозчика относится к одному из четырех уровней качества и предпринимаются определенные действия в рамках договора, заключенного между заказчиком перевозки и оператором маршрута:

- неудовлетворительный уровень качества – с перевозчиком разрывается или не продлевается контракт на осуществление перевозочной деятельности; если перевозчик обязуется исправить недостатки в установленное время, то после совещания экспертов на него может быть наложен крупный штраф;

- удовлетворительный уровень качества – перевозчику выносятся предупреждение-рекомендации по повышению качества перевозок; контракт заключается (продлевается) с условием выхода перевозчиком на следующий уровень качества к определенному моменту времени; на перевозчика может быть наложен также штраф;

- хороший уровень качества – контракт на осуществление перевозочной деятельности на маршруте продлевается;

- образцовый уровень качества – при достижении этого уровня качества перевозчику выплачивается премия в размере, оговоренном условиями заключенного контракта.

Анализ научных трудов позволил выполнить классификацию и структуризацию критериев, характеризующих транспортную подвижность населения (Рисунок 1.6)

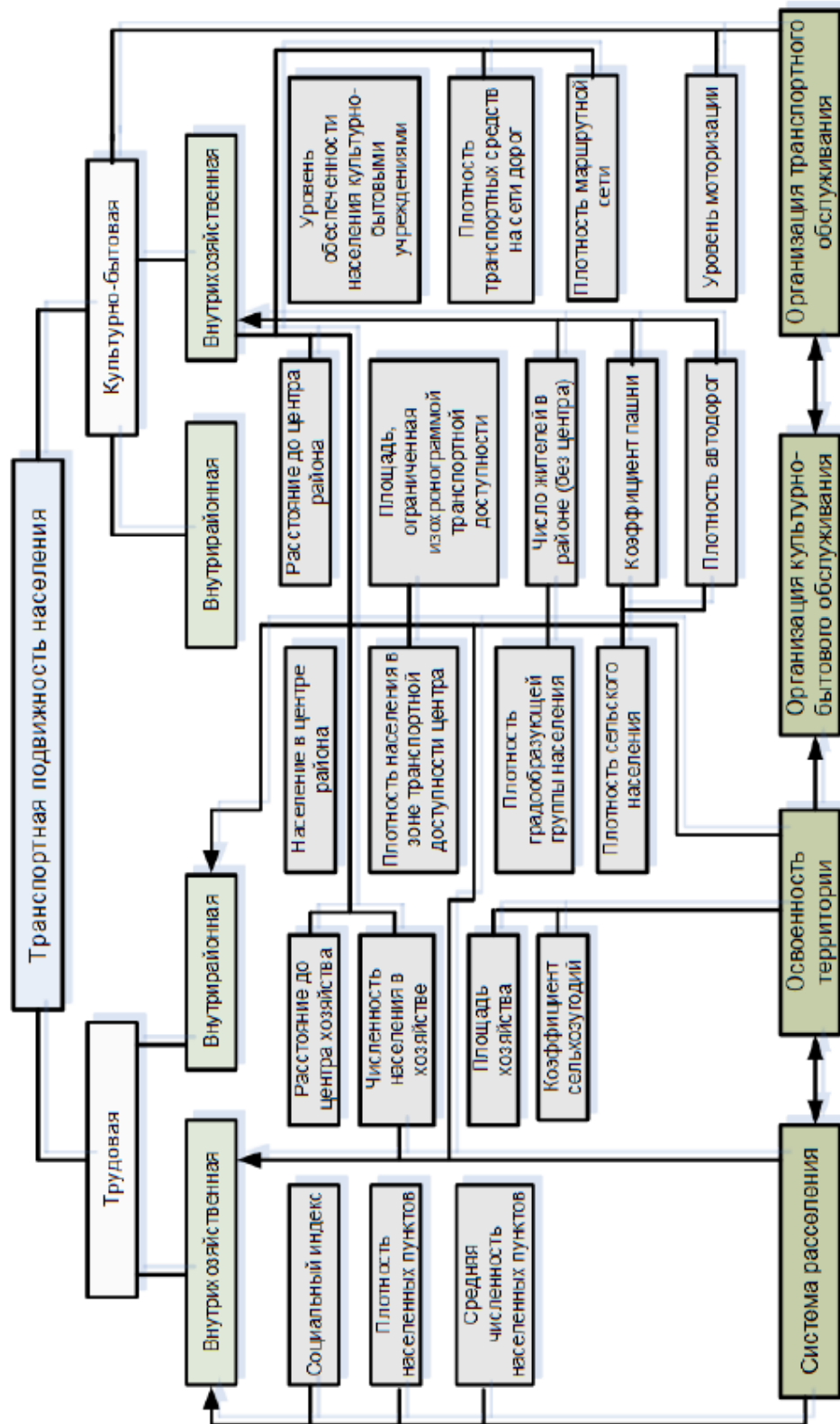


Рисунок 1.6 Взаимосвязь факторов транспортной подвижности

1.3.2. Показатели эффективности систем массового обслуживания

Основными показателями систем массового обслуживания (СМО) являются следующие [61, 164].

1. Вероятность потери заявки (или отказа) – $P_{отк}$. Для СМО с отказами он рассчитывается как вероятность того, что количество обслуживающих аппаратов (ОА) в системе равно текущему количеству заявок $P_{отк}=P_m$, где m равно количеству ОА.

Для СМО с ограничениями по длине очереди $P_{отк}$ вычисляется как вероятность пребывания в системе $m+l$ заявок $P_{отк}=P_{m+l}$, где l определяет допустимую длину очереди. В качестве обратного показателя в основном используется вероятность обслуживания заявки $P_{обсл}=1-P_{отк}$.

2. Среднее число ожидающих заявок $M_{ож} = \sum_{n=m+1}^{m+l} (n-m) \cdot P_n$, где P_n определяет вероятность нахождения в системе ровно n заявок. Для экспоненциального распределения и простейшего потока заявок $M_{ож}$ для СМО с ограниченной очередью равна:

$$M_{ож} = \frac{P_0 \rho^m}{m!} \cdot \sum_{n=1}^l n \cdot \left(\frac{\rho}{m}\right)^n, \quad (1.11)$$

где $\rho = \lambda/\mu$, λ представляет значение интенсивности входного потока заявок (т. е. среднее количество заявок, прибывающих в единицу времени),

μ представляет интенсивность обслуживания заявок (среднее количество обслуженных заявок в единицу времени) и для данной системы справедливо:

$$M_{ож} = \frac{P_0 \rho^{m+1}}{m \cdot m!} \cdot \frac{1}{\left(1 - \frac{\rho}{m}\right)^2}. \quad (1.12)$$

3. Относительная пропускная способность q определяется как $q=1-P_{отк}$.

4. Среднее количество занятых ОА для экспоненциального потока и обслуживания $m_з = \rho \cdot q$. Для СМО с отказами $m_з$ определяется как $m_з = \sum_{m=1}^b m \cdot P_n$.

5. Абсолютная пропускная способность равна $A=\lambda$.

6. Общее число заявок в системе для СМО с отказами $M=m_3$, а для очереди с ограничением по количеству и времени $M=m_3+M_{ож}$.

7. Математическое ожидание времени $T_{ож}$ при показательном распределении заявок входного потока определяется на основании соотношения $T_{ож} = \frac{M_{ож}}{\lambda}$.

Экономические показатели формируются в соответствии с назначением системы обслуживания. Наиболее общим является экономическая эффективность:

$$E=P_{обсл} \cdot \lambda \cdot c \cdot T - G_n, \quad (1.13)$$

где T определяет период времени анализа системы,

c – средний эффект от обслуживания одной заявки,

G_n – суммарные потери в системе обслуживания, которые рассчитываются отдельно для системы с отказами и системы с ожиданием.

Для системы с отказами:

$$G_n=(q_k m_3+q_y P_{отк}\lambda+q_{нк} m_{св}), \quad (1.14)$$

где q_k – цена обслуживания одного ОА в единицу времени;

q_y – приведенные к единице времени убытки (упущенная выгода) из-за отказа заявок от обслуживания;

$q_{нк}$ – приведенная стоимость простоя ОА;

$$m_{св}=m-m_3.$$

Для системы с ожиданием:

$$G_n=(q_{ож}M_{ож}+q_{нк} m_{св}+q_k m_3), \quad (1.15)$$

где $q_{ож}$ – цена потерь из-за простоя заявок в единицу времени.

1.3.3. Статистическая обработка результатов транспортного моделирования

Методы спектрального анализа направлены на выявление сезонности и периодичности процесса. Существует множество оценок спектральной

плотности в зависимости от используемых фильтров исходного временного ряда (Рисунок 1.7).

Переменная	Корреляции (М_85_РядПоДням) Отмеченные корреляции значимы на уровне $p < ,05000$ N=91 (Построчное удаление ПД)							
	Средние	Ст.откл.	50	37	25	15	14	3
50	110,40	28,54	1,00	0,72	0,75	0,75	0,79	0,69
37	157,40	39,57	0,72	1,00	0,83	0,80	0,86	0,78
25	217,07	66,84	0,75	0,83	1,00	0,76	0,78	0,81
15	261,44	64,34	0,75	0,80	0,76	1,00	0,87	0,64
14	251,45	55,83	0,79	0,86	0,78	0,87	1,00	0,72
3	197,70	51,82	0,69	0,78	0,81	0,64	0,72	1,00

Рисунок 1.7 Матрица корреляций пассажиропотоков по остановкам

Так для отображения корреляционных зависимостей (Рисунок 1.8) достаточно удобной формой является визуализация, отображающая также и линии регрессии.

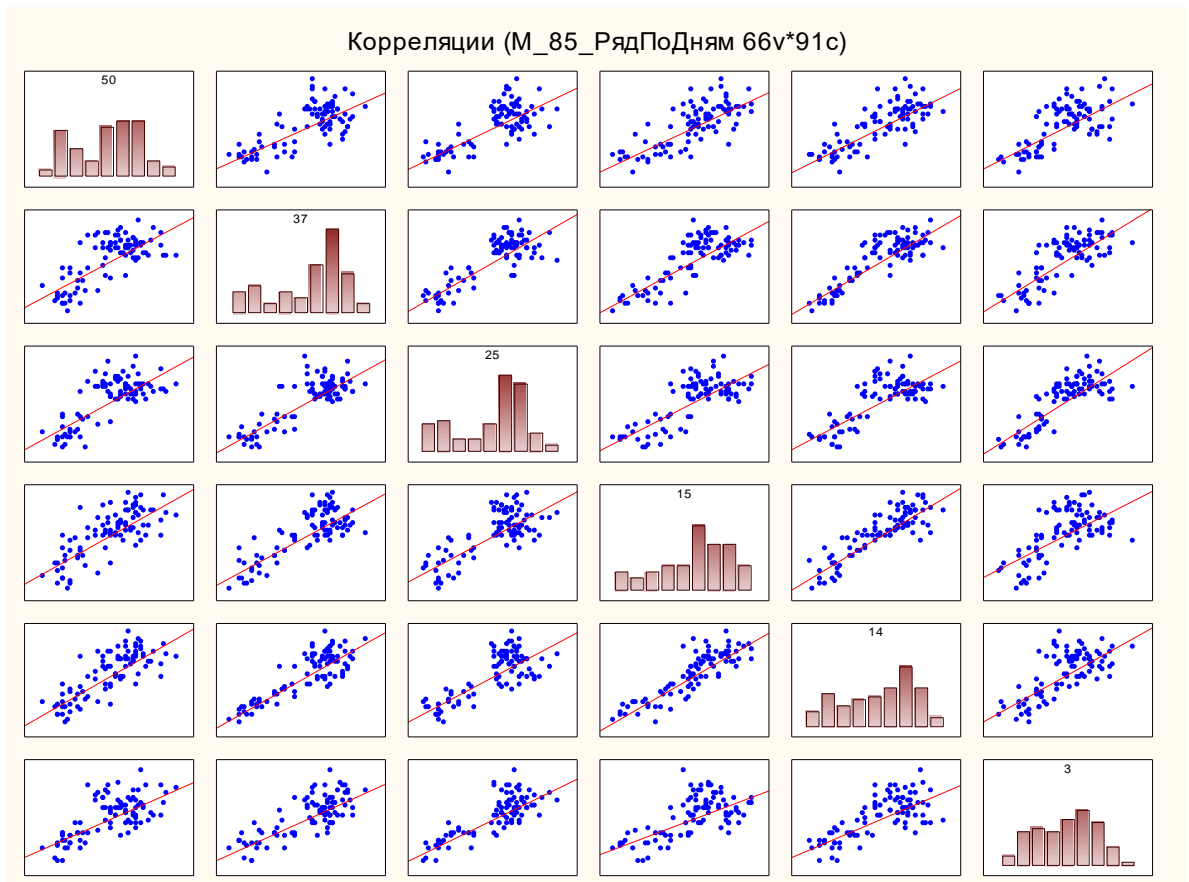


Рисунок 1.8 Графическое представление результатов корреляционного анализа

В рамках анализа можно дать интерпретацию и других зависимостей. Корреляционный анализ не формирует структуры зависимости, а определяет лишь попарные зависимости между показателями. Для оценки общей взаимосвязи показателей используется факторный анализ, целью которого является выявление обобщенной взаимозависимости.

Множественная регрессия направлена на вычисление линейной зависимости между независимыми переменными x_{j1}, \dots, x_{jm} и зависимой y_j . Модель определяется на основании соотношения:

$$y_j = \sum_{i=1}^m x_{ji} \cdot \beta_i + \varepsilon_j, \quad (1.16)$$

где β_i – оцениваемые параметры регрессии;

ε_j представляются как некоррелированные ошибки.

В матричной форме она представлена как $Y = F \beta + \varepsilon$, где $\beta = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m)^T$ – множество параметров регрессии, а $\varepsilon = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_m)^T$ – вектор ошибок. Оценки параметров множественной регрессии вычисляются на основании соотношения $\hat{\beta} = (F^T F)^{-1} F^T Y$.

Так в работе в рамках модели множественной регрессии могут быть получены прогнозные величины объемов пассажиропотоков по имеющейся динамике этих показателей по другим остановочным пунктам (Рисунок 1.9).

Дисперсионный анализ исследует влияние качественных признаков (транспортная сеть, вид транспортного средства и др.) на исследуемые количественные характеристики поведения транспортной системы.

В случае одного фактора дисперсионная модель представляется в виде:

$$y_{ij} = \bar{y} + \alpha_i + \varepsilon_{ij}, \quad (1.17)$$

где y_{ij} показывает количественную оценку интересующей характеристики при i -ом уровне значения признака,

\bar{y} – усредненное значение по всем измерениям,

α_i – отклик на значение фактора при i -ом уровне;

ε_{ij} – случайная ошибка в измерении показателя.

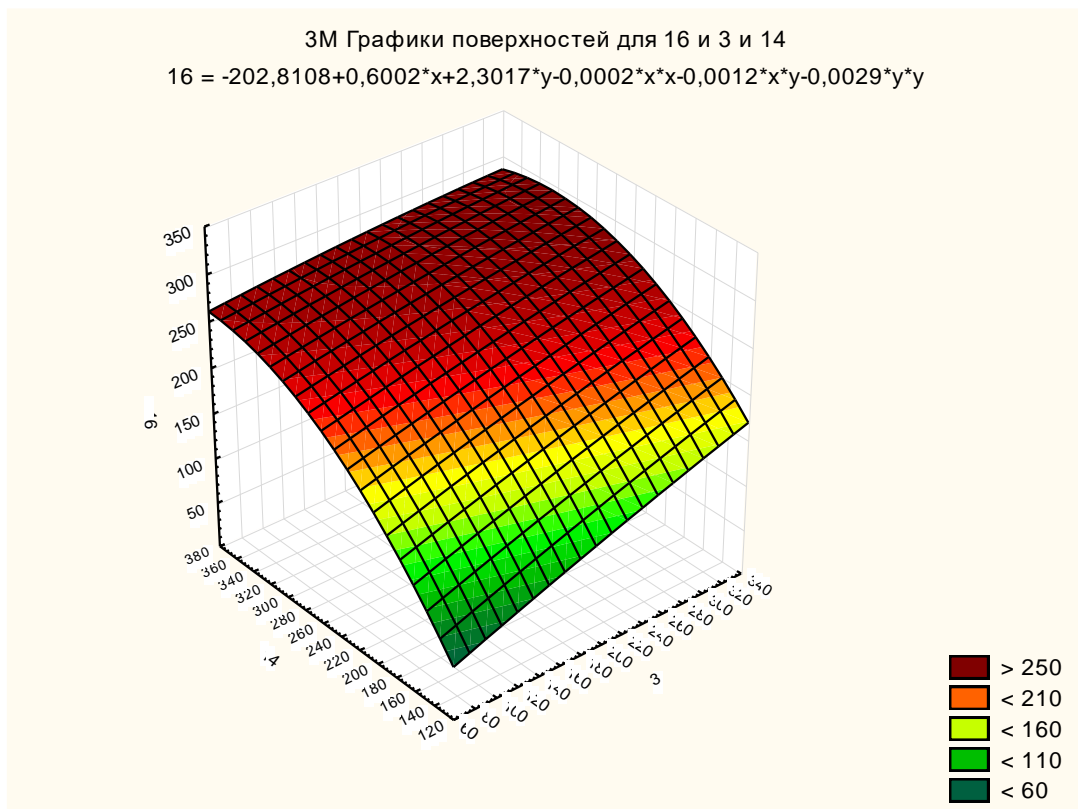


Рисунок 1.9 Предсказанный и фактический объем перевозок

В рамках выполнения процедур дисперсионного анализа предполагается, что распределение характеристики во всех группах имеет нормальное распределение. Однако, как показывает практика, незначительное различие дисперсий и некоторый уход от нормального распределения не отражаются значимо на результатах анализа.

В рамках визуализации результатов анализа наиболее информативной является представление в виде диаграммы размаха, которая представляет собой разброс объемов перевозок в динамике сезонности по месяцам или дням недели.

Результаты, полученные в рамках проведения дисперсионного анализа, показывают наличие сезонности по пассажиропотокам, что сочетается с результатами спектрального анализа.

В результате выполненного анализа получены некоторые закономерности процессов в объемах перевозок, что может быть использовано для повышения точности моделей прогноза. С другой стороны, проведенный анализ методов позволяет говорить о целесообразности включения в систему моделирования всей

совокупности методов статистического и многомерного анализа, имеющих программную поддержку в различных математических пакетах.

1.4. Методы обработки данных дорожно-транспортных происшествий

Анализ дорожно-транспортных происшествий (ДТП) всегда связан с обработкой огромного массива информации, однако методы математической статистики успешно позволяют выполнять необходимую группировку, сокращая объемы данных [111, 198].

Эффективным инструментом обработки данных о ДТП считается сопоставительный анализ, который применяется в области обеспечения безопасности дорожного движения (ОБДД). Принципы сопоставления приобретают все большее значение в свете развития общегосударственной системы ОБДД, с углублением межрегиональных и межведомственных связей при разработке и проведении мероприятий, направленных на предупреждение ДТП [111]. Метод сопоставления позволяет найти и обосновать новые закономерности или динамику изменения ранее выявленных закономерностей, тем самым расширяя возможности специалистов в области установления причин ДТП.

Метод сопоставительного анализа включает в себя четыре этапа [111, 168].

1. Определение объектов сопоставления. В Управлениях (отделах) ГИБДД этими объектами являются районы, а также транспортные управления (отделы) министерств и ведомств.

2. На втором этапе необходимо осуществить определение тех показателей объектов, по которым будет проходить сопоставление. В сфере ОБДД такими показателями могут считаться абсолютные, удельные и относительные.

3. Выбор метода сопоставления. Так как абсолютные, удельные и относительные показатели аварийности являются количественными, то, как правило, на этом этапе происходит оценка по принципу «больше – меньше» или «на сколько больше – на сколько меньше».

4. Интерпретация полученных данных. На данном этапе невозможно достигнуть абсолютной формализации и сделать однозначные выводы, причем это не зависит от того, как именно обрабатывались статистические данные.

Особое значение при сопоставительном анализе ДТП имеют абсолютные показатели, из-за их универсальности и наглядности в отражении состояния аварийности [47, 108, 138, 153].

Поэтому большинство аналитических материалов сопровождаются таблицами со значительным объемом статистических данных о значениях абсолютных показателей.

Современные информационные технологии позволили резко расширить возможности по получению статистических данных о ДТП. В настоящее время практически не существует проблемы получения любого показателя аварийности, если соответствующая информация имеется в первичных документах учета ДТП. В частности, по карточке учета ДТП можно получить свыше 100 тыс. различных показателей [111, 153].

Абсолютные показатели для анализа аварийности должны быть применимы для того уровня, на котором решается задача ОБДД.

Анализ аварийности, главным образом, основывается на теории временных рядов, заключающейся в предположении, что последовательные значения наблюдаются через равные промежутки времени [111, 153].

Учет дорожно-транспортных происшествий позволяет получить данные в разрезе времени. Данные события являются однородными, однако имеют разные весовые показатели.

Применение методов математической статистики при анализе временных рядов направлено на определение природы ряда и прогнозирование перспективных значений ряда.

И в том, и другом случае важным является идентификация и формализация модели ряда. Это является обязательным условием интерпретации рассматриваемого объема информации. При анализе временных рядов важно, чтобы анализируемая информация имела систематическую составляющую.

Регулярные составляющие временных рядов подразделяются на [140] тренд и сезонную составляющую.

Тренд представляет собой общую систематическую линейную или нелинейную компоненту, которая может изменяться во времени. Сезонная составляющая – это периодически повторяющаяся компонента [111]. Временной ряд может включать обе эти составляющие одновременно.

Если временной ряд содержит тренд, то выявить его автоматически не является возможным. Но в случае, когда тренд имеет монотонный характер на определенном промежутке времени, его обнаружение, как правило, не является проблематичным. Выявление тренда временного ряда основывается на понятии сглаживания.

Сглаживание всегда включает некоторый способ локального усреднения данных, при котором несистематические компоненты взаимно погашают друг друга. Самый общий метод сглаживания – скользящее среднее, в котором каждый член ряда заменяется простым или взвешенным средним n соседних членов, где n – ширина «окна» [111].

В некоторых случаях, когда анализ ведется в определенной плоскости, монотонные временные ряды можно хорошо приблизить линейной функцией. Если же имеется явная монотонная нелинейная компонента, то данные вначале следует преобразовать, чтобы устранить нелинейность. Для этих целей могут быть выбраны логарифмическое, экспоненциальное или полиномиальное преобразования данных [111].

Не менее важным при статистическом анализе аварийности считается определение периодических и сезонных составляющих временного ряда. В данном случае, каждое наблюдение очень похоже на соседнее; дополнительно имеется повторяющаяся сезонная составляющая, что означает: – каждое наблюдение также похоже на наблюдение, имевшееся в том же самом месяце год назад. В общем, периодическая зависимость может быть формально определена как корреляционная зависимость порядка k между каждым i -м элементом ряда и $(i-k)$ -м элементом [111]. Сезонность можно выявить посредством автокорреляции.

Также при достаточно малых значениях ошибки измерений сезонность определяют визуально, анализируя динамику изменения членов ряда через определенные временные интервалы.

Сезонность принято находить путем построения коррелограммы. Коррелограмма (автокоррелограмма) – это численно-графическое представление автокорреляционной функции (АКФ) для последовательности лагов из определенного диапазона [50, 130, 174, 189]. На коррелограмме обычно отмечается диапазон в размере двух стандартных ошибок на каждом лаге, однако обычно величина автокорреляции более интересна, чем ее надежность, потому что интерес в основном представляют очень сильные (а, следовательно, высоко значимые) автокорреляции [111].

Хорошие результаты получаются при обработке независимых переменных на определенном промежутке времени. В таком случае получается класс моделей временных рядов, если представить, что временные ряды с коррелированными значениями генерируются последовательностью независимых значений [111]. Данная выборка является реализацией взаимно случайных величин, которые обладают одинаковым распределением со средним значением, равным нулю, и дисперсией. Данный временной ряд можно считать случайным процессом или белым шумом.

Таким образом, математическая статистика при анализе аварийности позволяет определять воздействие одних факторов на другие. Выявление случайных процессов возможно осуществлять на временных рядах независимых переменных. Имея модель временного ряда, можно прогнозировать изменение показателей аварийности во времени.

Экспериментальные данные или результаты наблюдений над объектом, свойства и характер поведения которого могут изменяться во времени, образуют упорядоченную последовательность наблюдений – временной ряд $x(t_1), x(t_2), \dots, x(t_n)$ [111]. При этом важным является последовательность элементов, так как она является ключевым фактором для определения структуры временного ряда.

Дискретные временные ряды могут также появляться в виде выборочных данных из временных рядов с непрерывным временем или накоплением значений переменной за некоторый промежуток времени.

Возможные значения случайного временного ряда в данный момент времени t описываются с помощью распределения вероятностей случайной величины $X(t)$, и наблюдаемое значение временного ряда $x(t)$ рассматривается, как выборочное значение из генеральной совокупности значений в момент времени t .

Поведение временного ряда при всех возможных значениях времени t может быть описано множеством случайных величин $\{X(t)\}$, где t принимает любые значения от $-\infty$ до $+\infty$.

Статические явления, которые развиваются во времени в соответствии с вероятностными законами, называют случайными или стохастическими процессами. Наблюдаемый временной ряд рассматривается как одна выборочная реализация из бесконечного множества моментов времени t и бесконечного множества значений $x(t)$ в любой заданный момент времени.

Анализ временного ряда приводится для оценивания и восстановления по данной реализации свойств процесса, генерирующего данный ряд. Эта задача аналогична задачам оценки свойств генеральной совокупности по случайной выборке наблюдений. В обоих случаях такой анализ проводится тем успешнее, чем полнее имеющаяся информация (чем больше длина реализации) и чем проще свойства, которые стремятся обнаружить.

Как правило, анализ временных рядов предполагает гипотезу, что случайный процесс, формирующий временной ряд, стационарен и поддается адекватному описанию с помощью: математического ожидания $M\{X_t\}$, дисперсии $M\{(X_t - M\{X_t\})^2\}$ и автоковариации (второго центрального смешенного момента $M\{(X_t - M\{X_t\})(X_s - M\{X_s\})\}$).

Стационарным процессом считается такой случайный процесс, при котором его вероятностные свойства не выражают зависимости от начала отсчёта времени.

Существует такой класс временных рядов, образующийся условиями, у которых первые и вторые моменты не зависят от времени [111, 132]:

$$\mu = M\{X_t\}, \sigma^2_X = M\{X_t - \mu\}^2, \text{ где } t \in T, \quad (1.18)$$

а автоковариационная функция зависит только от временного сдвига $k = (t - s)$:

$$\gamma(k) = \text{cov}\{X_t, X_s\} = M\{(X_t - \mu)(X_s - \mu)\}. \quad (1.19)$$

Такие ряды называются стационарными в широком смысле. Стационарность ряда в строгом смысле требует, чтобы совместное распределение вероятностей многомерной случайной величины X_t, X_s, \dots, X_m не зависело от начала отчета времени [111].

Характеристиками временного ряда служат математическое ожидание, дисперсия и автоковариационная функция, если величины X_t, X_s, \dots, X_m носят характер нормального совместного распределения. В свою очередь нормальные вероятностные явления, в случае выполнения данных условий, дают возможность говорить о стационарности в строгом виде.

Еще одним важным свойством временных рядов является эргодичность, которая также характеризуется математическим ожиданием, дисперсией, автоковариационной функцией. Стационарный процесс называется эргодическим по отношению к математическому ожиданию, если среднее по множеству реализаций равно среднему по времени [111]:

$$M\{X_t\} = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N x_t. \quad (1.20)$$

Аналогично определяется эргодичность по отношению к дисперсии, автоковариационной функции и другим характеристикам.

Свойство эргодичности дает возможность оценивать выборочные характеристики временных рядов по одной реализации, заменяя усреднение по множеству реализации усреднением по времени [111, 132]:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N x_t, \quad (1.21)$$

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (x_t - \bar{x})^2, \quad (1.22)$$

$$\hat{\gamma}(k) = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (x_t - \bar{x})(x_{t+k} - \bar{x}), k=0, 1, \dots, m. \quad (1.23)$$

Анализ временных рядов, характеризуемых разными масштабами, подразумевает нормирование автоковариационной функции путем деления на дисперсию $\hat{\gamma}(0) = \bar{\sigma}^2$ [50, 130, 174, 189]:

$$r(k) = \frac{\hat{\gamma}(k)}{\hat{\gamma}(0)}, k=0, 1, \dots, m. \quad (1.24)$$

Однако большинство наблюдаемых временных рядов не являются стационарными. Это объясняется тем, что они формируются различными по своей природе и независимыми явлениями. Статистическая обработка временных рядов подразумевает анализ следующих компонент [111]:

- тренд или систематическое изменение;
- колебания относительно тренда с большей или меньшей регулярностью;
- эффект сезонности;
- случайная компонента.

Другой подход к математическому описанию временных рядов связан с их анализом во временной области и построением их параметрических моделей, используемых в следующих случаях [111]:

- при выдвижении гипотез относительно природы системы, генерирующей временные ряды;
- для оптимального прогнозирования временных рядов;
- при исследовании динамических связей между рядами, т.е. оценивании передаточных функций объекта при неполной информации о природе внутренних процессов в объекте;
- при выработке стратегии оптимального управления объектом.

Выводы по главе 1

1. Показано, что при проектировании транспортных системы необходимо использовать механизмы интегрированного транспортного планирования, построенные на многоуровневой стратегической основе, подразумевающей комплексный подход к решению существующих проблем города и региона.

В России наблюдается недостаточность проработки методологии развития транспортных систем регионов и городов с точки зрения регламентирования процессов планирования.

2. Анализ научных трудов в области транспортного моделирования позволил выявить наиболее предпочтительные программные продукты (PTV VISUM, Aimsun, MATSim, AnyLogic) для решения прикладных задач в данной сфере. Определены наиболее рациональные области применения данных программных продуктов при решении задач организации транспортных процессов на основе имитационного моделирования.

3. В рамках анализа эффективности маршрутных сетей и их моделирования в работе предлагается использовать дискретно-событийное моделирование, основанное на общих положениях систем массового обслуживания. В рамках моделей анализа случайных пассажиропотоков рассматриваются как стационарные, так и нестационарные случайные процессы, а также весь спектр методов разведочного и многомерного анализа данных.

4. В работе проведен анализ принципов обеспечения безопасности дорожного движения, основными критериями которых являются: частота дорожно-транспортных происшествий; тип дорожно-транспортных происшествий; тяжесть последствий дорожно-транспортных происшествий (без пострадавших, различные степени тяжести, смертельные случаи).

2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ В РАМКАХ ПЕРСПЕКТИВНОГО ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

2.1. Принципы моделирования транспортных систем

Лишь в последние годы в РФ началось широкое применение транспортных моделей, позволяющих более точно прогнозировать интенсивность движения.

2.1.1. Общие проблемы моделирования и реконструкции транспортных систем

Применение транспортных моделей в РФ только в последние годы приобрело системный характер. Однако, как правило, принцип остается тот же: в соответствии с прогнозом принимается расчетная интенсивность движения, которая является обоснованием параметров проезжей части. Иными словами, реконструкция улиц, как правило, подразумевает расширение проезжей части либо сохранение ее в прежних параметрах в случае невозможности расширения. Новые улицы при этом проектируются с запасом пропускной способности в расчете на ее рост. В то же время рост интенсивности движения принимается как факт, не подразумевающий какого-либо воздействия на этот процесс в рамках проектирования. В результате развитие УДС производится в условиях неконтролируемого роста интенсивности движения и не учитывает обратную связь.

При этом в существующей застройке не всегда удастся увеличить параметры проезжих частей, а значит, определенные участки УДС достигают предела развития автотранспортной функции. В то же время, новое строительство ведется с запасом и зачастую не учитывает ограничения существующей УДС. Закономерным результатом является увеличение уровня загрузки, ухудшение работы транспорта, образование заторов. В современных условиях высокой автомобилизации такой подход к развитию УДС приводит к нецелесообразным

капиталовложениям, эффективность которых уменьшается по мере реализации такого сценария развития.

Текущей задачей транспортного планирования является не обеспечение неуправляемого роста интенсивности движения, а регулирование интенсивности в соответствии с необходимым функциональным балансом существующих и проектируемых улиц. Методами такого регулирования могут служить как мягкие (развитие общественного транспорта, велоинфраструктуры, организация парковки на платной основе), так и жесткие (введение платы и ограничение въезда в центральные районы, ограничение парковки). Дальнейшее планирование развития УДС, назначение ее параметров должно исходить из прогнозируемой интенсивности движения с учетом принимаемых мер по ее снижению. При этом следует учитывать обратную связь, состоящую в зависимости спроса на использование улично-дорожной сети для поездок на личном автотранспорте от ее параметров, а значит, и интенсивности движения [125, 145]. Такой подход позволит избежать необоснованных капиталовложений, избыточных параметров улично-дорожной сети, неэффективной ее работы.

Как правило, при формировании программ развития УДС принцип остается старым: в соответствии с прогнозом принимается расчетная интенсивность движения, которая является обоснованием параметров проезжей части. Иными словами, реконструкция улиц обычно подразумевает расширение проезжей части либо сохранение ее в прежних параметрах в случае невозможности расширения.

Основой моделирования транспортных систем являются программно-инструментальные средства (Aimsun, MATSim, Anylogic, PTV VISUM и другие), позволяющие формировать структуру УДС, характеристики транспортных средств, а также параметров их поступления и перемещения в системе [12]. Так, в инструментальной среде **Aimsun** с помощью микроскопического, мезоскопического и гибридного моделирования имеется возможность высокоскоростной симуляции динамических и статических трафиков движения транспортных средств (Рисунок 2.1) [5, 6, 22, 30, 39, 126, 195].

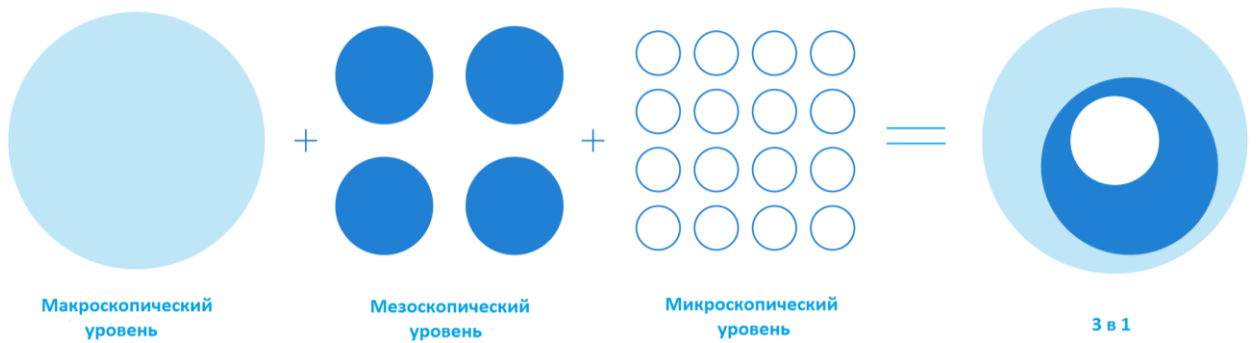


Рисунок 2.1 Уровни моделирования

В процессе моделирования и оптимизации в MATSim можно выделить 5 основных этапов: формирование первоначального спроса; выполнение сценария; расчет эффективности; адаптация сценариев под дорожную ситуацию; анализ (Рисунок 2.2) [2, 12, 30, 41, 125].

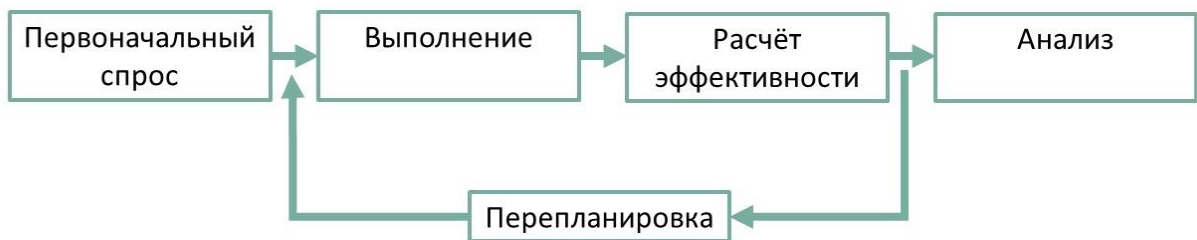


Рисунок 2.2 Этапы моделирования в MATSim

Однако следует отметить, что инструментальные средства в основном направлены на формирование достаточно адекватных моделей УДС и недостаточно используется спектр методов планирования экспериментов на имитационных моделях с учетом очень большого количества варьируемых факторов и нестационарных процессов развития дорожных ситуаций.

2.1.2. Формальное описание элементов и построение модели транспортной системы

Во всех инструментальных средах, позволяющих проводить моделирование транспортных потоков, первоначальным этапом является создание дорожной сети. Реалистичную дорожную сеть можно создать с помощью фотографии местности,

сделанной со спутника. В библиотеках сред моделирования содержится большое количество готовых объектов дорожной инфраструктуры (магазины, заправки, деревья, автобусные остановки, парковки и т.д.), которые помогут быстро придать создаваемой дорожной сети узнаваемые черты участка реальной дороги [88].

Для каждого нарисованного участка дороги задаются количество полос основного движения, одностороннее движение, количество полос встречного движения, ширина разделительной полосы, для подстройки высоты и наклонов дороги существуют дополнительные параметры (Рисунок 2.3) [12].

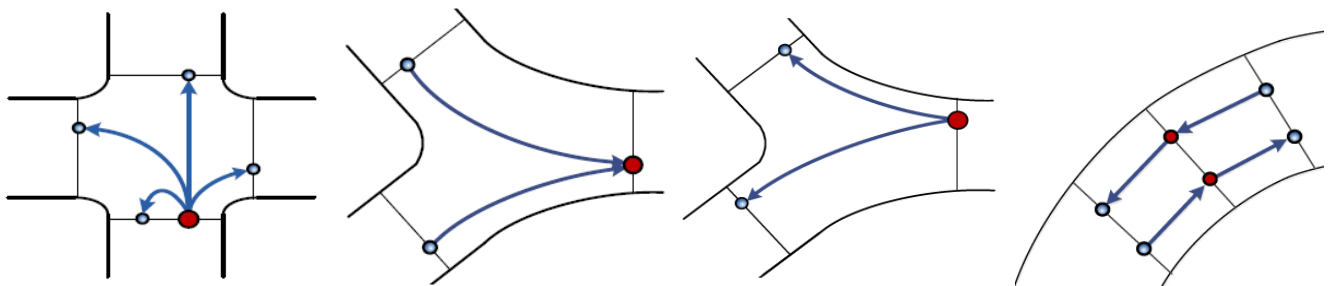


Рисунок 2.3 Паттерны участков улично-дорожной сети, применяемые при моделировании дорожного движения

Эти элементы и являются компонентами системы зонального управления (Рисунок 2.4 – 2.5).

К каждому перекрестку (не важно, сколько будет к нему примыкающих дорог) при необходимости ставится элемент светофор. К параметрам светофора относится режим его работы (для стоп-линий перекрестка, соединителей полос перекрестка или заданных стоп-линий), настройка фаз (длительность фазы для указанных соединителей полос или стоп линий). Длительность фаз задается конкретным числом секунд, законом распределения или данные берутся из базы данных. Для светофора можно написать функцию, исполняющуюся в момент смены фаз [12].

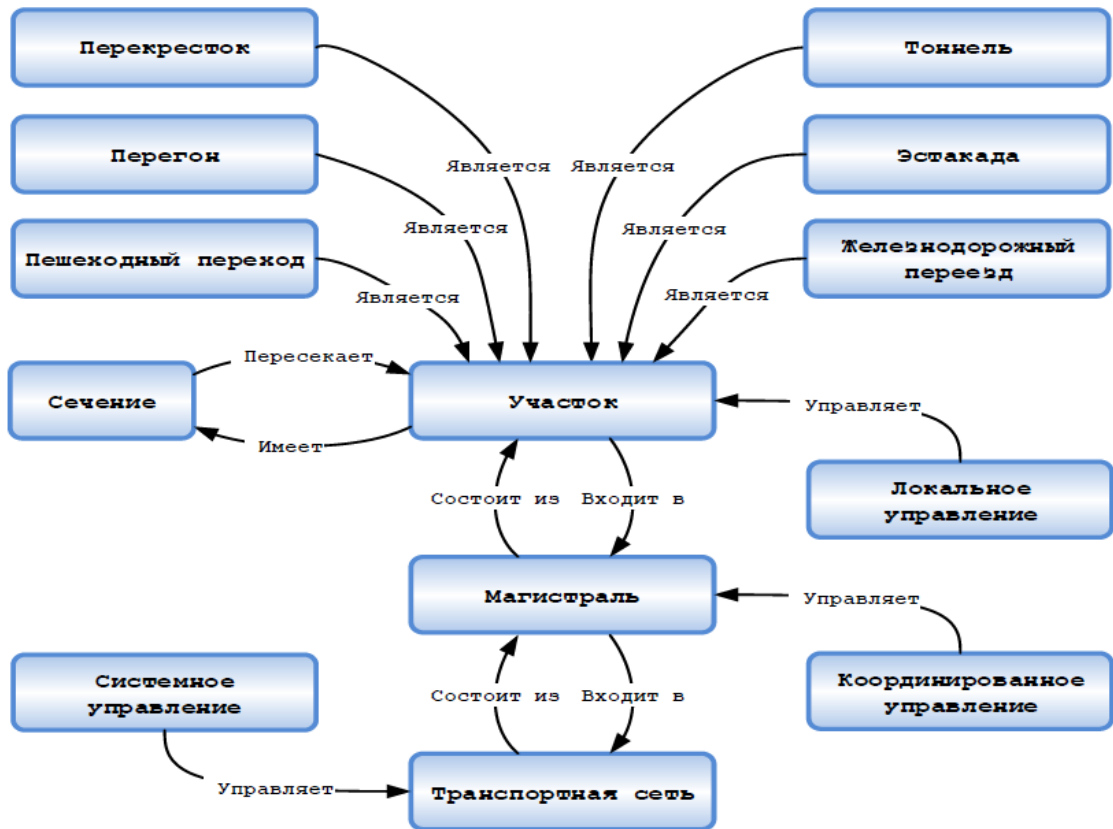


Рисунок 2.4 Декомпозиция пространственных зон и видов управления

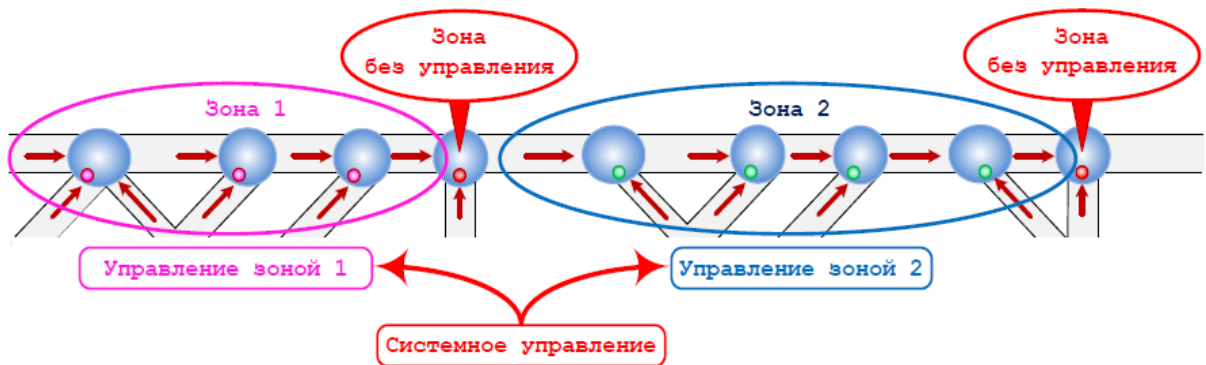


Рисунок 2.5 Паттерн зоны координированного и системного управления

Влияние между классами транспортных средств выражается через мощность и радиус действия, а также может носить положительный или отрицательный характер [72, 117].

При формировании характеристик автотранспортных средств (АТС) для каждого генератора машин используется длина, начальная скорость, предпочитаемая скорость, максимальное ускорение, максимальное торможение.

Также задается интенсивность появления АТС в начале дороги (X в час) или временной интервал. Возможно изменение вероятностей формирования маршрута.

В рамках собираемой статистики используется средняя скорость, остановка и возобновление движения, среднее время нахождения в транспортной системе, количество входов и выходов из модели транспортной сети по числу сгенерированных и покинувших систему машин.

2.1.3. Моделирование нестационарных процессов

Транспортное моделирование подразумевает работу с несколькими видами нестационарности. Один из видов представляется в форме [50, 130, 174, 183, 189]:

$$\eta(t) = a(t)\xi(t) + m(t), \quad (2.1)$$

где $a(t)$ и $m(t)$ – неслучайные функции времени,

$\xi(t)$ – стационарный процесс.

Процесс нестационарный по среднему имеет место, когда $a(t) = Const$ (Рисунок 2.6). Из нестационарных по среднему выделяют процессы с сезонным характером тренда (Рисунок 2.6) Процессы нестационарные по дисперсии получаются при $m(t) = Const$, $a(t) \neq Const$ [183].

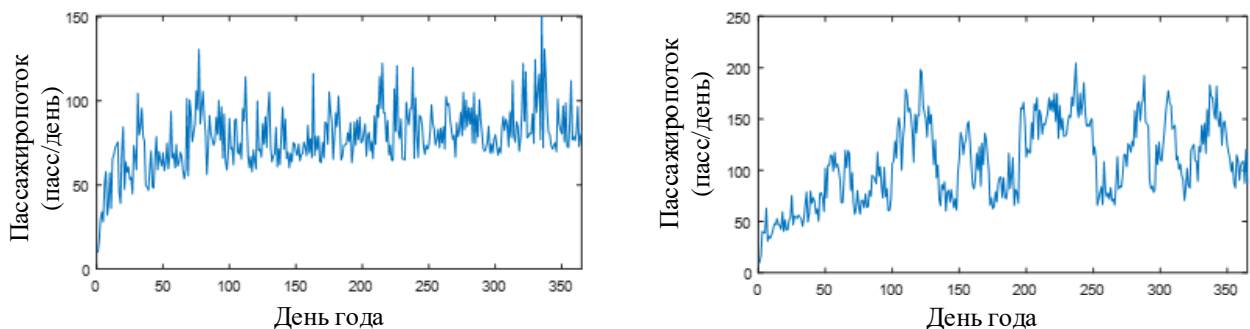


Рисунок 2.6 Процесс нестационарный по среднему

На практике также встречаются процессы с другими видами нестационарности. Процессы нестационарные по спектральной плотности изменяют свои частотные свойства во времени. Данные явления способны носить нестационарный характер по одномерной плотности распределения в условиях

временных изменений [116]. Процессы со сложными видами нестационарности трудно охарактеризовать общими свойствами, поэтому практические реализации процедур анализа основываются, как правило, на приведенном выше классе случайных процессов.

Так, критериями для оценки условий движения транспортного потока являются пропускная способность, уровень обслуживания и другие (Рисунок 2.7). Пропускная способность пересечения используется только для автомобильных транспортных средств и указывает количество транспортных средств, которые могут проехать через перекресток в единицу времени [12, 108].

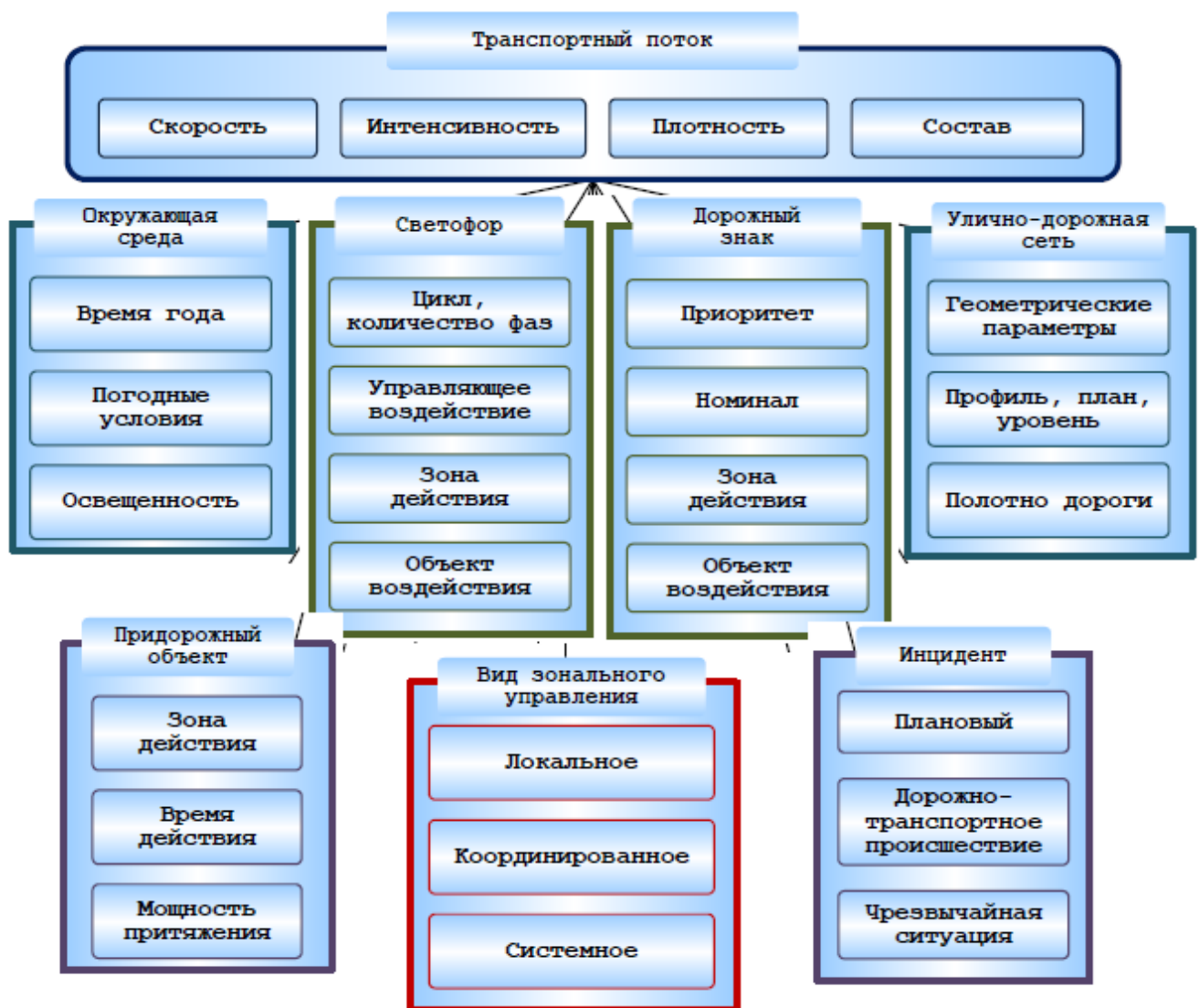


Рисунок 2.7 Факторы и характеристики транспортного потока

2.2. Формирование проектных решений выбора вида перекрестков

Комплексная транспортная схема, как проект развития транспортной инфраструктуры, в части пересечений и примыканий затрагивает только вопросы строительства новых и реконструкции существующих пересечений. При этом выбор вида пересечения должен основываться на комплексном учете интересов всех категорий участников транспортного процесса, а также других заинтересованных лиц (например, местных жителей). Только в этом случае будет обеспечена наиболее эффективная работа пересечения с учетом требований безопасности дорожного движения, защиты окружающей среды, экономии дорогостоящей городской территории, необходимого уровня комфорта всех групп участников дорожного движения и снижения временных издержек на перемещение в городе [106].

Критериями для оценки условий движения транспортного потока являются пропускная способность, уровень обслуживания и другие (Рисунок 2.8). Пропускная способность пересечения используется только для автомобильных транспортных средств и указывает количество транспортных средств, которые могут проехать через перекресток в единицу времени [106].

Уровень обслуживания необходимо определять для всех групп участников дорожного движения (автомобильного транспорта, пешеходов, велосипедов и т.д.). Уровень обслуживания характеризуется в частности [12, 108]:

- 1) временем ожидания до момента проезда перекрестка;
- 2) количеством остановок до момента проезда перекрестка;
- 3) частотой и длиной транспортных заторов;
- 4) необходимой длиной маршрута для перехода перекрестка пешеходом.

Для пешеходного и велосипедного движения наряду с продолжительностью задержек имеют значения и другие специфические недостатки (например, требуемый обход, отсутствие возможности перейти за один раз проезжую часть с островком безопасности, малая площадь островка безопасности, недостаточная величина понижения бортового камня) [12, 102, 108].

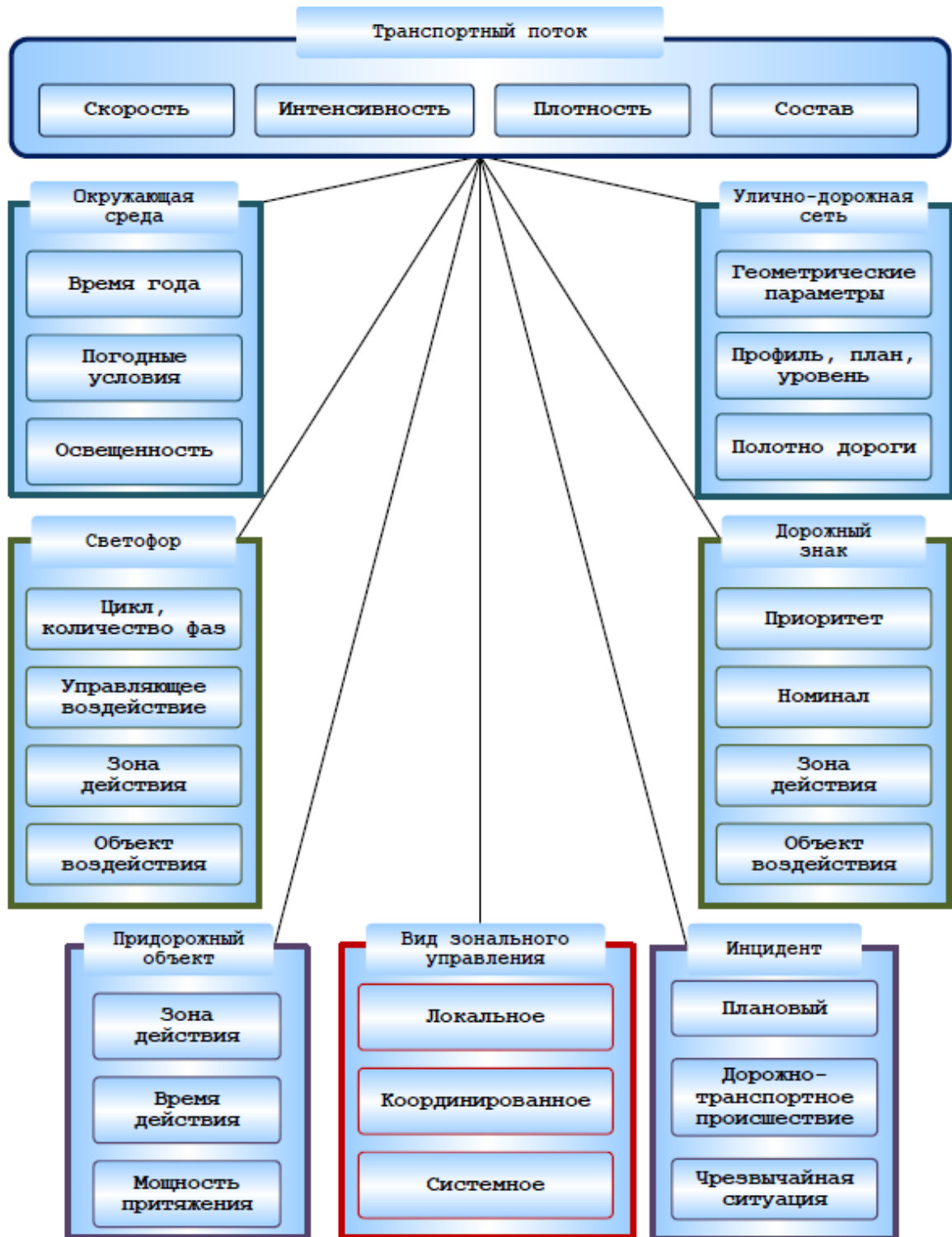


Рисунок 2.8 Факторы и характеристики транспортного потока

В рамках проверки рекомендаций для различных вариантов перекрестков были реализованы имитационные модели (Рисунки 2.9 – 2.10).



Рисунок 2.9 Визуализация имитационной модели

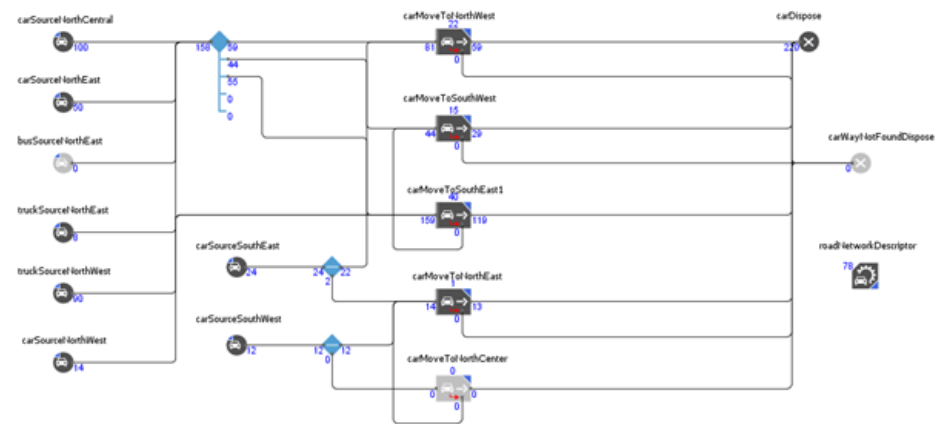


Рисунок 2.10 Структура имитационной модели

2.2.1. Критерии выбора вида перекрестка на основе нормативной базы Российской Федерации

Основными видами перекрестков являются примыкание, пересечение, пересечение с круговым движением и пересечение, разнесенное на два примыкания. Большое значение имеет вид приоритета.

1. Перекрестки без светофорного регулирования [79]:

- перекресток равнозначных дорог;
- перекресток неравнозначных дорог;
- перекресток с круговым движением.

2. Перекресток со светофорным регулированием.

Основы выбора схемы перекрестка – это единообразие проекта, строительства и эксплуатации. Перекресток должен быть [170]:

- распознаваемым;
- обозримым;
- понимаемым (узнаваемым);
- удобным для проезда;
- удобным для прохождения пешком.

Водитель должен заранее видеть перекресток и быть готовым предпринимать требуемые действия для безопасного проезда в дневное и ночное время суток. Это особенно важно для второстепенных и не главных направлений (с необходимостью остановки перед перекрестком). Перекресток должен быть обозримым. Для этого требуется:

- 1) заблаговременное распознавание участников движения, имеющих приоритет;
- 2) достаточная видимость (обеспечение треугольника видимости на перекрестке);
- 3) наличие дорожной разметки для автомобильного транспорта;
- 4) наличие дорожной разметки для пешеходов;
- 5) распознаваемость направлений движения пешеходов и велосипедистов.

Перекресток должен быть понимаемым. Очень важно согласовывать приоритет в движении с геометрией перекрестка и оснащением. Участник дорожного движения должен незамедлительно понимать [192]:

- 1) какой участник движения имеет приоритет;
- 2) где расположен съезд;
- 3) где могут быть конфликты с другими участниками дорожного движения;
- 4) где могут пересекать проезжую часть пешеходы.

Приоритетные направления распознаются с помощью формы подъезда к перекрестку, дорожной разметки, размерами проезжей части и дорожными знаками. Указанные элементы позволяют участнику дорожного движения быстрее определить правила проезда перекрестка. Для пешеходов и велосипедистов

необходимо предусмотреть место для ожидания и перехода, а маршрут движения через перекресток по возможности сократить.

Устройство нерегулируемых пересечений с большим количеством полос движения не является безопасным [151, 169]. В то же время использование кольцевых пересечений упраздняет необходимость размещения устройств светофорного объекта на пересечении, позволяет заменить его кольцевым перекрестком.

Кроме того, не указано влияние схем пересечений на пешеходное движение, безопасность дорожного движения и удобство проезда грузовых автомобилей и общественного транспорта.

Таким образом, наиболее рациональными являются следующие границы применимости различных схем пересечений и примыканий в одном уровне (Рисунок 2.11).



а) правильное формирование геометрии примыкания



б) отделение второстепенного направления



в) отделение второстепенного направления, устройство накопительной полосы для левого поворота, каплевидных и треугольных островков

Рисунок 2.11 Границы применимости различных схем пересечений и примыканий в одном уровне

2.2.2. Круговое движение

Перекрестки с кольцевым движением обеспечивают оптимальную низкую скорость движения в пределах кольца, а также до и после пересечения (Рисунок 2.12).

Для пешеходов и водителей уровень безопасности дорожного движения при однополосной проезжей части на кольце особенно высок. Пешеходы выигрывают от низкой скорости движения пешеходов, хорошего обзора транспортной ситуации, кратчайших маршрутов при переходе проезжей части и от защиты на островках безопасности. Недостатком для слепых или людей с ограниченным зрением является тот факт, что они не могут различить на слух, выезжает ли автомобиль с кольца или продолжает по нему движение. Для них предусматриваются особые меры предосторожности (например, тактильная плитка). Кольцевое пересечение позволяет совершать велосипедам безопасный левый поворот.

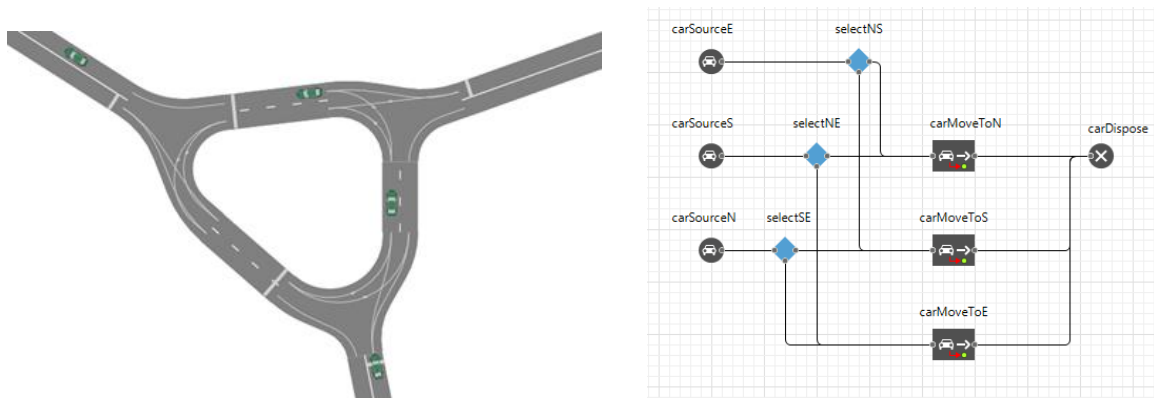


Рисунок 2.12 Изменение скорости движения на перекрестке с круговым движением

Оптимальный уровень безопасности дорожного движения обеспечивается хорошей распознаваемостью перекрестка, по возможности наименьшим радиусом центрального островка (наилучший вариант – малое кольцевое пересечение только с одной полосой движения на кольце и на каждом подъезде к кольцу), отсутствием препятствий для видимости в середине кольца, малой шириной полосы движения для легкового автомобиля, наличием в населенном пункте пешеходных переходов

через каждую проезжую часть кроме кольца и правильным расположением велосипедной полосы.

На малых кольцевых пересечениях допустимая суммарная со всех направлений интенсивность движения составляет до 15000 автомобилей в сутки, для миникольц – до 12000 автомобилей в сутки. При этом задержки минимальны [128, 160]. При больших интенсивностях транспортных потоков уровень обслуживания следует проверять. На практике можно использовать график (Рисунок 2.13), определяющий допустимые интенсивности транспортных потоков с достаточным уровнем обслуживания.

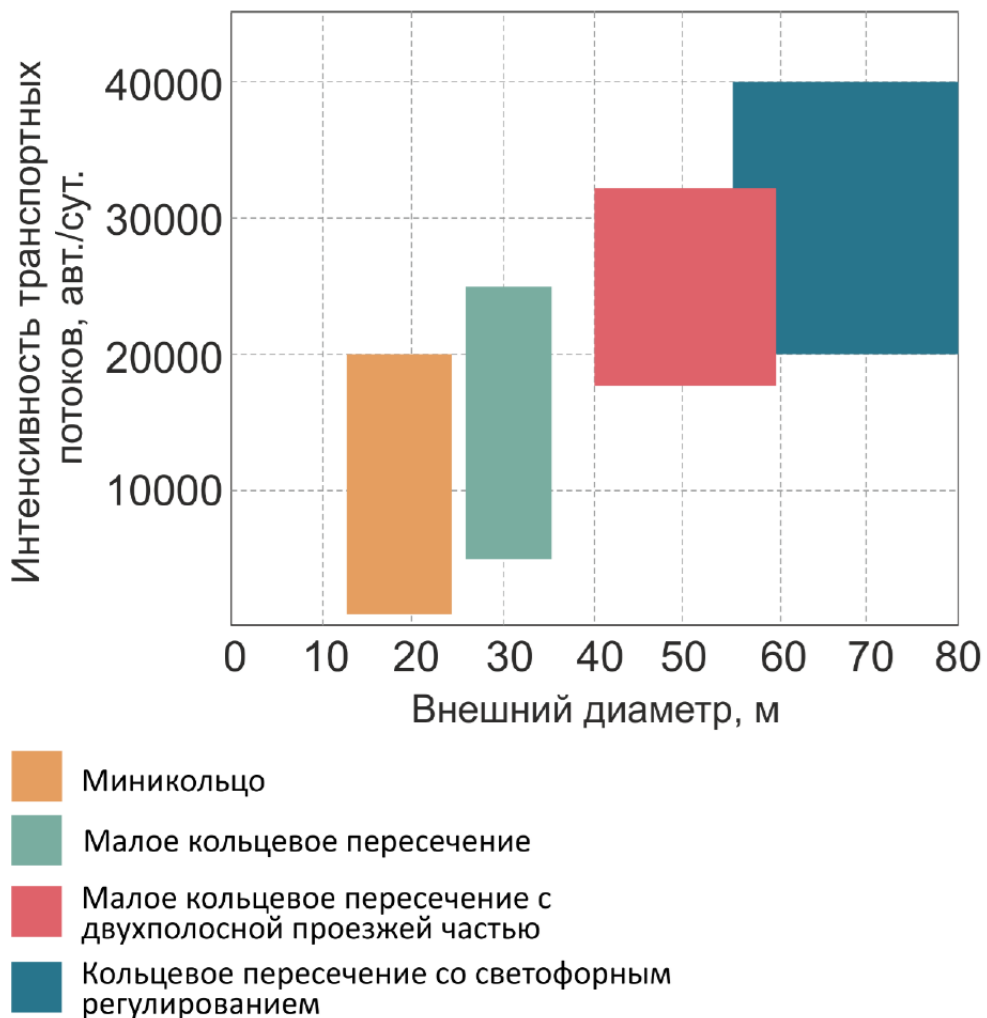


Рисунок 2.13 Классификация кольцевых пересечений

Пропускная способность может быть повышена за счет устройства дополнительных полос на подъездах к кольцевой проезжей части и многополосной проезжей части на кольце, разделения примыкающих дорог на въезды и выезды,

устройства отдельных съездов (bypass) для интенсивных поворачивающих потоков и турбоколец [98].

Преимуществами кольцевых пересечений является прежде всего высокая безопасность для всех участников дорожного движения за счет снижения скорости движения, низких задержек для автомобильного транспорта и немоторизированных участников дорожного движения и т.д.

Следует отметить, что по количеству конфликтных точек круговое движение существенно выигрывает по сравнению с остальными пересечениями. При этом отпадают многочисленные и особенно опасные конфликты при пересечении автомобилями проезжей части и при левых поворотах, что определяется конфликтными точками (Рисунок 2.14 – красные точки). Остаются только менее опасные конфликтные точки при разделении и слиянии потоков (желтые точки).

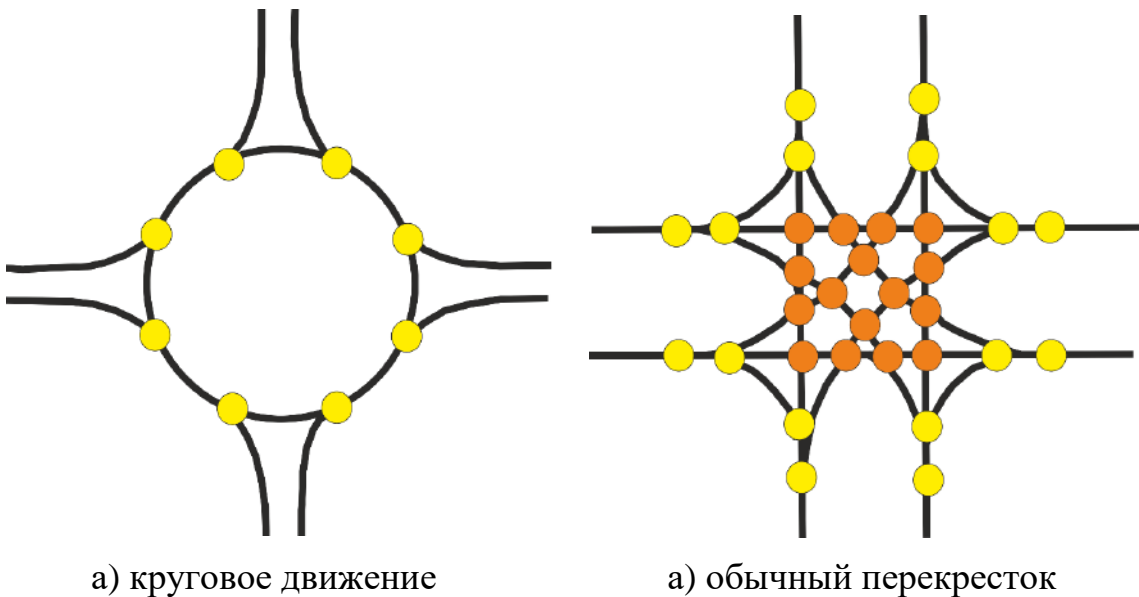


Рисунок 2.14 Конфликтные точки на пересечениях с круговым движением и на обычных перекрестках

Для безопасности дорожного движения условия лучше в случае снижения скорости на пересечении. В этом случае количество дорожно-транспортных происшествий уменьшается, а произошедшие дорожно-транспортные происшествия имеют менее тяжелые последствия.

2.2.3. Результаты моделирования

Для изменения входных параметров и расчёта статистических данных сформирован соответствующий набор данных (Рисунок 2.15).

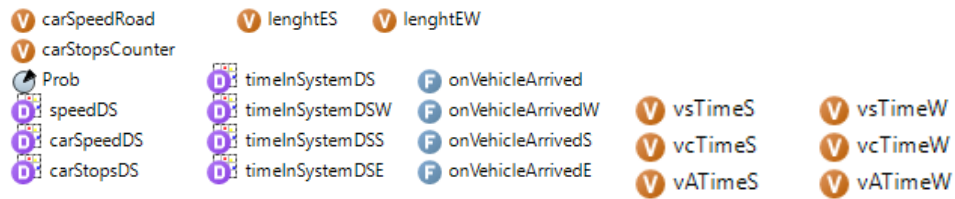


Рисунок 2.15 – Данные для изменения входных параметров и расчёта

При описании моделей перекрестков использовались блоки, представленные в таблице 2.1 [98].

Таблица 2.1 – Используемые блоки для моделирования

Название	Описание
Prob	вероятность поворота на юг с второстепенной дороги
carSpeedRoad	средняя скорость ТС на указанном участке УДС
carStopsCounter	счетчик остановок ТС в УДС
lengthES	длина маршрута с Востока на Юг (Юго-Восток)
lengthEW	длина маршрута с Востока на Запад
vsTimeS	суммарное время в пути всех ТС, движущихся с Востока на Юг (Юго-Восток)
vcTimeS	количество ТС, движущихся с Востока на Юг (Юго-Восток)
vATimeS	среднее время задержки на перекрестке всех ТС, движущихся с Востока на Юг (Юго-Восток)
vsTimeW	суммарное время в пути всех ТС, движущихся с Востока на Запад
vcTimeW	количество ТС, движущихся с Востока на Запад
vATimeW	среднее время задержки на перекрестке всех ТС, движущихся с Востока на Запад
speedDS	таблица средняя скорость ТС на указанном участке УДС
carSpeedDS	таблица Средняя скорость ТС
carStopsDS	таблица Количество остановок ТС
timeInSystemDS	таблица Среднее время задержки на перекрестке всех ТС
timeInSystemDSW	таблица Среднее время задержки на перекрестке ТС, движущихся с Востока на Запад
timeInSystemDSS	таблица Среднее время задержки на перекрестке ТС, движущихся с Востока на Юг (Юго-Восток)
timeInSystemDSE	таблица Среднее время задержки на перекрестке ТС, движущихся с Юга (Юго-Востока) на Восток
onVehicleArrived	функция при удалении агента
onVehicleArrivedW	функция при выходе агента из блока управления движением автомобиля на Запад
onVehicleArrivedS	функция при выходе агента из блока управления движением автомобиля на Юг (Юго-Восток)
onVehicleArrivedE	функция при выходе агента из блока управления движением автомобиля на Восток.

Для каждой созданной модели перекрестка было проведено имитационное моделирование и найдено среднее время задержки транспортных средств на перекрестке по каждому направлению движения [98] (Рисунок 2.16, Таблица 2.2).

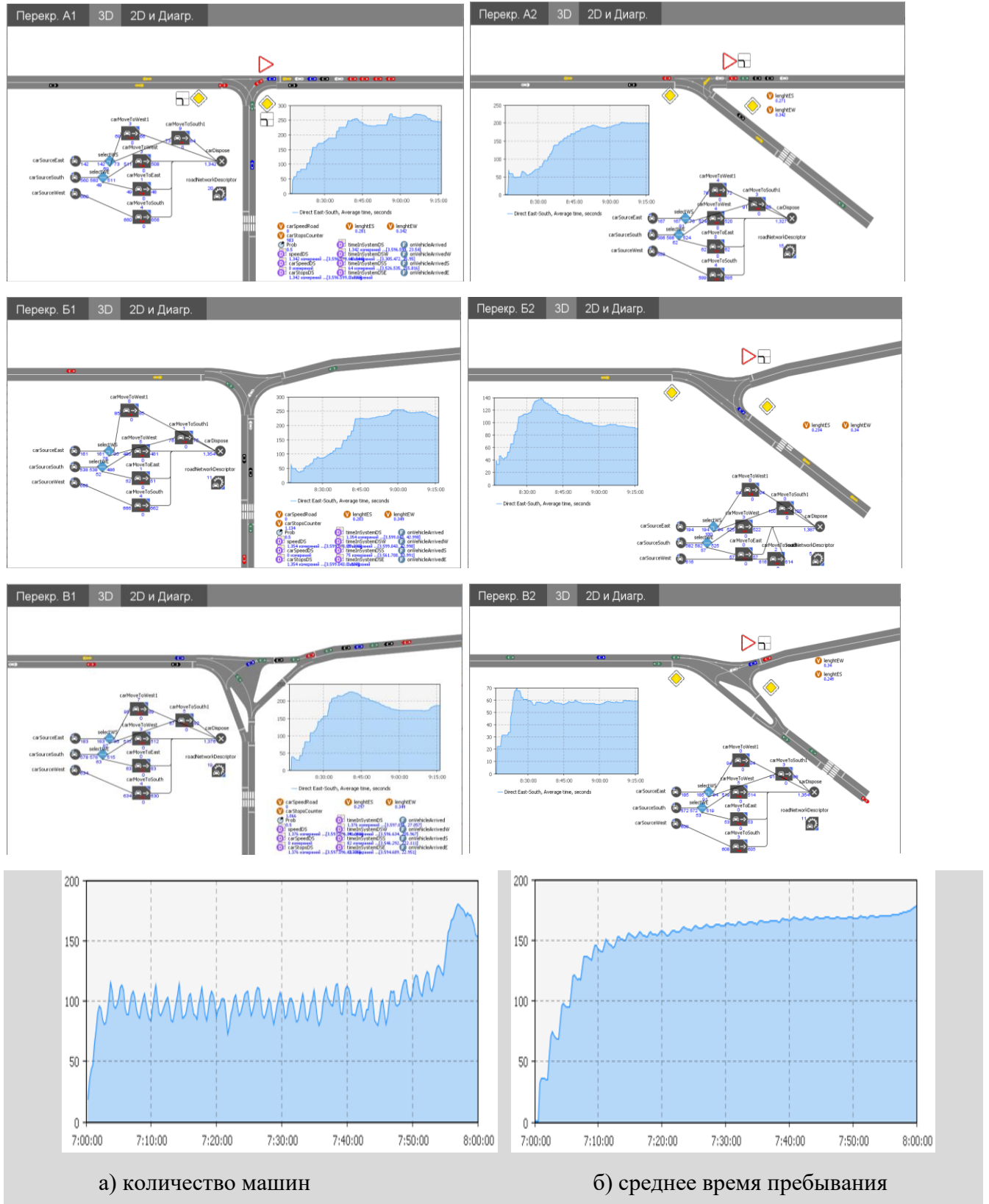
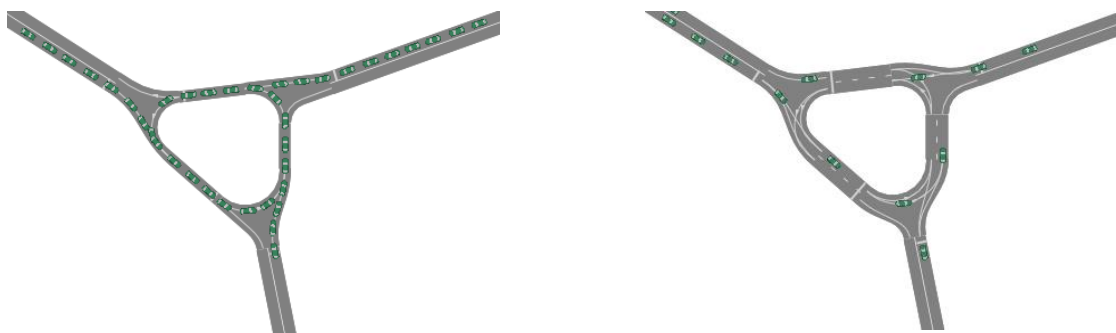


Рисунок 2.16 Результаты моделирования

Таблица 2.2 Результаты моделирования

Перекрестки	A1	A2	Б1	Б2	В1	В2
Время задержки на перекрестке на Юг, среднее (сек)	244	198	227	90	188	59
Время задержки на перекрестке на Юг, max (сек)	497	402	684	239	371	154
Время задержки на перекрестке на запад, средн. (сек)	240	185	166	59	132	39
Время задержки на перекрестке на запад, max (сек)	488	390	597	208	348	106
Интенсивность потока	1342	1327	1354	1387	1376	1354

Отдельно был рассмотрен вариант модели кругового движения с изменяемым радиусом (Рисунок 2.17). В результате моделирования получены значения изменения скорости движения [98].



а) с одной полосой движения

б) с двумя полосами движения

Рисунок 2.17 Моделирование кругового движения с изменяемым радиусом

2.2.4. Рекомендации выбора типов пересечений

В результате моделирования и анализа общепринятых рекомендаций для перекрестков равнозначных дорог (1), неравнозначных дорог (2), с круговым движением (3) и светофором (4) сформированы [98, 161]:

– достоинства и недостатки различных видов пересечений и примыканий в одном уровне (Таблица 2.3);

– области преимущественного использования различных типов перекрестков (Таблица 2.4);

– критерии выбора пересечения в зависимости от категории пересекающихся улиц (Таблица 2.5).

Таблица 2.3 Достоинства и недостатки различных типов перекрёстков

Показатель / тип перекрестка	1	2	3	4
Значительное снижение скорости движения	+/-	-	+	-
Отсутствие ДТП из-за высокой скорости движения	+/-	-	+	-
Возможность координации движения	-	-	-	+
Отсутствие задержек для общественного транспорта	-	+/-	-	+
Безопасный пешеходный переход (со светофорным регулированием)	-	-	-	+
Устройство приоритета проезда общественного транспорта	-	-	-	+
Большая пропускная способность	-	+/-	+	+
Высокий уровень безопасности дорожного движения	+/-	+/-	+	+/-
Низкие задержки для автомобильного транспорта	+/-	+/-	+	+/-
Низкие задержки для пешеходов	+	+	+	+/-
Безопасный левый поворот для автомобилей	-	-	+	+/-
Безопасный левый поворот для велосипедов	-	-	+	-
Возможность разворота для автомобилей	+/-	+/-	+	+/-
Удобство для прохода слепых и людей с ограниченным зрением	-	-	-	+
Подходит для проезда автомобилей с большим габаритом	+/-	+/-	+/-	+/-

Таблица 2.4 Область применения различных видов перекрестков

Область применения / тип перекрестка	1	2	3	4
Высокие поворачивающие интенсивности	-	-	+	+
Сильно изменяющиеся по направлениям интенсивности потоков	+	-	+	+
Хорошие условия видимости	+	+	+	+
Жилые районы с низкими интенсивностями движения автомобильных потоков	+	-	+	-
Участки улично-дорожной сети с ограничением скорости 30 км/ч	+	+	+	+
Участки улично-дорожной сети с мероприятиями по успокоению движения	+	+	+	+
Участки улично-дорожной сети с совместным использованием пешеходами и автомобилями (shared space)	+	-	-	-
Координация движения транспорта («Зеленая волна»)	-	-	-	+
Перекрестки без движения общественного транспорта	+	+/-	+/-	+
Более четырех подходов к перекрестку	-	-	+	-
Для уменьшения количества ДТП из-за высокой скорости	+/-	-	+	-
Для уменьшения количества ДТП из-за условий видимости и распознаваемости	-	-	+	+
Необходимость принудительного снижения скорости	+/-	-	+	-
Высокие поворачивающие интенсивности	-	-	+	+
Сильно изменяющиеся по направлениям интенсивности потоков	+	-	+	+
Хорошие условия видимости	+	+	+	+
Жилые районы с низкими интенсивностями движения автомобильных потоков	+	-	+	-
Область применения / тип перекрестка	1	2	3	4
Предельные интенсивности движения суммы всех входящих потоков [авт/ч]	600-900	> 1500 По расчету	1200-4000 По расчету	1500-6000 По расчету

Таблица 2.5 Выбор пересечения в зависимости от категории пересекающихся улиц

Примыкания и пересечения дорог местного значения / тип пересечения	1	2	3	4
Улицы местного значения одинаковых категорий	+	О	+	-
Улицы местного значения различных категорий	О	+	+	О
Примыкания и пересечения магистральных и местных дорог / тип пересечения	1	2	3	4
Магистральная дорога и местная дорога с 2 полосами	-	+	+	+
Магистральная дорога и местная дорога с 4 и более полосами	-	О	-	+
Примыкания и пересечения магистральных дорог / тип пересечения	1	2	3	4
Две магистральные дороги и каждая с 2 полосами	-	О	+	+
Магистральные дороги – одна с 2 полосами, а другая – с 4 или более полосами	-	-	+	+
Магистральная улица с 4 или более полосами движения и магистральная улица с 4 или более полосами движения	-	-	+	+
Магистральные улицы и магистральные дороги	-	-	+	+

Примечание: «+» – подходит, «О» – подходит в виде исключения, «-» – не подходит

2.3. Светофорное регулирование

Основной целью устройства светофорного регулирования на перекрестке является разделение транспортных и пешеходных потоков во времени путем включения разрешающего или запрещающего сигнала светофора для определенной группы участников дорожного движения. В зависимости от вида перекрестка и типа светофорного регулирования можно частично либо полностью избежать появления конфликтных точек [98, 200].

Как правило, светофорные объекты устраиваются для повышения уровня безопасности дорожного движения, а также увеличения пропускной способности

и уровня обслуживания транспортных потоков. В качестве дополнительных решаемых задач можно привести следующие [98]:

- 1) улучшение условий движения общественного транспорта;
- 2) защита и увеличение уровня обслуживания для пешеходов и велосипедистов;
- 3) направление движения транспортных средств в целом в сети;
- 4) защита участков улично-дорожной сети от перегрузок.

Цели устройства светофорного регулирования должны соответствовать в первую очередь потребностям, интересам и требованиям отдельных групп участников дорожного движения и другим заинтересованным группам. Пешеходам, велосипедистам, водителям и пассажирам общественного транспорта, автовладельцам требуется, чтобы светофор обеспечивал безопасный, безостановочный и хорошо воспринимаемый пропуск участников движения. С точки зрения местных жителей светофор должен как можно меньше их беспокоить, положительно влияя на выбросы вредных веществ и шум от автомобильного транспорта. Часто разнообразие требований различных групп участников дорожного движения приводит к конфликту целей.

При внедрении светофорного регулирования требуется проведение сравнительного анализа различных вариантов реализации с учетом БДД, экономичности, пропускной способности и защиты окружающей среды. При этом требуется учитывать все группы участников дорожного движения и других заинтересованных лиц [17, 26, 25, 32, 98].

В настоящее время продолжается использование светофорного регулирования только с одной целью – увеличение пропускной способности перекрестков, удовлетворяющей только одну группу участников дорожного движения – индивидуальный автомобильный транспорт. Интересы общественного транспорта, пешеходного и велосипедного движения, как правило, слабо учитываются при проектировании светофорного регулирования. Уровень безопасности дорожного движения вследствие игнорирования фундаментальных закономерностей также низок.

Развитые европейские страны уже в начале 80-х годов прошлого века стали отходить от проектирования, ориентированного на спрос, к проектированию, управляющему транспортным движением [125]. Новая стратегия заключалась в стимулировании желаемого развития транспортного движения и в подавлении нежелательного роста интенсивностей потоков.

В конечном итоге это привело к сильному влиянию интересов общественного транспорта, пешеходного и велосипедного движения, снижению значения критерия пропускной способности (в случае если он относится исключительно к индивидуальному автомобильному транспорту) и увеличению влияния критерия защиты окружающей среды. При этом понятие «защита окружающей среды» стало все больше смещаться в сторону «соответствия окружению», что подразумевает под собой наряду с воздействием на окружающую среду (выхлопные газы, загрязнение воды, шум и т.д.) и воздействие на социальную и градостроительную сферу. Это понятие также включает в себя уровень обслуживания немоторизированных участников дорожного движения и общественного транспорта.

2.3.1. Оценка резервов пропускной способности УДС, оптимальный уровень загрузки

Оценка резервов пропускной способности состоит в анализе уровня загрузки улично-дорожной сети [67].

Пропускная способность может быть найдена из соотношения [106]:

$$P_{рез} = \alpha \sum_{j=1}^c N_j / \sum_{j=1}^b q_j, \quad (2.2)$$

где α – суммарный фазовый коэффициент при полной нормальной загрузке регулируемого перекрестка, равный 0,9 при двухтактном, 0,85 – при трехтактном и 0,8 – при четырехтактном циклах регулирования;

b – число основных циклообразующих направлений, требующих выделения полного такта;

N_j – интенсивность по данному входу на перекресток, приведенных авт/ч;
 c – число возможных направлений движения с данного входа на перекресток при пересечении линии «стоп» (направо, прямо, налево);

j – возможные направления движения по всем входам на перекресток;

Различают шесть уровней обслуживания движения на дорогах, характеристика которых приведена в таблице 2.6 [159].

Таблица 2.6 Уровень обслуживания дороги

Уровень обслуживания движения	Коэффициент загрузки z	Коэффициент скорости движения s	Коэффициент насыщения движением ρ	Характеристика потока автомобилей	Состояние потока	Эмоциональная нагрузка водителя	Удобство работы водителя	Экономическая эффективность работы дороги
A	$< 0,20$	$> 0,90$	$< 0,10$	Автомобили движутся в свободных условиях, взаимодействие между автомобилями отсутствует	Свободное движение одиночных автомобилей с большой скоростью	Низкая	Удобно	Неэффективная
B	$0,20 - 0,45$	$0,70 - 0,90$	$0,10 - 0,30$	Автомобили движутся группами, совершается много обгонов	Движение автомобилей малыми группами (2 – 5 шт.). Обгоны возможны	Нормальная	Малоудобно	Малоэффективная
C	$0,45 - 0,70$	$0,55 - 0,70$	$0,30 - 0,07$	В потоке еще существуют большие интервалы между автомобилями, обгоны запрещены	Движение автомобилей большим и группами (5 – 14 шт.). Обгоны запрещены	Высокая	Неудобно	Эффективная
D	$0,70 - 0,90$	$0,40 - 0,55$	$0,70 - 1,00$	Сплошной поток автомобилей, движущихся с малыми скоростями	Колонное движение автомобилей с малой скоростью. Обгоны запрещены	Очень высокая	Очень неудобно	Неэффективная
E	$0,90 - 1,00$	$< 0,40$	1	Поток движется с остановками, возникают заторы, режим пропускной способности	Плотное	Очень высокая	Очень неудобно	Неэффективная
F	$> 1,00$	0,3	1	Полная остановка движения, заторы	Сверх плотное	Крайне высокая	Крайне неудобно	Неэффективная

Примечание: к дорожным участкам, которые находятся в режиме перегрузки, относятся участки дороги с уровнями обслуживания D, E или F.

В рамках анализа функционального баланса сечений магистральных улиц г. Красноярск рассматриваются уровни загрузки, что позволяет оценить резервы пропускной способности улиц. Однако стоит отметить, что наличие значительных резервов само по себе говорит, как правило, об экономически неэффективной работе улично-дорожной сети. Такие резервы следует рассматривать главным образом как возможность улучшения работы общественного транспорта и улучшения качества пешеходной среды, а также для создания велоинфраструктуры.

2.3.2. Основные принципы расчета программы регулирования

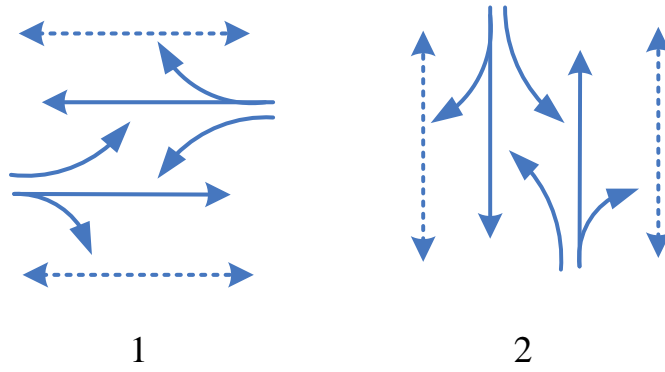
От количества и распределения фаз на светофорном пересечении зависит уровень обслуживания и безопасность. При распределении фаз различают неконфликтные, условно конфликтные и конфликтные транспортные потоки. Неконфликтные транспортные потоки, в отличие от условно конфликтных и конфликтных, не имеют общих конфликтных точек. При условно конфликтных транспортных потоках речь идет о не отделённых сигналами потоках, которые двигаются одновременно с потоками встречного или попутного направления.

Количество фаз выбирается в зависимости от формы пересечения, количества, направления и конфликтов транспортных потоков, а также от отдельных потоков автомобилей (Рисунок 2.18). В общем случае транспортные потоки должны как можно меньше задерживаться [37, 42, 62, 106].

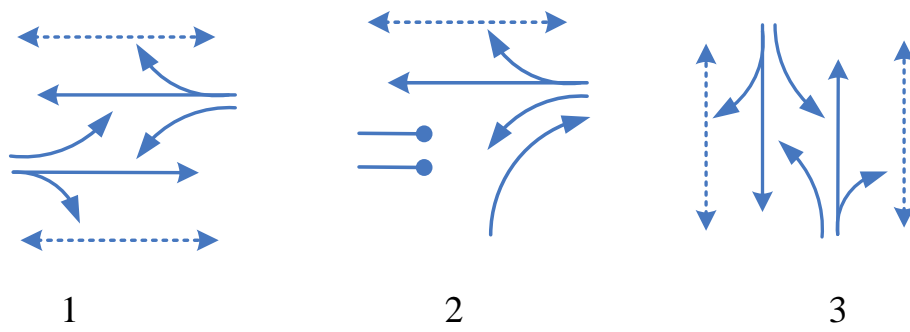
Двухфазная система обслуживает максимальное количество транспортных потоков, левые повороты осуществляются через прямое встречное направление, преимущественно используется на малых пересечениях и применима при низких интенсивностях левоповоротных потоков [106].

При временном смещении зеленого сигнала для встречных потоков относительно друг друга создаются дополнительные промежутки времени перед и после основного зеленого сигнала. Благодаря этому левоповорачивающие потоки могут в конце или в начале основной зеленой фазы преодолеть встречное направление без помех для встречного движения, что также сигнализируется зеленой стрелкой сигнала на пересечении.

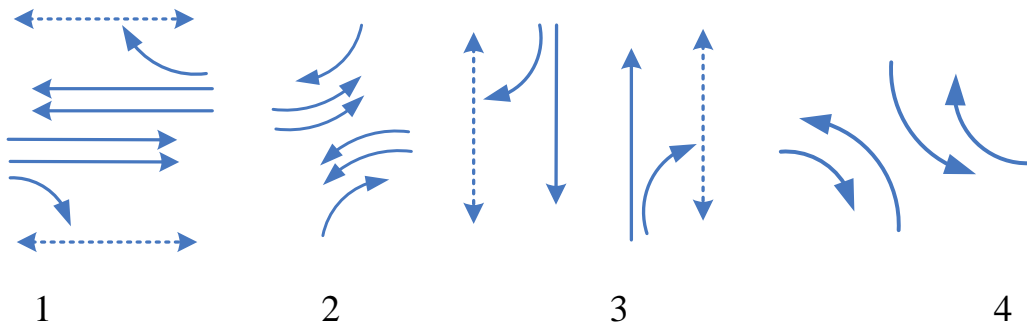
Дополнительное время для завершения левого поворота реализуется в виде секции с зеленой стрелкой. По завершении фазы 1-е встречное движение останавливается для обеспечения свободного проезда левоповоротным потокам [106].



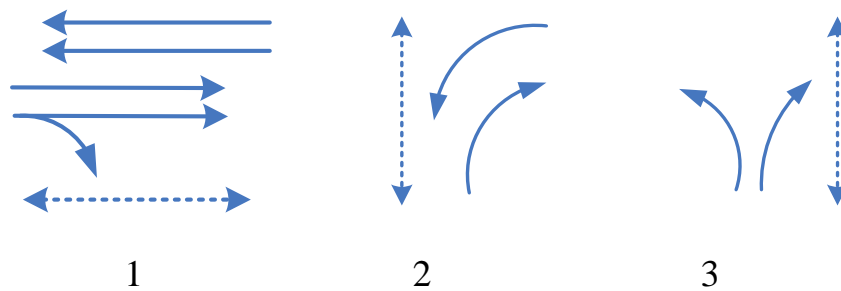
а) двухфазная система



б) дополнительное время для левоповоротных потоков



в) четырехфазная система



г) трехфазные системы на примыканиях

 Пешеходное движение
  Автомобильное движение

Рисунок 2.18 Использование различных многофазных подходов к регулированию

В случае, когда левоповоротные потоки должны разводиться без конфликтов или поворачивает сразу несколько полос, необходимо настроить четырехфазную систему.

В **четырёхфазной системе** левоповоротные потоки обозначаются отдельно, безконфликтный проезд обозначается дополнительной секцией с зеленой стрелкой, применяется на больших пересечениях [106].

Трёхфазные системы на примыканиях нашли свое применение при слабых левоповоротных потоках прямого направления. При сильных также применяется отдельная фаза или дополнительное время для совершения левого поворота [106].

Конструирование программы светофорного регулирования делится на два шага (Рисунок 2.19):

На **первом шаге** грубо рассчитывается сигнальная программа на основе требуемых промежуточных тактов и величины основных тактов для автомобильного движения. Здесь необходимо начать с важнейших, влияющих на продолжительность основных тактов направлений в фазах и затем подогнать основные такты под другие направления.

Второй шаг включает учет пешеходных основных тактов и окончательную подгонку сигнальной программы. При этом необходимо учитывать следующие условия:

- в случае одновременного движения левоповоротных потоков и потоков прямого направления зеленый сигнал светофора должен зажигаться одновременно для потоков в прямом и обратном направлении;
- зеленый сигнал для пешеходов не должен зажигаться после условно конфликтного автомобильного правоповоротного направления из условия обеспечения безопасности дорожного движения;
- пешеходный зеленый сигнал должен по возможности загораться до включения зеленого сигнала для правоповоротных потоков;
- зеленый сигнал для пешеходов должен иметь как можно более продолжительную длительность;

– пешеходный зеленый сигнал как правило должен заканчиваться раньше, чем условно конфликтный правоповоротный поток с высокой интенсивностью движения.

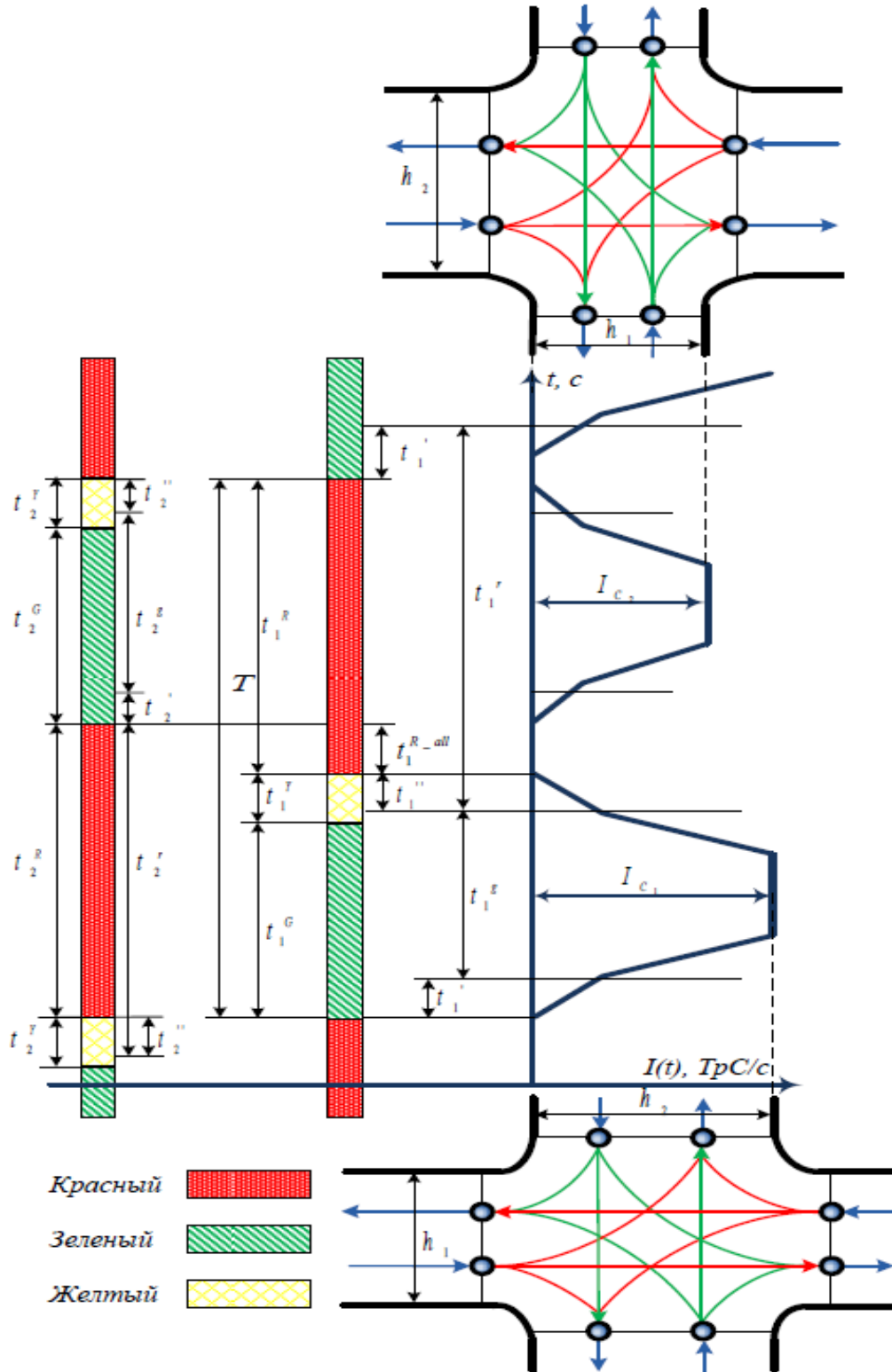


Рисунок 2.19 Сигнальная программа

2.3.3. Расчет программы регулирования

Как правило, базовые показатели для транспортного потока рассчитываются по общепринятой методике. Однако для корректного учета пешеходного потока данная методика не подходит. В результате предлагается методика, основанная на расчете потоков насыщения. Поток насыщения – максимальное количество транспортных средств, способное проехать в указанном направлении при заданной ширине проезжей части (или полосы для движения), заданном проценте поворачивающих транспортных средств, заданном радиусе поворота. При этом потоки насыщения могут быть найдены из соотношения [98, 106]:

$$M_{nij} = M_{nij}^{прямое} \frac{100}{a + 1.75 \times b + 1.25 \times c} \times K, \quad (2.3)$$

где M_{nij} – поток насыщения, ед/ч;

i – номер фазы;

j – номер направления;

$M_{nij}^{прямое} = 525 \times B_{nc}$ – поток насыщения в прямом направлении, ед/ч;

a, b, c – интенсивность движения транспортных средств соответственно прямо, налево и направо в процентах от общей интенсивности;

K – поправочный коэффициент;

B_{nc} – ширина проезжей части в данном направлении данной фазы, м.

Когда правоповоротные и левоповоротные потоки составляют менее 10% от общего потока, то поправкой можно пренебречь. В этом случае [98, 106]:

$$M_{nij} = M_{nij}^{прямое} \times K. \quad (2.4)$$

Потоки насыщения для отдельных поворачивающих потоков рассчитываются по следующим формулам:

– для одной поворачивающей полосы [98, 106]:

$$M_{nij} = \frac{1800}{1 + 1,525 \div R}, \quad (2.5)$$

– для двух поворачивающих полос [98, 106]:

$$M_{n_{ij}} = \frac{3000}{1 + 1,525 \div R}, \quad (2.6)$$

где R – радиус поворота транспортных средств по оси траектории движения.

Далее рассчитывается фазовый коэффициент, который представляет требуемое время для пропуска конкретного направления в определенной фазе в процентах по отношению к продолжительности всего цикла регулирования. Для величины фазового коэффициента справедливо соотношение [98, 106]:

$$y_{ij} = \frac{N_{ij}}{M_{n_{ij}}}, \quad (2.7)$$

где N_{ij} – вычисленные интенсивности потоков в заданной фазе и в заданном направлении, ед/ч;

$M_{n_{ij}}$ – поток насыщения в определенной фазе и в определенном направлении, ед/ч.

Из каждой фазы выбирается максимальное значение фазового коэффициента и используется при дальнейших расчетах. Когда сумма всех максимальных значений фазовых коэффициентов равна или больше единицы, пропускная способность перекрестка недостаточна. В этом случае рекомендуется изменить количество фаз либо увеличить число полос на подходе к перекрестку.

Далее выполняется расчет длительности промежуточных тактов, которые задаются интервалом времени между желтым сигналом текущей фазы и зеленым последующей фазы. Продолжительность промежуточного такта можно определить по формуле [98, 106]:

$$t_{nj} = \frac{v_a}{7,2a_m} + \frac{3,6 \times (l_i + l_a)}{v_a}, \quad (2.8)$$

где v_a определяет усредненную скорость автотранспорта при подходе к пересечению и в его зоне без торможения, наиболее часто эта скорость принимается равной 50 км/ч для прямого направления и 25 км/ч для поворотного, км/ч;

l_a – наиболее вероятная длина автотранспорта в исследуемом потоке, м;

l_i – расстояние между дальней конфликтной и стоп линией, м;

a_m – усредненное замедление автотранспорта при включенном красном сигнале светофора (по умолчанию в расчете равно 3-4 м/с²).

При наличии пешеходных переходов длительность промежуточных тактов должна быть больше промежуточного такта для пешеходов и задается соотношением [98, 106]:

$$t_{ni(nu)} = \frac{B_{nu}}{4v_{nu}}, \quad (2.9)$$

где v_{nu} – скорость движения пешеходов, которая по умолчанию равна 1,3 м/с.

B_{nu} – ширина проезжей части, которую должны пересечь пешеходы в 1-й фазе, м.

В любом случае независимо от результатов расчета продолжительность промежуточного такта не должна быть менее 4 секунд. Принимая во внимание, что желтый сигнал равен 3-4 секунды, а желтый с красным не более 2 секунд, при промежуточном такте более 5 секунд можно организовать режим «кругом красный».

Далее выполняется расчет длительности оптимального цикла регулирования, который представляет промежуток времени, через который программа регулирования повторяется. Методические рекомендации не рекомендуют продолжительность цикла регулирования более 120 секунд, так как водители могут принять светофор за неработающий и нарушить правила дорожного движения. Длительность цикла регулирования рассчитывается по формуле [98, 106]:

$$T = \frac{1,5 \times T_n + 5}{1 - Y} \quad (2.10)$$

где T_n – сумма всех промежуточных тактов t_{ni} , с;

Y – сумма максимальных значений фазовых коэффициентов всех фаз y_{ij} .

Затем выполняется расчет длительности основных тактов, представляющих продолжительность зеленого сигнала светофора в каждой фазе регулирования светофора. Длительность основного такта задается на основании соотношения [77, 98, 106]:

$$t_{oi} = \frac{(T - T_n) y_i}{Y}, \quad (2.11)$$

где T_n – сумма промежуточных тактов, с;

T – длительность цикла, с;

Y – сумма максимальных величин фазовых коэффициентов всех фаз y_{ij} ,

y_i – фазовый коэффициент для i -ой фазы.

Необходимая продолжительность пешеходной фазы для пропуска пешеходов задается на основании соотношения [98, 106]:

$$t_{nu} = \frac{B_{nu}}{v_{nu}} + 5, \quad (2.12)$$

где v_{nu} – скорость пешеходов (по умолчанию равна 1,3 м/с);

B_{nu} – ширина проезжей части, которую должен пройти пешеход, м.

Далее выполняется расчет с учетом продолжительности фазы пешеходного движения. Учет изменения общей продолжительности цикла светофорного регулирования при заданной продолжительности пешеходной фазы достаточно сложно произвести на основе отечественных рекомендаций. Для подобного учета гораздо проще использовать метод фиктивного транспортного потока (фазового коэффициента). Этот метод заключается в искусственном назначении величины транспортного потока в пешеходной фазе соответствующего необходимой продолжительности пешеходной фазы. На основе этого фиктивного потока вычисляется фиктивный фазовый коэффициент и рассчитывается цикл светофорного регулирования соответствующей продолжительности [77].

2.4. Разработка плана реконструкции перекрестка улиц Академика Киренского и Копылова

2.4.1. Существующая схема перекрестка улиц Академика Киренского и Копылова

Для реализации реконструкции перекрестка предлагается методика планирования эксперимента, основанная на выделении значимых факторов, т. е.

интенсивностей потоков по различным направлениям. В целях разработки плана реконструкции перекрестка улиц Академика Киренского и Копылова было проведено моделирование существующей схемы (Рисунок 2.20).

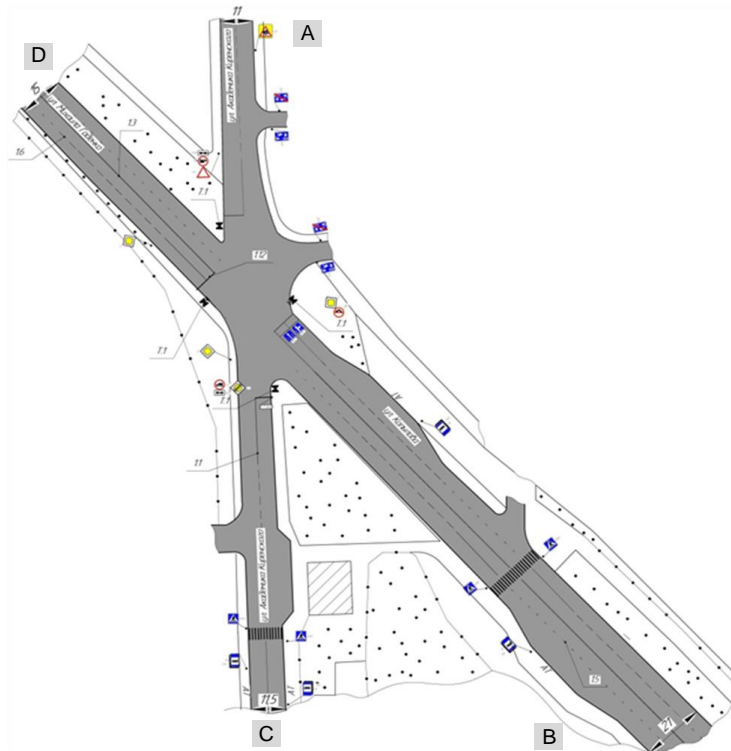


Рисунок 2.20 Схема перекрестка улиц Академика Киренского и Копылова

При этом имело место две фазы регулирования (Рисунок 2.21)

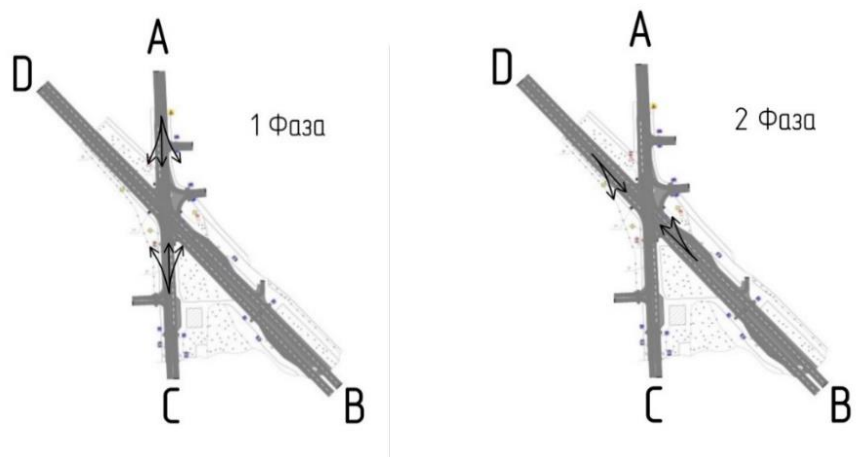


Рисунок 2.21 Фазы регулирования перекрестка улиц Академика Киренского и Копылова

Для вариации четырьмя входящими потоками, а именно А, В, С и D, был использован двухуровневый дробный факторный план 2^{4-1} . В результате

моделирования по данному плану получены: таблица времен прохождения зоны перекрестка по различным направлениям (Таблица 2.7) и таблица количества единиц ТС (Таблица 2.8). Эти две таблицы используются для расчета интегрального показателя взвешенных суммарных затрат времени всех ТС на прохождение зоны перекрестка (Таблица 2.9). Она получается в результате обычного умножения количества ТС на время прохождения.

Таблица 2.7 Время прохождение участков модели «было», сек

A	B	C	D	A-B	A-C	A-D	B-A	B-D	C-A	C-B	C-D	D-B	D-C
1	1	-1	-1	95,99	95,48	82,86	48,53	49,44	48,16	43,18	83,45	41,66	41,88
1	-1	1	-1	83,1	79,31	66,95	37,37	40	51,44	54,33	150,93	41,89	41,46
-1	-1	1	1	60,71	52,31	37,72	37,36	40,05	50,28	60,65	82,33	56,19	50,12
1	-1	-1	1	96,39	95,88	77,15	37,26	40,1	55,87	46,47	223,2	56,54	52,25
1	1	1	1	99,85	95,1	77,19	51,79	52,21	142,46	109,78	614,41	56,13	53,99
-1	-1	-1	-1	54,48	50,35	37,35	37,59	39,97	49,23	43,81	62,17	41,58	39,47
-1	1	1	-1	57,8	50,51	38,42	47,99	49,46	49,16	54,48	69,42	41,65	39,36
-1	1	-1	1	58,85	54,3	40,51	47,87	49,12	48,44	46,88	65,21	56,9	50,54

Примечание. Направления В-С и D-A запрещены

Таблица 2.8 Количество ТС, прошедших по маршруту в модели «было», ед.

A	B	C	D	A-B	A-C	A-D	B-A	B-D	C-A	C-B	C-D	D-B	D-C
1	1	-1	-1	186	349	166	222	1521	72	12	53	843	199
1	-1	1	-1	182	343	162	115	794	119	23	109	843	199
-1	-1	1	1	86	192	75	115	793	119	23	108	1611	408
1	-1	-1	1	185	352	163	115	794	72	12	46	1610	406
1	1	1	1	181	350	166	222	1521	90	14	62	1623	409
-1	-1	-1	-1	86	192	75	115	794	72	12	53	843	199
-1	1	1	-1	86	192	75	222	1521	119	23	108	843	199
-1	1	-1	1	86	192	75	222	1520	72	12	53	1612	407

Таблица 2.9 Суммарные затраты времени на прохождение зоны перекрестка «было»

A	B	C	D	A-B	A-C	A-D	B-A	B-D	C-A	C-B	C-D	D-B	D-C	Все
1	1	-1	-1	17854,14	33322,52	13754,76	10773,66	75198,24	3467,52	518,16	4422,85	35119,38	8334,12	202765,35
1	-1	1	-1	15124,2	27203,33	10845,9	4297,55	31760	6121,36	1249,59	16451,37	35313,27	8250,54	156617,11
-1	-1	1	1	5221,06	10043,52	2829	4296,4	31759,65	5983,32	1394,95	8891,64	90522,09	20448,96	181390,59
1	-1	-1	1	17832,15	33749,76	12575,45	4284,9	31839,4	4022,64	557,64	10267,2	91029,4	21213,5	227372,04
1	1	1	1	18072,85	33285	12813,54	11497,38	79411,41	12821,4	1536,92	38093,42	91098,99	22081,91	320712,82
-1	-1	-1	-1	4685,28	9667,2	2801,25	4322,85	31736,18	3544,56	525,72	3295,01	35051,94	7854,53	103484,52
-1	1	1	-1	4970,8	9697,92	2881,5	10653,78	75228,66	5850,04	1253,04	7497,36	35110,95	7832,64	160976,69
-1	1	-1	1	5061,1	10425,6	3038,25	10627,14	74662,4	3487,68	562,56	3456,13	91722,8	20569,78	223613,44

В результате анализа этого плана показано, что наиболее значимо на суммарные затраты времени влияют потоки D и B (Рисунок 2.22).

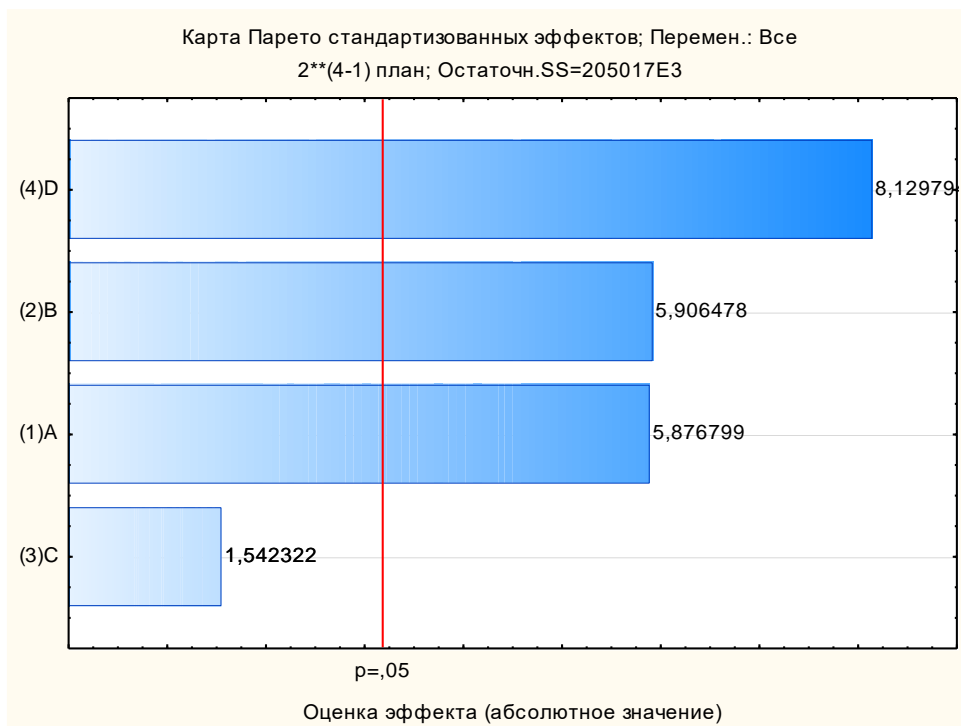


Рисунок 2.22 Диаграмма Парето эффектов факторов интенсивности на суммарные затраты времени прохождения зоны перекрестка

В результате оценки эффектов факторов по модели дисперсионного анализа получена таблица 2.10.

Таблица 2.10 Оценки эффектов факторов по модели дисперсионного анализа

Оценки эффектов; R-кв. =,97871; Скор.,95032 (Перекресток) 2**(4-1) план; Остаточн. SS=205017E3 ЗП Все										
Фактор	Эффект	Ст.Ош.	t(3)	p	±95, %		Козф.	Ст.Ош. Козф.	±95, %	
					Дов.Пред	Дов.Пред			Дов.Пред	Дов.Пред
Сред/Св.член	197116,6	5062,32	38,93796	0,000037	181006,0	213227,1	197116,6	5062,324	181006,0	213227,1
(1)A	59500,5	10124,65	5,87680	0,009830	27279,4	91721,7	29750,3	5062,324	13639,7	45860,8
(2)B	59801,0	10124,65	5,90648	0,009691	27579,9	92022,2	29900,5	5062,324	13789,9	46011,1
(3)C	15615,5	10124,65	1,54232	0,220667	-16605,7	47836,6	7807,7	5062,324	-8302,8	23918,3
(4)D	82311,3	10124,65	8,12979	0,003891	50090,2	114532,5	41155,7	5062,324	25045,1	57266,2

Из последней таблицы также видно, что факторы B и D наиболее значимы, а фактор C вообще при данной схеме моделирования представляется статистически незначимым.

Показано также, что прогноз суммарных затрат по линейной модели дает достаточно адекватный результат. График предсказанных значений суммарных затрат относительно наблюдаемых представлен на рисунке 2.23.

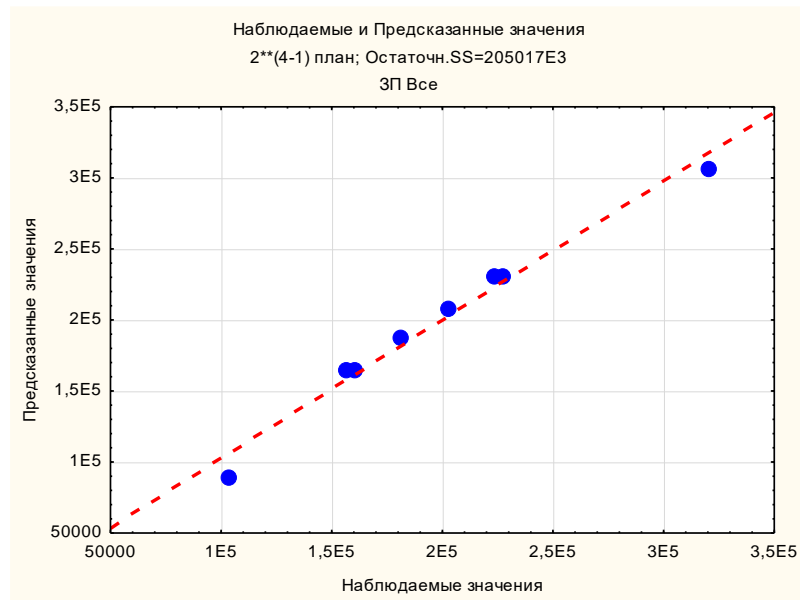


Рисунок 2.23 График предсказанных значений суммарных затрат времени относительно наблюдаемых суммарных затрат времени

Для влияния интенсивностей B и D построена линейная регрессионная модель при средних значениях факторов A и C (Рисунок 2.24). Как видно из графика, линейная регрессия также представляется достаточно адекватной.

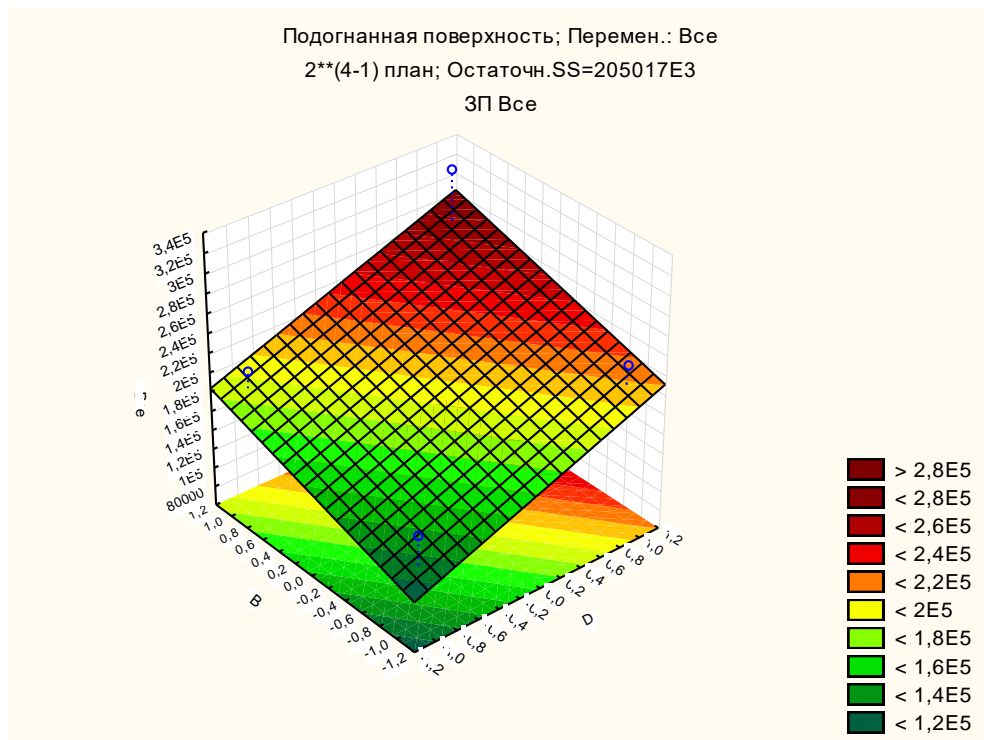


Рисунок 2.24 Линейная регрессионная модель влияния интенсивностей потоков B и D

Кроме того, на суммарные затраты времени по направлениям D – В и D – С существенное влияние оказывает только интенсивность потока D (Рисунок 2.25).

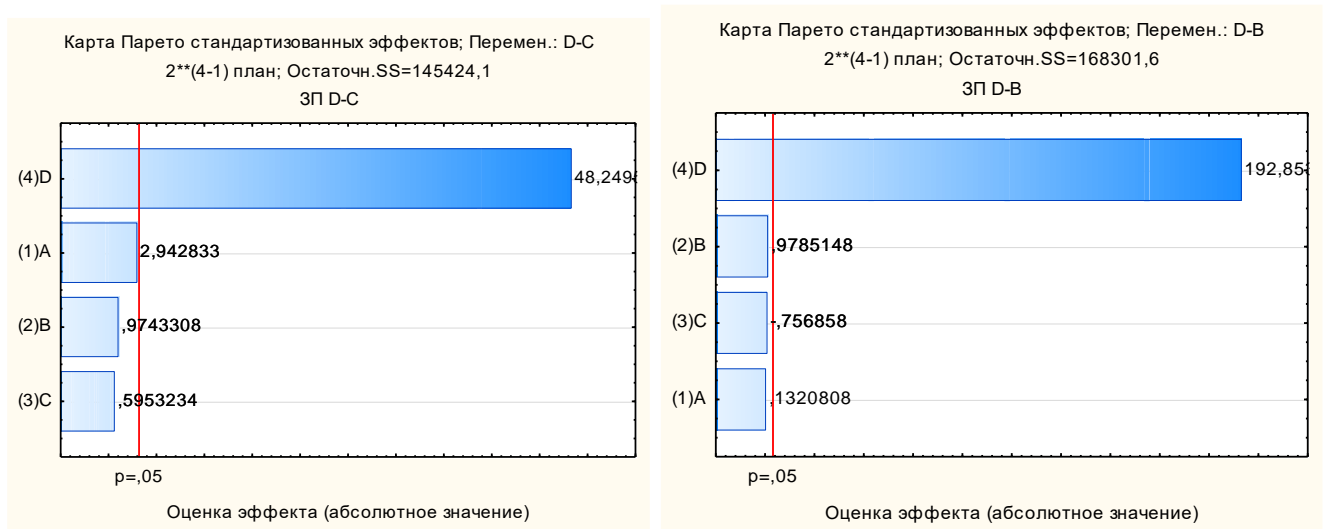


Рисунок 2.25 Диаграмма Парето эффектов факторов для направлений D – В и D – С

Аналогично, для суммарных затрат по направлениям В – А и В – D существенное влияние оказывает только поток В.

2.4.2. Предложенная схема перекрестка улиц Академика Киренского и Копылова

В результате проведенного анализа предложена реконструкция перекрестка, которая предполагает дополнительные съезды.

Предложенная схема приведена на рисунке 2.26, причем, с тремя фазами регулирования.

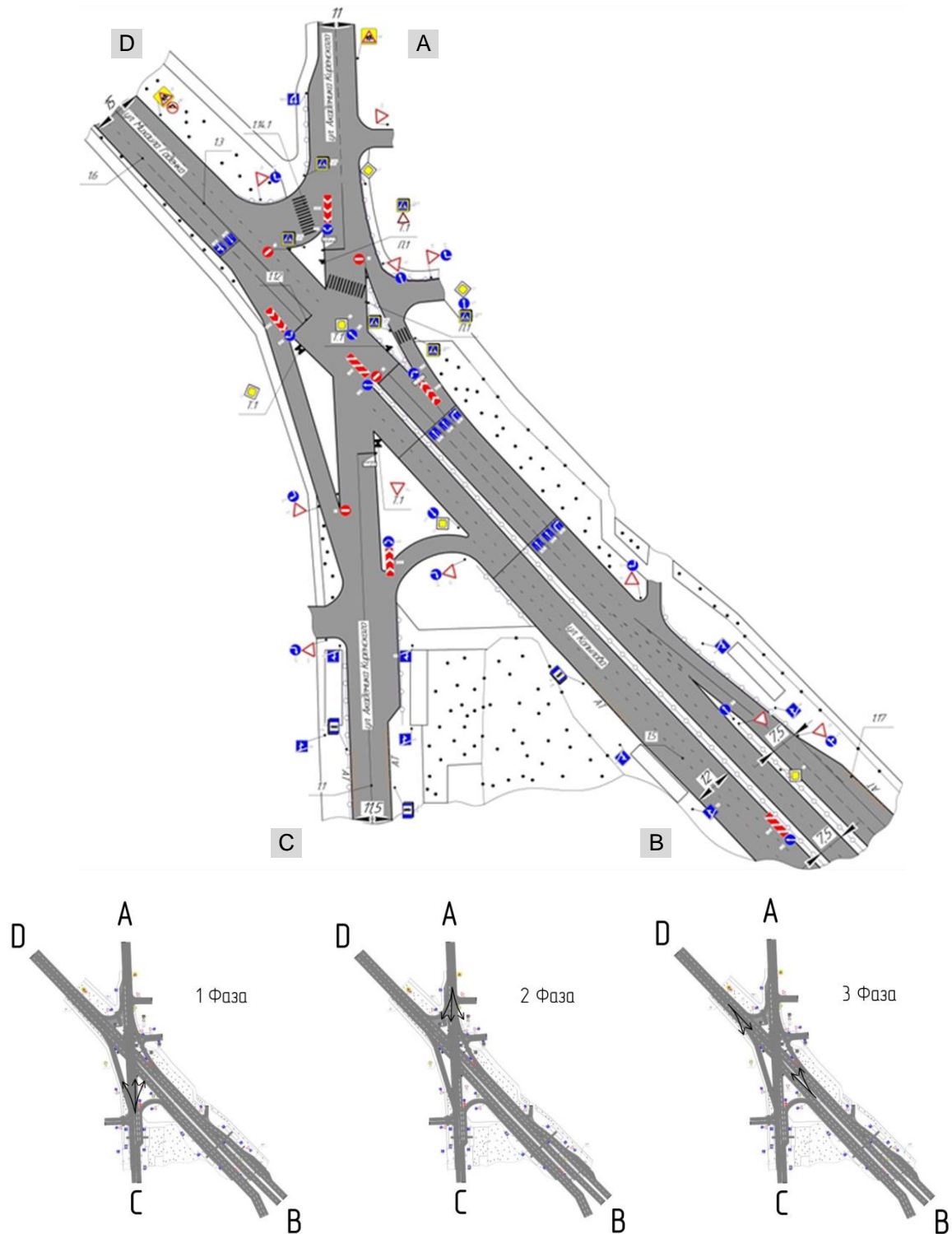


Рисунок 2.26 Схема реконструкции перекрестка улиц

Академика Киренского и Копылова с указанием фаз регулирования

В результате моделирования по тем же двухуровневым дробным факторным планам получены новые значения времен прохождения зоны перекрестка (Таблица 2.11), количества ТС (Таблица 2.12) и суммарных затрат времени всех ТС на прохождение зоны перекрестка (Таблица 2.13).

Таблица 2.11 Время прохождения участков модели «стало», сек.

A	B	C	D	A-B	A-C	A-D	B-A	B-D	C-A	C-B	C-D	D-B	D-C
1	1	-1	-1	113,22	113,4	69,82	51,5	62,76	72	29,64	69,01	49,41	42,99
1	-1	1	-1	111,82	116,77	65,75	30,31	49,22	97,96	39,76	100,4	49,5	43,55
-1	-1	1	1	70,33	74,04	24,34	30,67	48,9	115,21	36,39	112,5	66,46	59,39
1	-1	-1	1	112,05	118,05	66,28	28,56	49,2	73,49	28,55	71,42	69,72	61,88
1	1	1	1	117,97	117,53	77,08	46,3	56,83	105,97	38,64	111,69	69,9	61,94
-1	-1	-1	-1	69,44	73,72	24,34	28,44	48,9	71,87	28,87	68,82	48,89	42,44
-1	1	1	-1	70,92	74,04	25,03	61,81	67,5	95,96	39,29	96,07	48,95	42,44
-1	1	-1	1	69,02	73,82	24,97	41,74	56,27	72,92	28,56	68,43	62,86	54,47

Примечание. Направления В – С и D – А запрещены.

Таблица 2.12 Количество ТС, прошедших по маршруту в модели «стало», ед.

A	B	C	D	A-B	A-C	A-D	B-A	B-D	C-A	C-B	C-D	D-B	D-C
1	1	-1	-1	275	265	28	818	1509	172	5	116	911	135
1	-1	1	-1	275	267	28	407	778	317	9	254	911	135
-1	-1	1	1	147	141	12	407	778	315	9	253	1714	238
1	-1	-1	1	275	264	28	407	778	172	5	116	1727	241
1	1	1	1	275	265	28	840	1554	316	9	250	1708	235
-1	-1	-1	-1	147	141	12	407	778	171	5	116	911	135
-1	1	1	-1	147	141	12	812	1502	318	9	253	911	135
-1	1	-1	1	147	141	12	840	1556	171	5	116	1729	243

Таблица 2.13 Суммарные затраты времени на прохождение зоны перекрестка «стало», сек.

A	B	C	D	A-B	A-C	A-D	B-A	B-D	C-A	C-B	C-D	D-B	D-C	Все
1	1	-1	-1	31135,5	30051	1954,96	42127	94704,84	12384	148,2	8005,16	45012,51	5803,65	271326,8
1	-1	1	-1	30750,5	31177,59	1841	12336,17	38293,16	31053,32	357,84	25501,6	45094,5	5879,25	222284,9
-1	-1	1	1	10338,51	10439,64	292,08	12482,69	38044,2	36291,15	327,51	28462,5	113912,44	14134,82	264725,5
1	-1	-1	1	30813,75	31165,2	1855,84	11623,92	38277,6	12640,28	142,75	8284,72	120406,44	14913,08	270123,6
1	1	1	1	32441,75	31145,45	2158,24	38892	88313,82	33486,52	347,76	27922,5	119389,2	14555,9	388653,1
-1	-1	-1	-1	10207,68	10394,52	292,08	11575,08	38044,2	12289,77	144,35	7983,12	44538,79	5729,4	141199
-1	1	1	-1	10425,24	10439,64	300,36	50189,72	101385	30515,28	353,61	24305,71	44593,45	5729,4	278237,4
-1	1	-1	1	10145,94	10408,62	299,64	35061,6	87556,12	12469,32	142,8	7937,88	108684,94	13236,21	285943,1

В отличие от существующей схемы, для предложенной реконструкции влияние потоков на суммарные затраты времени прохождения зоны перекрестка стало более равномерным (Рисунок 2.27). Поток С стал статистически значим. Потоки D и В остались наиболее значимы.

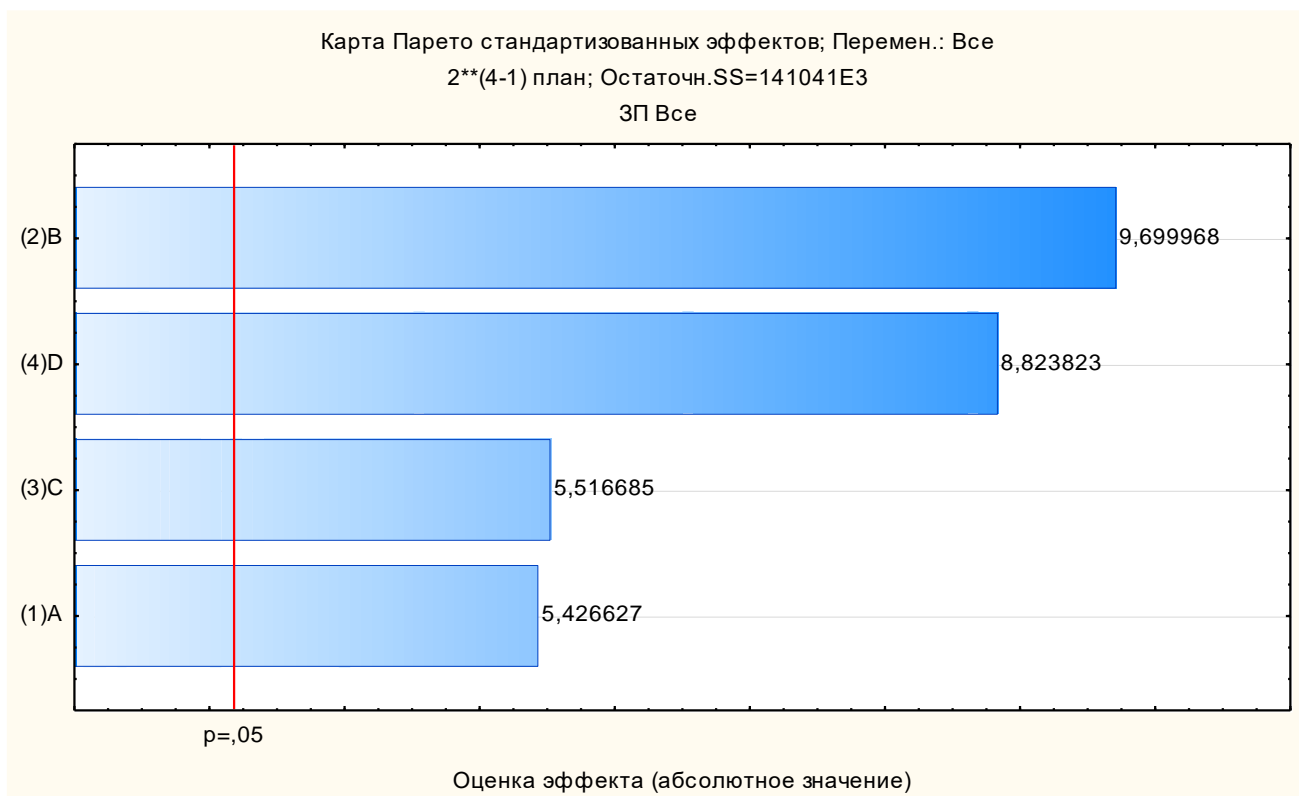


Рисунок 2.27 Диаграмма Парето эффектов факторов интенсивности на суммарные затраты времени прохождения зоны перекрестка

В результате оценки эффектов факторов по модели дисперсионного анализа получена таблица 2.14.

Таблица 2.14 Оценки эффектов факторов по модели дисперсионного анализа

Оценки эффектов; R-кв.=,98722;Скор.,97019 (Перекресток) 2**(4-1) план; Остаточн.SS=141041E3 ЗП Все										
Фактор	Эффект	Ст.Ош.	t(3)	p	95% Дов.Пред		Козф.	Ст.Ош. Козф.	95% Дов.Пред	
					-95,%	+95,%			-95,%	+95,%
Сред/Св.член	265311,7	4198,821	63,18719	0,000009	251949,2	278674,2	265311,7	4198,821	251949,2	278674,2
(1)A	45570,9	8397,641	5,42663	0,012280	18845,8	72295,9	22785,4	4198,821	9422,9	36148,0
(2)B	81456,8	8397,641	9,69997	0,002327	54731,8	108181,9	40728,4	4198,821	27365,9	54090,9
(3)C	46327,1	8397,641	5,51668	0,011730	19602,1	73052,2	23163,6	4198,821	9801,0	36526,1
(4)D	74099,3	8397,641	8,82382	0,003067	47374,3	100824,3	37049,6	4198,821	23687,1	50412,2

Линейная модель прогноза также дает адекватные результаты (Рисунок 2.28).

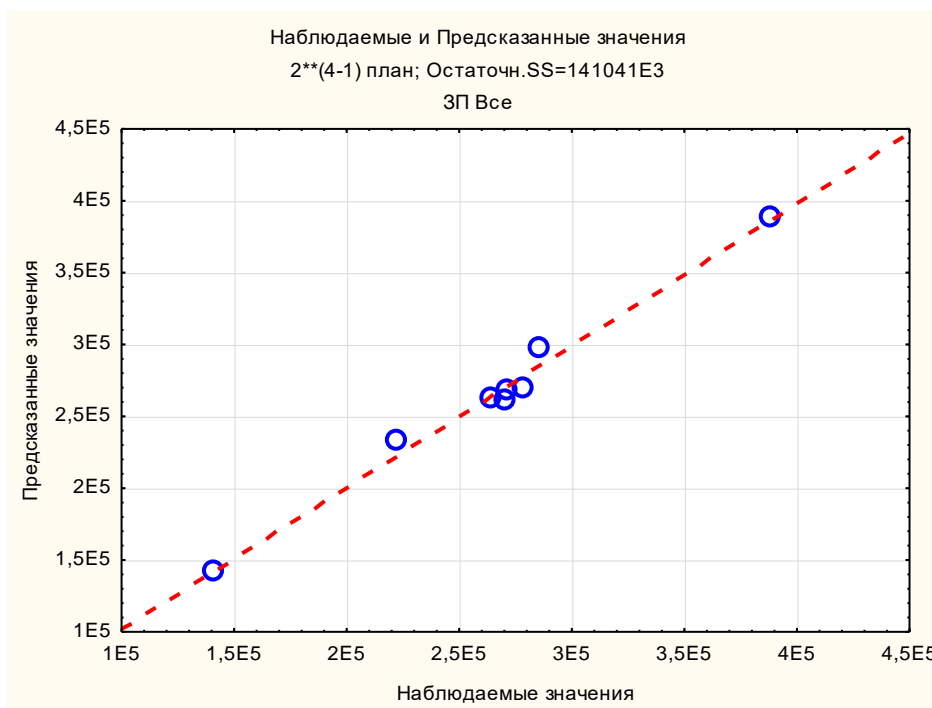


Рисунок 2.28 График предсказанных значений суммарных затрат относительно наблюдаемых

2.4.3. Сравнительный анализ существующей и предложенной схем

Проведем анализ эффективности принятого решения по реконструкции перекрестка по модельным данным.

Так, если сравнивать общее количество ТС, прошедших зону перекрестка за время моделирования, то для всех комбинаций интенсивностей потоков результаты моделирования показывают превосходство реконструированной схемы перекрестка (Таблица 2.15, Рисунок 2.29).

Таблица 2.15 Сравнительный анализ количества ТС

№	Было – ряд 1	Стало – ряд 2
1	3623	4234
2	2889	3381
3	3530	4014
4	3755	4013
5	4638	5480
6	2441	2823
7	3388	4240
8	4251	4960

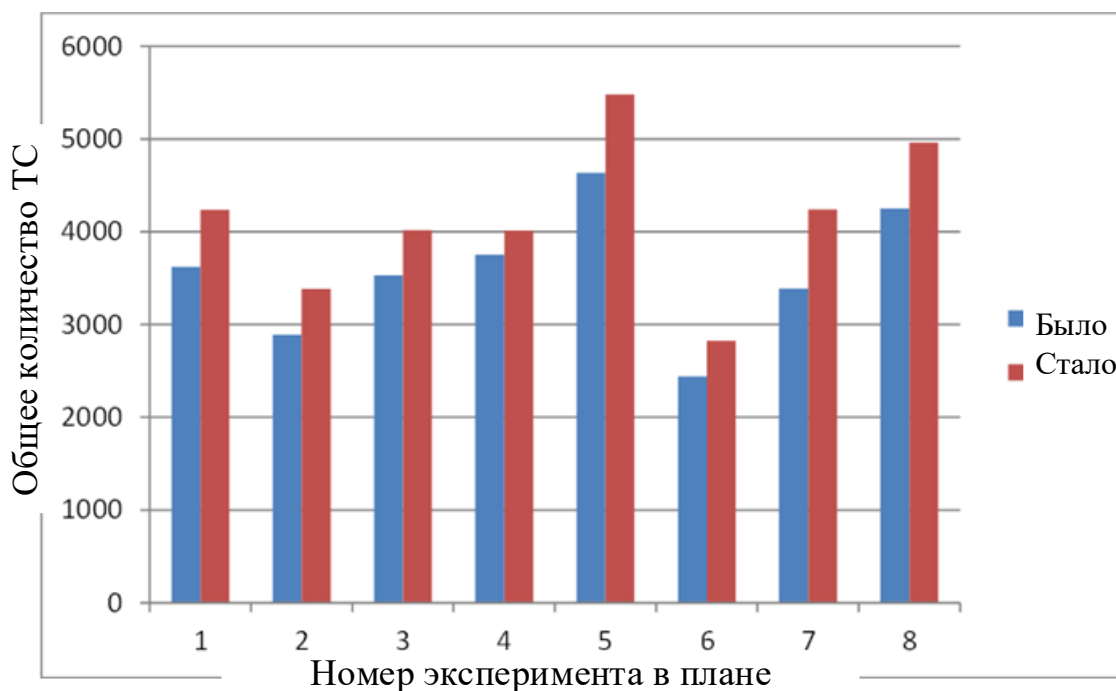


Рисунок 2.29 Сравнительный анализ количества ТС

Относительно времени прохождения зоны перекрестка результаты моделирования дали несколько иной результат (Таблица 2.16, Рисунок 2.30). Суммарное взвешенное время для исходной схемы в большей части комбинаций интенсивности дало лучший результат, но не на много. Для комбинации 5, в которой все потоки были максимальными, время прохождения для реконструированной схемы существенно лучше.

Таблица 2.16 Суммарное время прохождения зоны перекрестка

№	Было – ряд 1	Стало – ряд 2
1	630,63	673,75
2	646,78	705,04
3	527,72	638,23
4	781,11	679,20
5	1352,91	803,85
6	456,00	505,73
7	498,25	622,01
8	518,62	553,06



Рисунок 2.30 Сравнительный анализ времени прохождения зоны перекрестка

Это значительное улучшение времени даже компенсирует все ухудшения для остальных комбинаций (по средневзвешенной сумме времени прохождения зоны перекрестка).

Более нагляден характер улучшения пропускной способности перекрестка на относительных значениях приращения времени прохождения зоны перекрестка и количества ТС (Таблица 2.17).

Таблица 2.17 Прирост времени прохождения зоны перекрестка и количества ТС, (в %)

№	Прирост времени	Прирост количества ТС
1	7	17
2	9	17
3	21	14
4	-13	7
5	-41	18
6	11	16
7	25	25
8	7	17

Как видно из графика, процентный рост времени заметно меньше, чем процентный рост количества ТС.

2.4.4. Эффект строительства четвертого моста через р. Енисей

В конце 2015 года проводилось моделирование запуска четвертого моста через р. Енисей. Как показал анализ результатов моделирования, строительство и запуск четвертого моста позволил значительно сократить пробеги ТС с левого берега города Красноярска в направлении города Дивногорска, незначительно уменьшить транспортную нагрузку на другие мостовые переходы (Рисунок 2.31).

Введение в строй в конце 2018 года левобережной развязки Николаевского моста увеличило привлекательность данной коммуникации.

Несмотря на общую положительную динамику развития транспортной ситуации в городе Красноярске при введении в эксплуатацию в первую очередь четвертого моста, а затем, во вторую очередь, левобережной развязки, возникли незначительные негативные явления в части Октябрьского района при въезде в район ГорДК и затем Северо-Западного района. Заторовые ситуации стали возникать на таких перегруженных перекрестках, как Свободный-Высотная-Годенко, Высотная-Тотмина-Гусарова и Томина-Юшкова, за счет увеличения численности ТС со стороны Свердловского района (Рисунок 2.32). Кроме того, отмечено изменение (рост) численности ТС в межрайонном сообщении: Октябрьский – Свердловский районы города. Снижение транспортной нагрузки на Коммунальный и Октябрьский мосты.

В Свердловском районе города на ул. Матросова за счет перераспределения транспортных потоков произошло улучшение дорожной ситуации. Наметился рост эффективности использования дорожной сети Свердловского района на улицах Свердловская и Парашютная. Строительство правобережной развязки (мкр. «Тихие зори») разгрузил ул. Семафорная, снизил нагрузку на Коммунальный мост, увеличил привлекательность Свердловского района.

Отмечено улучшение дорожной ситуации в Железнодорожном районе на проспекте Свободный, улицах Калинина и Маерчака, снижение риска возникновения ДТП по причине уменьшения численности ТС в результате перераспределения транспортных потоков на УДС города.

В целом улучшилась дорожная ситуация на мостовых переходах, за счет перераспределения ТП с Коммунального и Октябрьского мостов на Николаевский мост.

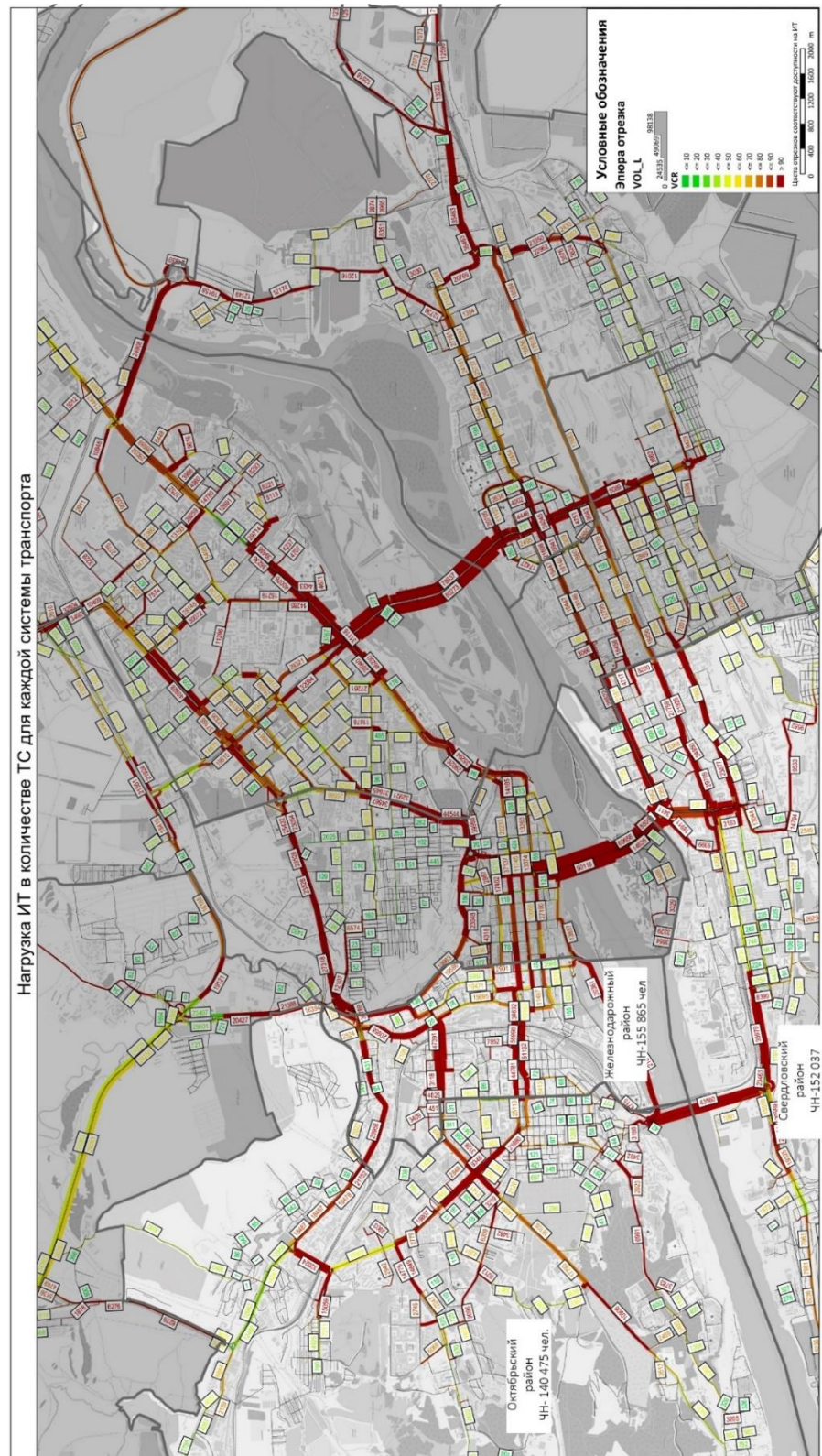


Рисунок 2.31 Объем индивидуального транспорта на УДС города в расчете на начало 2016 года, физ.ед./сутки

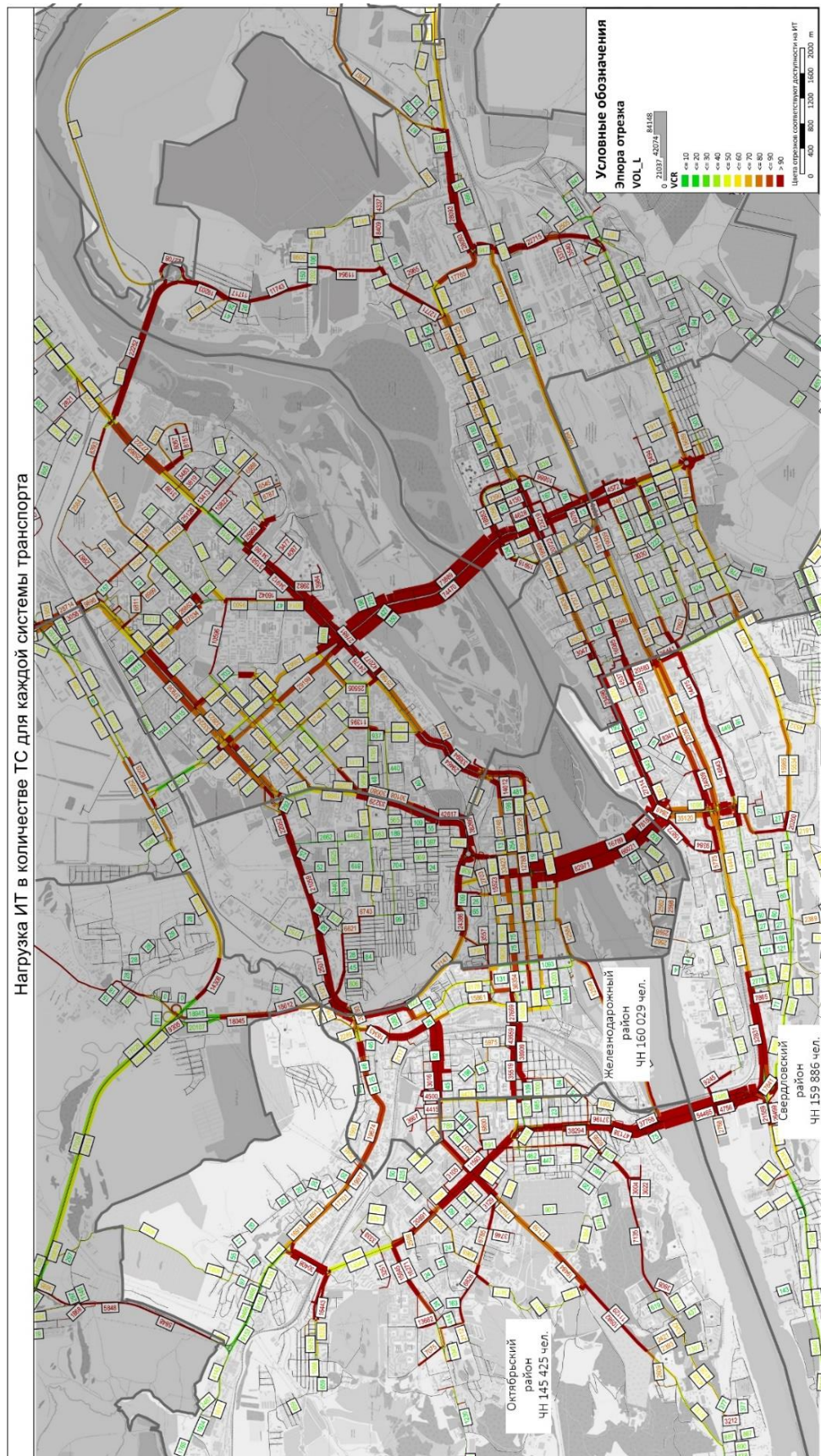


Рисунок 2.32 Объем индивидуального транспорта на УДС города в расчете на 2023 год, физ.ед./сутки

Изменение в транспортной системе направлений движения транспортных потоков, снижение нагрузки на полотно дороги на основных магистралях города увеличивают срок службы проезжей части и снижают затраты на содержание дорожной инфраструктуры.

Ввод в строй новых жилых массивов, строительство и реконструкция УДС в перспективе до 2033 года положительно сказывается на тенденции более равномерного распределения транспортных потоков на мостовых переходах, магистралях города (Рисунок 2.33). В перспективе развития на период до 2033 года в связи ростом транспортных возможностей просматривается возможное увеличение деловой активности в Свердловском районе города. Ввод в строй новых жилых массивов, строительство и реконструкция УДС в перспективе до 2033 года положительно сказываются на тенденции более равномерного распределения транспортных потоков на мостовых переходах, магистралях города.

Проведен сравнительный анализ ситуации на 2019 и 2023 годы. Дана количественная оценка интенсивности ТС на магистралях в Свердловском и Октябрьском районах города. Имеют место положительные тенденции в более равномерном распределении ТС на УДС (Рисунок 2.34).

Проведен сравнительный анализ ситуации на 2019 и 2023 годы. Дан прогноз изменения численности жителей в вводимых в строй новых жилых массивах. Строительство и реконструкция УДС в перспективе до 2033 года положительно скажется на транспортной ситуации районов города (Рисунок 2.35).

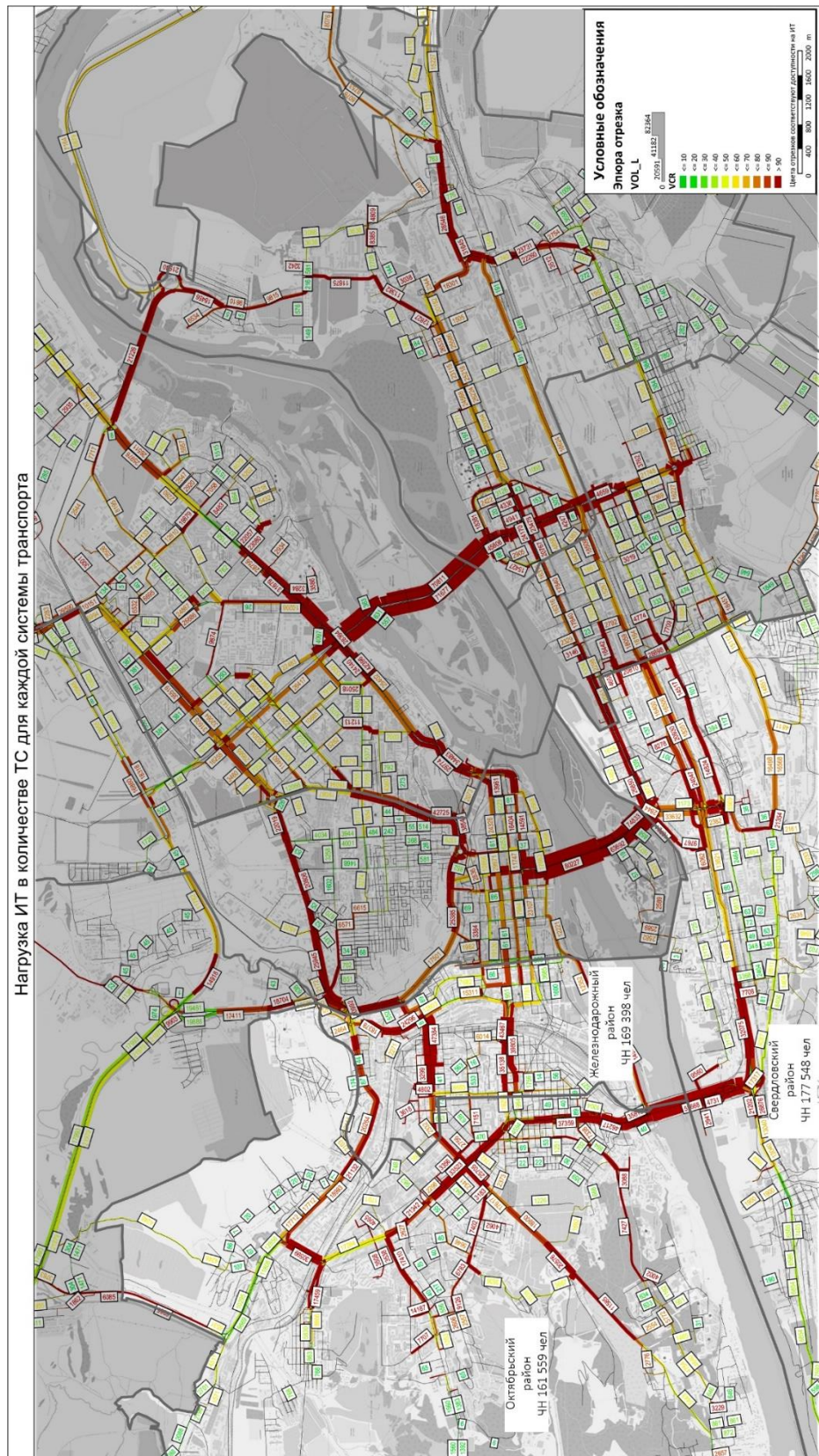


Рисунок 2.33 Объем индивидуального транспорта на УДС города в расчете на перспективу до 2033 года, физ.ед./сутки

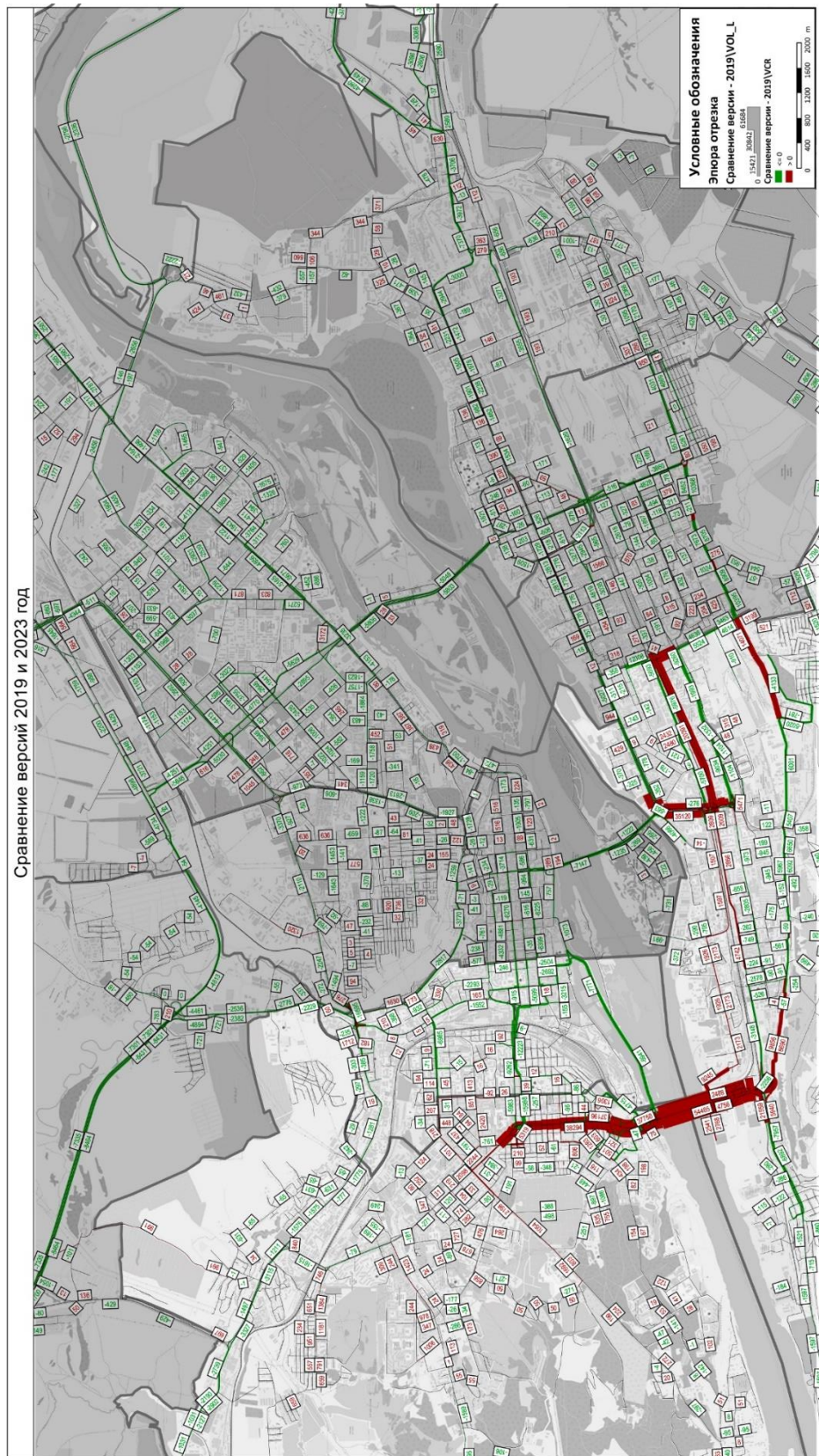


Рисунок 2.34 Сравнительный анализ 2019 и 2023 гг.

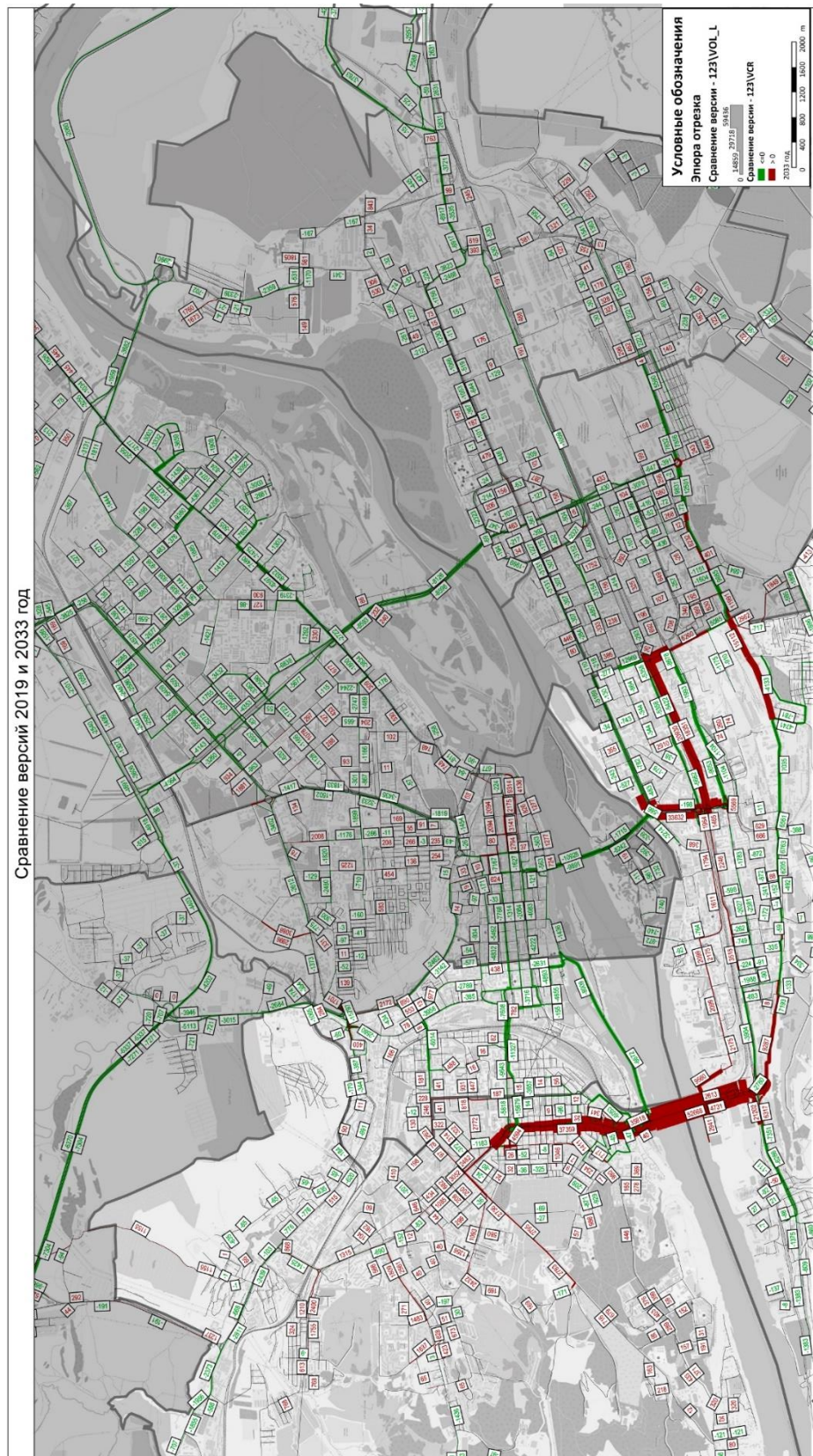


Рисунок 2.35 Сравнительный анализ 2019 и 2033 гг.

2.5. Прогноз динамики матрицы корреспонденций в свете расширения жилищного строительства

2.5.1. Равновесные модели управления транспортными системами крупных городов

Дискриминационное доминирование градостроительной политики по отношению к транспортной системе – недостаток современного развития городского пространства. Как и наоборот, в мире имеется немало примеров, когда дорожная доминанта затмевала комфорт городской среды. Поиск конструктивного компромисса между урбанистикой и транспортной системой – крайне тяжелая задача. В научной теории существует множество подходов и способов, как уравновесить эти системы. Но поиск идеальной точки равновесия сродни изобретению вечного двигателя. Слишком многофакторна система комбинированного существования конфликтующих систем.

При этом, анализируя теоретические подходы по созданию гармонично выверенных градостроительных решений, сразу сталкиваешься с дисбалансом и множеством конфликтующих факторов. Помимо базовых константных параметров, на систему действует множество дестабилизирующих параметров, постоянно приводящих ее в турбулентное состояние. На практике такое противоборство трансформируется в политическую и экономическую плоскости, в результате чего появляются императивные нормативные акты, формирующие вектор развития. Множественные попытки анализа и поиска математически-адекватных моделей скатываются в конечном итоге либо в приоритетное описание системы градостроительства, либо, наоборот, транспортной системы.

Многие страны и города уже более полувека назад остро испытали дефицит транспортной инфраструктуры. Найти универсальных моделей так и не удалось. Но за этот период накоплен колоссальный опыт балансировки приоритетов. Базовые исходные данные у всех были, как правило, унифицированными, а далее корреляционный ряд перерастал в систему, которую описать универсальными

математическими аппаратами практически было невозможно. Под воздействием государственной политики и градостроительных норм равновесный баланс разрушался. В итоге всегда, как на макро- так и на микроуровне строилась абсолютно уникальная модель приоритетов. Выработка универсального лекала, по которому можно было бы моделировать развитие городов, удобных и комфортных для жизни, до настоящего времени остается неразрешённой задачей.

В советский период градостроительное планирование осуществлялось на формировании городских пространств без учета транспортного влияния. Вплоть до 90-х годов этот подход спокойно и даже очень эффективно работал. Однако наше общество неминуемо подходит в эволюционном развитии к ситуации, когда транспортное средство стало нормой для большинства семей, а далее и для практически всех категорий людей, обладающих «автомобильной дееспособностью». Российская Федерация интенсивно, буквально за 15 – 20 лет, подошла к судьбоносной статистической отметке – 500 автомобилей на 1000 человек. А управление такими серьезными статистическими рядами в условиях ограниченных параметров транспортных сетей превращается в борьбу с ветряными мельницами. Любые позитивные факторы управления транспортными потоками, которые вытекают из математических расчетов, разбиваются о стену ограничений урбанистических сред.

Наступательное движение автомобилей на города, не приспособленные для интенсивного движения, существенно изменило идеологическую основу формирования городского пространства. Возникающие бумы индивидуальной свободы перемещения внутри больших городов воспринимались как особый шарм в развитии общества, а захлестнувшая волна автомобилизации не сразу воспринималась как угрожающий аспект для городских пространств. В результате города столкнулись с ураганной атакой со стороны общества, выражающейся в предоставлении все большей и большей свободы индивидуального перемещения, что и повлекло формирование необратимых последствий в виде тромбоза абсолютно неприспособленных и неадаптированных транспортных сетей.

В результате большинство городов мира имеют исторически сформированную транспортную сеть, на которой в период ее становления транспорт является элементом шарма, а не массовым потребительским предметом. И вот на эту комфортную, романтическую среду обрушился вал автомобилей, которые затромбировали многовековые романтические улицы и трассы.

В этой ситуации стереотипным поведением градоуправляющих органов является принятие мер по борьбе с негативными последствиями воздействия автомобилей. В городской управленческой практике существует очень важное заблуждение: при возникновении проблем с пропускной способностью городские менеджеры инстинктивно начинают искать решения и предпринимать меры по борьбе с заторами. А это как раз тот классический пример, когда причины путают со следствием. Заторы только следствие неверной транспортной политики и неудовлетворительного планирования, но вовсе не основная транспортная проблема [3, 69]. Но в реальной жизни, несмотря на научно-обоснованные рекомендации, массово принимались решения по расширению и строительству новых транспортных артерий. В матрице стратегических решений все чаще актуализировались доминирующие подходы по стимулированию строительства скоростных многополосных хайвэйев. Но наступление транспорта было настолько сильным, что появление новых транспортных улиц и дорог тут же замещалось массой транспорта. В результате многие территории столкнулись с провокационным эффектом развития дорог. Чем больше возникала возможность индивидуальных перемещений, тем больше появлялось персональных автомобилей.

Вторая половина XX века в развитии США и многих стран Европы сопровождалась «скоростной революцией». Это был, несомненно, бум дорожной и автомобильной индустриализации, мгновенно предоставивший государству множество экономических бонусов. Но, как в любой равновесной системе, наряду с правами на стабильное существование имеются позитивные и негативные факторы и последствия. Формирование экономического блага в этой ситуации одновременно привело к сторнированию приоритетов комфортных городов.

Только по истечению нескольких лет были приняты демпфирующие решения по непрерывному, комплексному коррекционному развитию транспортных систем и городов.

Этот синдром очень хорошо описан в книге Вукана Вучика «Транспорт в городах удобных для жизни». В своем труде он пишет, что: «Прямое негативное влияние автомобильного движения на повседневную жизнь людей в городах широко известно и давно стало предметом обсуждения. Однако не сразу был осознан тот факт, что повсеместное использование автомобиля в городской черте оказывает негативное влияние и на конфигурацию городов, стиль жизни и социальные отношения» [69].

Противопоставление градостроительной и транспортной политик друг другу в определенный момент времени неминуемо приводит к деградации приоритетов. Но в аспекте политических бонусов на управленческий цикл градоправителя дискриминация того или иного приоритета очень часто становится решающим козырем. В таких ситуациях задача поиска равновесия мгновенно девальвируется и превращается в сугубо политические амбиции политиков, вынужденных приспособливаться под воздействием критической массы жителей города к сиюминутной прихоти. А дальше срабатывает устойчивый стереотип – ведь все делается для людей. Одновременно, попадая под воздействие такого течения сиюминутных массовых интересов, политик начинает набирать личные рейтинги, все дальше опуская чашу весов в пользу исторической деградации комфортной городской системы. И эта система содержит в своей сущности парадоксальную основу. Она циклически повторяется, приводя городскую систему к коллаптическим последствиям.

В мировой практике существует множество примеров и моделей взаимного развития городов и транспортных систем. Для рассматриваемых нами технократно-философских отношений двух полярных систем уместным было бы ввести такое понятие, как «золотой баланс». В свою очередь, постоянное стремление к этому балансу и является поиском философского камня, открывающего мир комфортной гармонии городского пространства и удобного транспорта. Где-то системы

из паталогически непримиримых переросли в логически дружелюбные, где-то из конфликтной зоны переместились в смирительную (взаимоуступающую) плоскость, а где-то, по-прежнему, находятся в состоянии устойчивого противоборства.

Очень показательными в системе формирования городских пространств, планировании агломерационных узлов и бескомпромиссного развития индивидуального транспорта является опыт Соединенных Штатов. Поиски «золотого баланса» легко проследить на истории формирования транспортных систем в США. Кардинальный перекоп доминирования развития дорог над комплексными транспортными системами и гуманными городами происходил в 60-е, а затем в 80-е годы. Виток транспортной цивилизации, заложенный Д. Эйзенхауэром в 1956 году, практически заново, разрушив накопленный потенциал гармонизации систем в 1980 году, начал Рональд Рейган. И всему причина в смещении политики доминирования отрасли, которая ведет к мгновенным эффектам. Безудержное дорожное строительство, становясь политической платформой, в конечном счете перерождается в главного врага. В этой истории интересны факты эволюционной трансформации управленческих подходов, когда бесспорные в определенный момент времени решения под влиянием общества смещают однозначный крен на сбалансированное развитие городского пространства с удобным транспортом.

После периода «скоростной революции» по доминирующему развитию высокоскоростных магистралей в США в 1962 году был принят закон, который требовал, чтобы любая программа государственной финансовой поддержки урбанизированных территорий (к которым были отнесены городские поселения, насчитывающие не менее 50 тысяч жителей) была основана на «непрерывном, комплексном и кооперационном (3C – continue, complex, co-operation) процессе городского транспортного планирования» [69].

«Комплексная» компонента 3C-процесса включила в процесс планирования следующие 10 основных элементов: экономические факторы, влияющие на развитие; население; землепользование; транспортные сооружения и объекты, в

том числе сооружения и объекты массовых видов транспорта; типы поездок; терминалы и пересадочные узлы; системы и средства управления движением; документы территориального зонирования; финансовые ресурсы и, наконец, социальные факторы, включая те, которые обусловлены спецификой местных сообществ [69].

С целью поиска разумного баланса между индивидуальной мобильностью и загрузкой дорожной сети многие страны используют ограничительные мероприятия под названием «успокоение трафика». К таким мерам относятся повышенные налоги на моторные топлива, высокая плата за парковки в городах, весомый транспортный налог и т.п. Для создания равновесия, особенно в пик автомобилизации, населению должны быть предоставлены такие условия публичного транспорта, которые бы затмевали личный автомобиль. Это выверенные государственные мероприятия с долгосрочной транспортной политикой. В городах, которые получили существенные эффекты от таких решений, реализовывалась политика создания интегрированных интермодальных транспортных систем [69].

К достаточно успешному опыту реализации сбалансированной политики урбанизации и развития транспортных систем можно отнести практику Германии и Швеции, где зародились давние устойчивые традиции интеграции планирования землепользования с транспортным планированием [59, 69].

В результате бурного роста количества транспортных средств в России начинают формироваться предпосылки комплексного планирования градостроительных и транспортных решений. Можно отметить удачные практики реализации таких подходов в Москве, Санкт-Петербурге и Казани. В этой системной работе необходимо особо подчеркнуть фактор вдумчивости и глубокой аналитики. Общепринятые подходы в управлении внутренним градостроительным содержанием и транспортными коммуникациями, основанные на многочисленных опытах зарубежных стран, в большинстве своем терпят фиаско. И причиной поражения является не неправильное использование того или иного подхода или способа решения проблемы, а извлеченность из контекста стратегий

узконаправленных фрагментов. Не следует забывать о том, что каждый город уникален по своему содержанию, и, следовательно, стратегии повышения комфорта городской среды должны быть универсальными. Фундаментальные отработанные технологии при таком подходе свободно интегрируются в комплексные планы и дают позитивные результаты.

2.5.2. Методика нечеткого вывода при оценке спроса на жилье в различных районах

Естественно, что перспективный план жилищного строительства существенным образом влияет на решение вопросов как транспортного строительства, так и организации движения общественного транспорта в различных городских районах, включая перспективные застройки.

В данной ситуации важна конкретная практическая задача оценить спрос на жилье в конкретном районе, который зависит от престижности района застройки, транспортной инфраструктуры, социальной инфраструктуры и т.д. [125]. Количественная оценка всех этих факторов, которые определяют спрос не может определяться однозначно. С одной стороны, возможна некоторая статистическая интерпретация ситуации, которая основана на оценке похожих застроек. С другой стороны, более интересным предполагается подход, основанный на использовании нечетких множеств и системы нечеткого вывода.

Правило нечеткой продукции – это структура [85]:

$$(i) Q, P, A \Rightarrow B, S, F, N, \quad (2.13)$$

где (i) – имя нечеткой продукции;

Q – сфера применения;

P – условие применимости ядра нечеткой продукции;

$A \Rightarrow B$ – ядро нечеткой продукции, в котором A – условие ядра (антецедент)

B – заключение ядра (консеквент), « \Rightarrow » – знак логической секвенции (следования);

S – метод или способ определения количественного значения степени истинности заключения ядра;

F – коэффициент определенности или уверенности нечеткой продукции;

N – постусловия продукции.

Нечеткая продукционная система – это множество нечетких продукций в форме «ЕСЛИ A , ТО B » [85].

Основная идея заключается в том, что нечеткое множество A является некоторым отношением на X с функцией принадлежности (ФП) $\mu_A(x)$ и расширением на $\mu_A(x,y)$, а нечеткое множество B как унарное отношение на Y с ФП $\mu_B(y)$ и расширением на $\mu_B(x,y)$. Далее положим, что на декартовом произведении $X \times Y$ определено нечеткое бинарное отношение $Q = \{ \langle x,y \rangle, \mu_Q(x,y) \}$. Полагается, если известна $\mu_A(x,y)$, то $\mu_B(x,y)$ может быть определена в результате нечеткой композиции.

Основными этапами нечеткого вывода являются [81]:

- формирование базы правил нечеткого вывода (**ПРАВИЛА**);
- фаззификация входных переменных (**ФАЗЗИФИКАЦИЯ**);
- агрегирование подусловий (**АГРЕГИРОВАНИЕ**);
- активация или композиция подзаключений (**АКТИВИЗАЦИЯ**);
- аккумулялирование заключений (**АККУМУЛЯЦИЯ**);
- дефаззификация выходных переменных (**ДЕФАЗЗИФИКАЦИЯ**).

Система нечеткого вывода предполагает описание всех входных лингвистических переменных, которые являются факторами, влияющими на спрос.

К ним относятся:

- местоположение – престижность района;
- социальная инфраструктура;
- транспортная инфраструктура;
- цена на жилье;
- качество отделки.

В качестве выходной лингвистической переменной будем рассматривать спрос на жилье.

Будем полагать, что входные лингвистические переменные имеют следующие терм-множества:

– терм-множество лингвистической переменной «Престижность района» (ПРЕСТИЖ), включающее термы {«очень престижное», «престижное», «непрестижное»};

– терм-множество лингвистической переменной «Социальная инфраструктура» (СОЦИАЛ), включающее термы {«отличная», «хорошая», «удовлетворительная»};

– терм-множество лингвистической переменной «Транспортная инфраструктура» (ТРАНСП), включающее термы {«отличная», «хорошая», «удовлетворительная»};

– терм-множество «Качество отделки» (КАЧЕСТВО), включающее термы {«отличное», «хорошая», «плохая»};

– терм-множество лингвистической переменной «Цена» (ЦЕНА), включающее термы {«высокая», «средняя», «низкая»};

– терм-множество выходной лингвистической переменной «Спрос» (СПРОС), включающее термы {«высокий», «средний», «низкий»}.

Следующим этапом формирования системы нечеткого вывода является формирование функций принадлежности всех лингвистических переменных.

Достаточно часто на практике используются самые простые функции принадлежности, а именно «треугольная» и «трапециевидная». Операции с ними не выводят за их класс зависимостей, что удобно при формировании правил нечеткого вывода, когда база правил достаточно объемна и необходима экономия вычислительных ресурсов. Основным достоинством треугольных и трапециевидных функций принадлежности является их простота и отсутствие хвостов распределений.

Естественными расширениями этих классов функций являются зависимости, которые составляют сглаженные графики. Расширениями «треугольной» являются гауссова функция и «обобщенный колокол». Простая функция Гаусса имеет синтаксис $y = \text{gaussmf}(x, [\sigma \ c])$, два параметра: σ определяет размах (численное

значение соответствует СКО), а c определяют положение центра кривой. Сама

функция задается выражением $f(x | \sigma, c) = e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}}$ (Рисунок 2.36). Характер параметров аналогичен нормальному закону распределению в теории вероятностей.

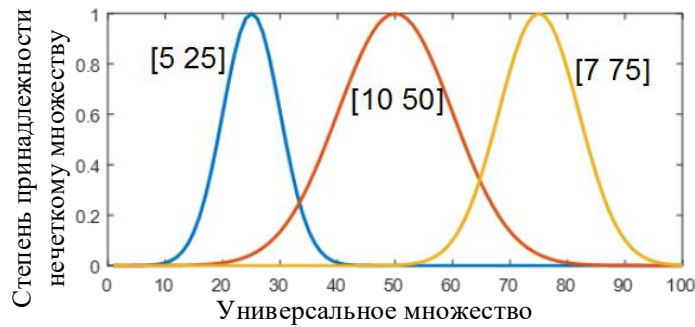


Рисунок 2.36 Гауссова функция принадлежности

Функции принадлежности всех лингвистических переменных приведены на рисунках 2.37-2.42.



Рисунок 2.37 Гауссова функция принадлежности лингвистической переменной ПРЕСТИЖ



Рисунок 2.38 Гауссова функция принадлежности лингвистической переменной СОЦИАЛ

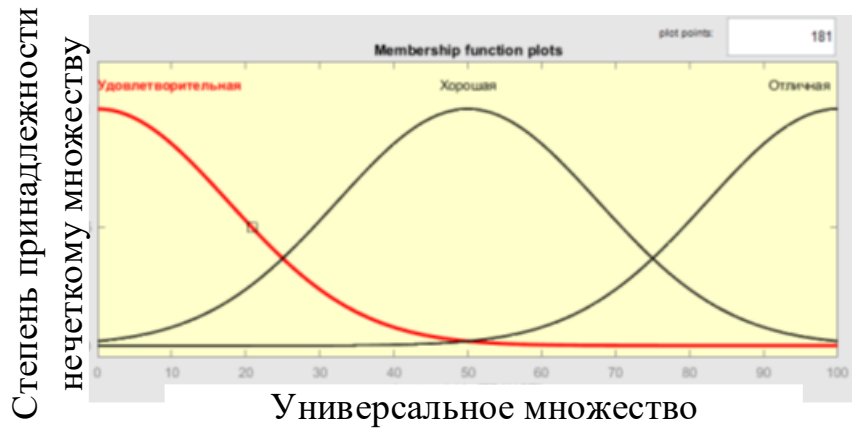


Рисунок 2.39 Гауссова функция принадлежности лингвистической переменной ТРАНСП



Рисунок 2.40 Гауссова функция принадлежности лингвистической переменной КАЧЕСТВО

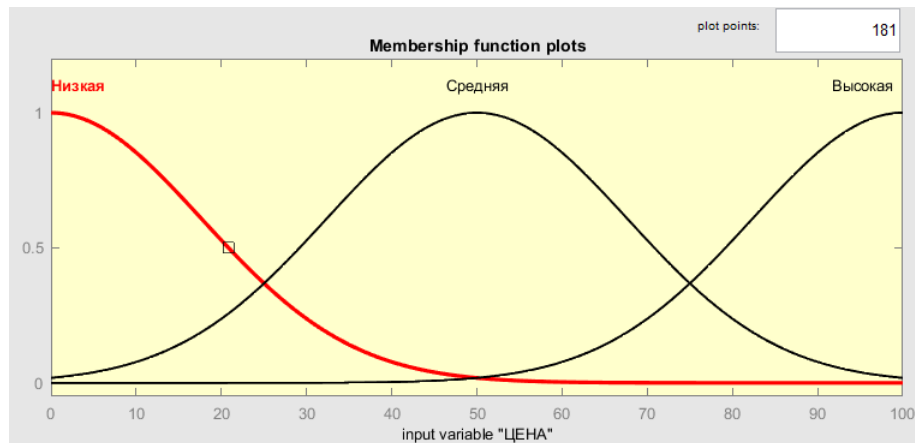


Рисунок 2.41 Гауссова функция принадлежности лингвистической переменной ЦЕНА

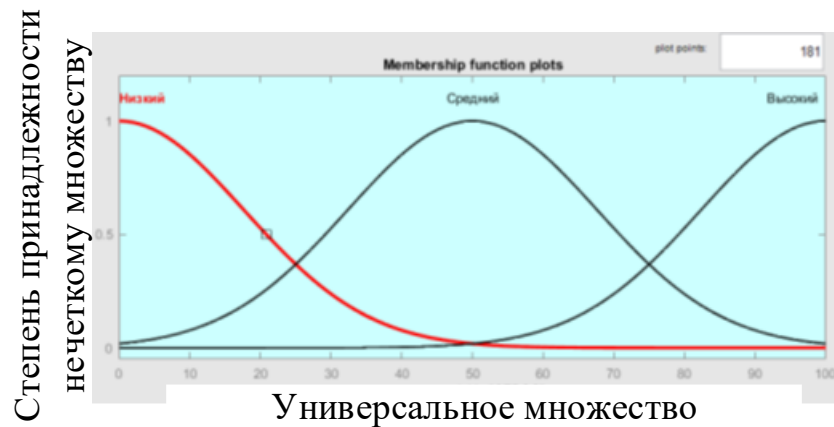


Рисунок 2.42 Гауссова функция принадлежности лингвистической переменной СПРОС

Нечеткое лингвистическое высказывание представляется в виде ряда принятых форм [85].

Форма 1. Высказывание «А есть A », где A – наименование лингвистической переменной, A – ее значение, которому соответствует отдельный лингвистический терм [85].

Форма 2. Высказывание «А есть ∇A », где ∇ – лингвистическая неопределенность «более-менее», «очень» и т.д. [85].

Форма 3. Высказывания с использованием логических связок «И», «ИЛИ», «НЕ» [85].

Условие и заключение ядра будут представлять нечеткие лингвистические высказывания вида 1 – 3.

Вариант правила по «форме **Ф1**»

ПРАВИЛО <#>:

ЕСЛИ «А есть w_A », **ТО** «А есть v_A »

Нечеткое высказывание «А есть w_A » **И** «А есть v_A » эквивалентно нечеткому высказыванию «А есть u_A », где терму u_A соответствует A^* , равное пересечению нечетких множеств с ФП $\mu(w_A)$ и $\mu(v_A)$ (по правилам пересечения).

Нечеткое высказывание «А есть w_A » **ИЛИ** «А есть v_A » эквивалентно нечеткому высказыванию «А есть u_A », где терму u_A соответствует A^* , равное объединению нечетких множеств с ФП $\mu(w_A)$ и $\mu(v_A)$.

Если в приведенных правилах A представляет одну нечеткую переменную, то результат строится просто через *min* и *max*.

Если в высказывании имеют место различные лингвистические переменные β_1 и β_2 , то запись имеет составные условия и должна быть представлена в «форме Φ_2 »:

ПРАВИЛО <#>:

ЕСЛИ «А есть w_A » И «В есть w_B », ТО «С есть w_C »

ПРАВИЛО <#>:

ЕСЛИ «А есть w_A » ИЛИ «В есть w_B », ТО «С есть w_C »

При этом каждое из нечетких высказываний «А есть w_A » и «В есть w_B » представляет собой подусловие, и далее в правилах нечеткой продукции для составных условий необходимо использовать один из методов агрегирования условий.

Выполним формирование базы правил в виде нечетких продукций (Таблица 2.18).

Таблица 2.18 База правил нечеткого вывода

№	Входные лингвистические переменные					Выходная лингвистическая переменная
	ПРЕСТИЖ	СОЦИАЛ	ТРАНСП	КАЧЕСТВО	ЦЕНА	СПРОС
1	Очень прест.	Отличная	Отличное	Отличное	Средняя	Высокий
2	Престижное	Хорошая	Хорошая	Хорошее	Низкая	Высокий
3	Непрестижное	Удовл	Удовл	Плохое	Средняя	Низкий
4	Престижное	Хорошее	Хорошее	Отличное	Высокая	Средний
5	Непрестижное	Отличное	Отличное	Отличное	Низкая	Средний
6	Очень прест.	Удовл	Хорошее	Хорошее	Высокая	Низкий
7	Престижное	Удовл	Удовл	Плохое	Высокая	Низкий

Для реализации схемы вывода применен метод Мамдани. Для полученных экспертных правил (всего 7) базовой логической связкой подусловий является нечеткая операция «И», а для агрегирования показателей применяется *min*-конъюнкции. Аккумуляция заключений предполагает применение *max*-дизъюнкции (причем она же используется для схемы вывода Мамдани). Дефаззификация предполагает применение метода центра тяжести.

Результаты моделирования для различных вариаций входных лингвистических переменных приведены на рисунках 2.43 и 2.44.

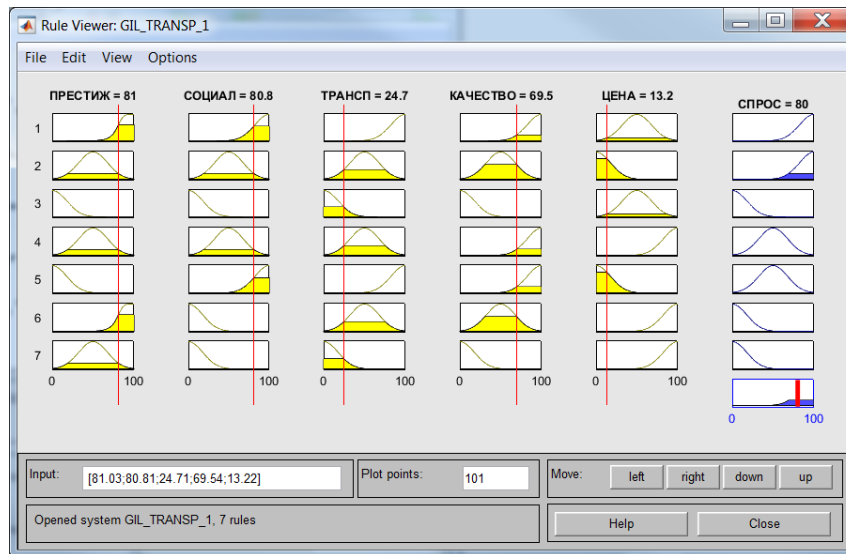


Рисунок 2.43 Факторы высокого спроса

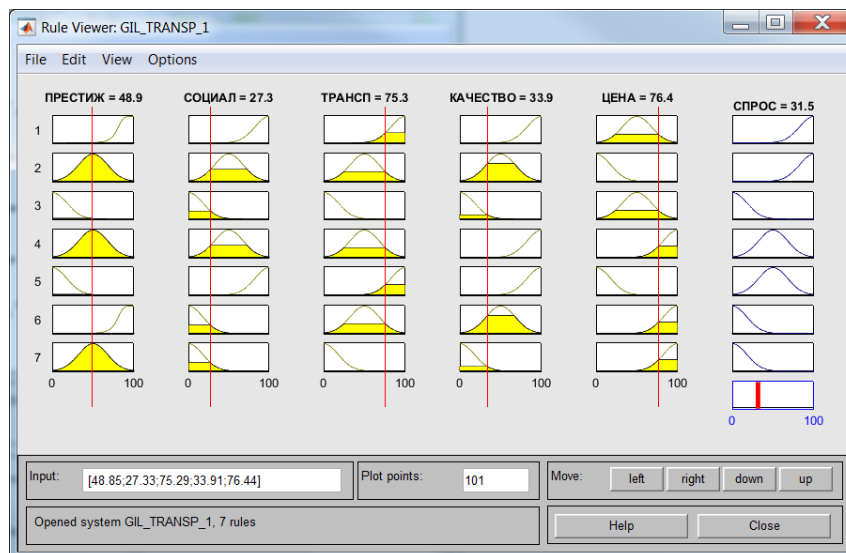


Рисунок 2.44 Факторы низкого спроса

Далее можно рассмотреть функцию спроса как функцию качества транспортного обслуживания при заданных остальных значениях переменных. Так функция

СПРОС (ТРАНСП | ПРЕСТИЖ=100, СОЦИАЛ=100, КАЧЕСТВО=100, ЦЕНА=70)
приведена на рисунке 2.45.

Можно рассмотреть различные двухфакторные функции спроса и построить поверхности отклика (Рисунок 2.46).

СПРОС (ТРАНСП, ПРЕСТИЖ | СОЦИАЛ=100, КАЧЕСТВО=100, ЦЕНА=70)

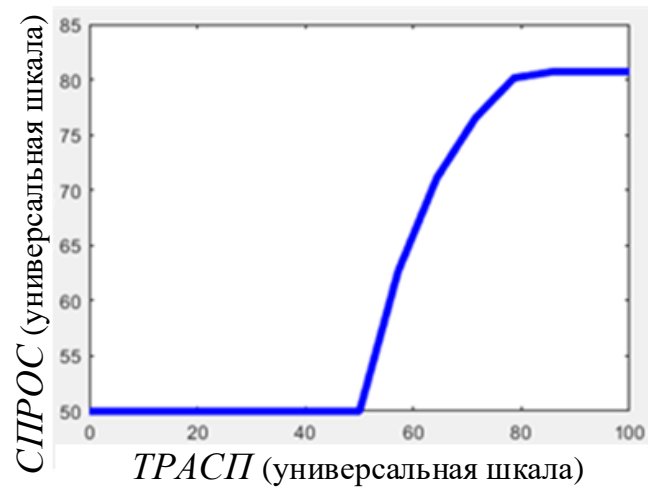


Рисунок 2.45 Однофакторная функция спроса от транспортного обслуживания

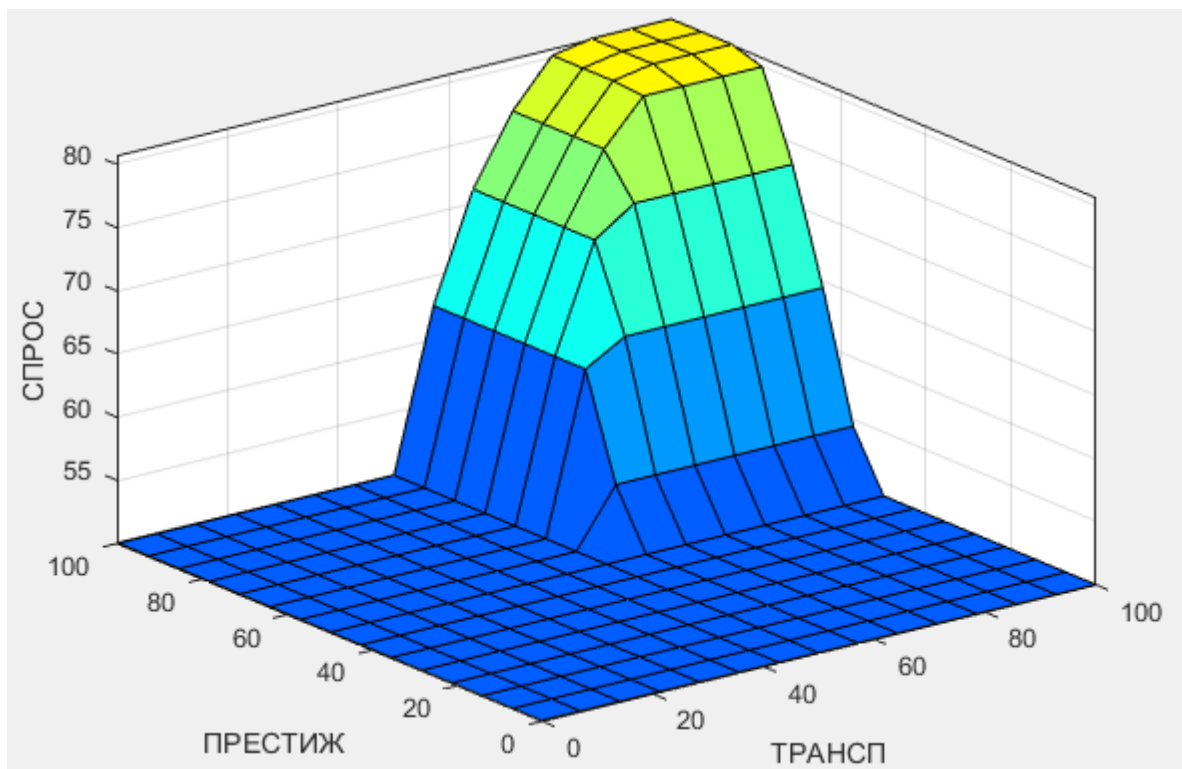


Рисунок 2.46 Двухфакторная функция спроса от транспортного обслуживания и престижности района

Таким образом, предложенная методика нечеткого вывода позволяет дать количественные оценки спроса на жилье в перспективных районах застройки, что дает возможность коррекции динамики матрицы корреспонденций.

2.5.3. Программная поддержка системы нечеткого вывода в системе MatLab

Система нечеткого вывода имеет программную поддержку в MatLab. На первом этапе формируется список всех входных и выходных лингвистических переменных с указанием метода системы нечеткого вывода (Рисунок 2.47).

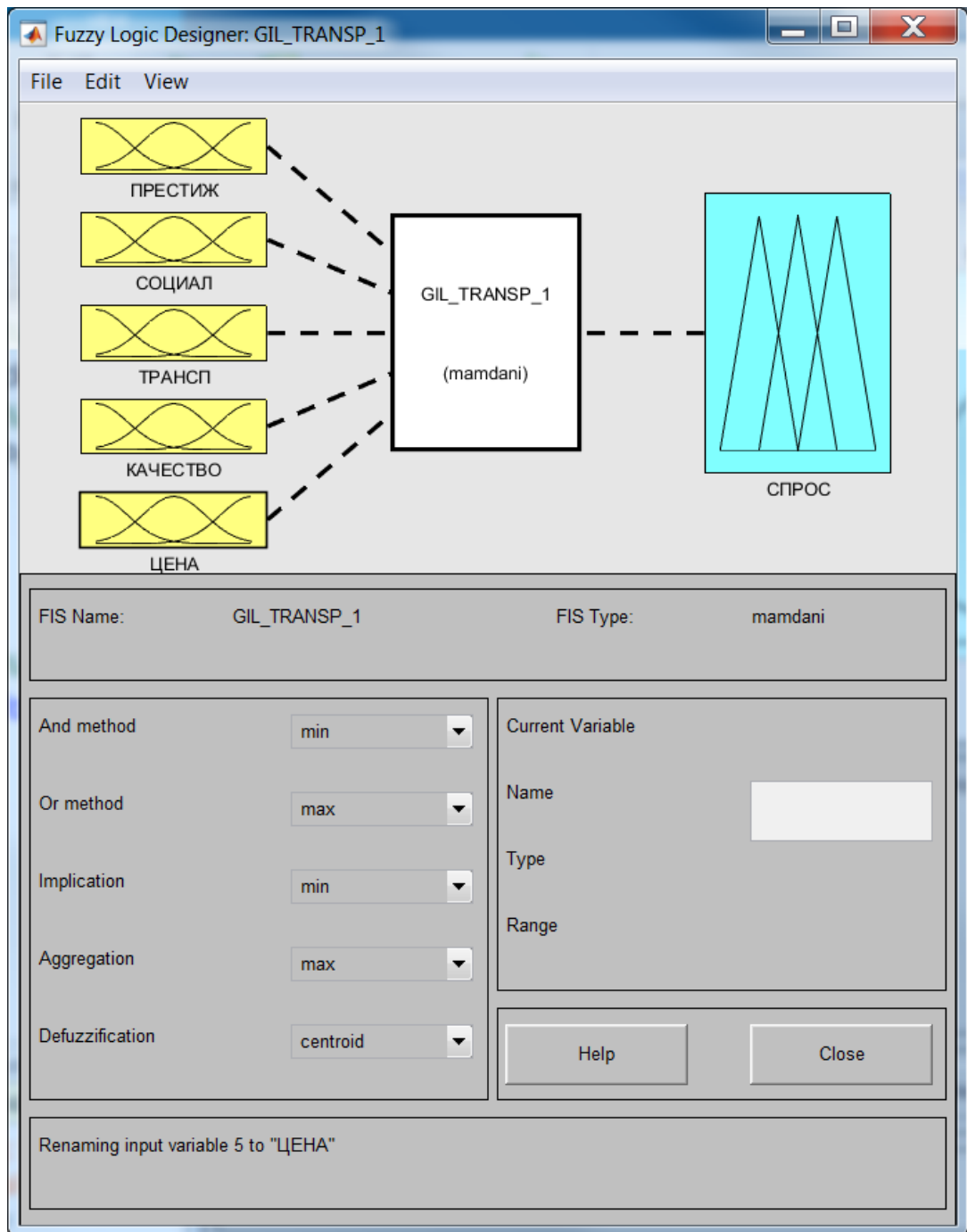


Рисунок 2.47 Формирование множества лингвистических переменных

На втором этапе формируются функции принадлежности всех лингвистических переменных (Рисунок 2.48).

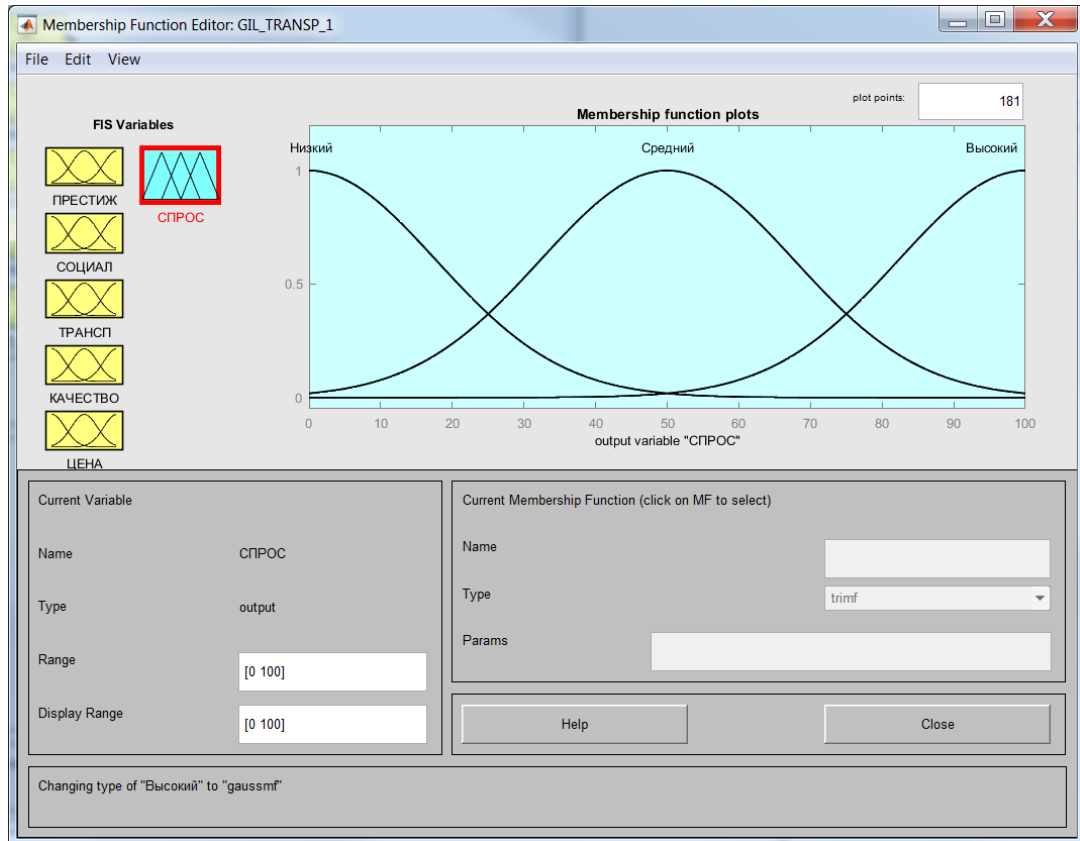


Рисунок 2.48 Формирование функций принадлежности лингвистических переменных

На следующем этапе формируется база правил нечеткого вывода (Рисунок 2.49).

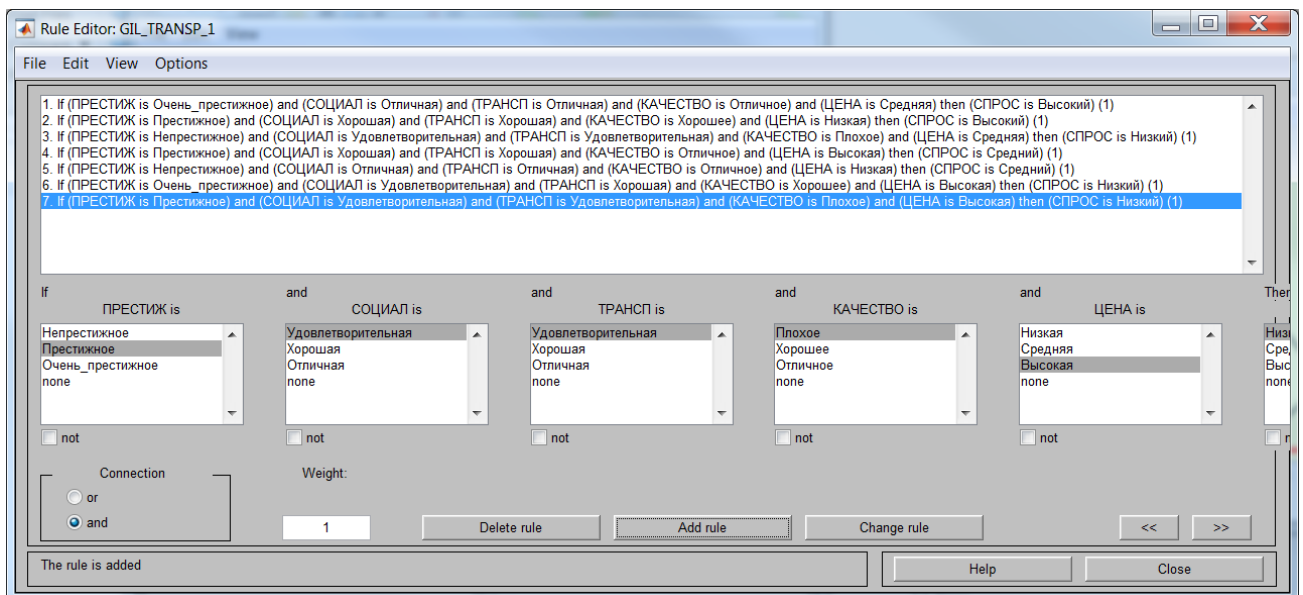


Рисунок 2.49 Формирование базы правил нечеткого вывода

Далее можно реализовать моделирование системы нечеткого вывода для оценки числовых значений выходной лингвистической переменной СПРОС при заданных значениях всех входных лингвистических переменных (Рисунок 2.50).



Рисунок 2.50 - Просмотр результатов моделирования для заданных значений входных лингвистических переменных

В общем случае система нечеткого вывода задает функцию спроса от входных лингвистических переменных. В связи с этим для ее исследования имеется возможность ее представления в виде графиков от одной или двух переменных (Рисунок 2.51) при заданных остальных значениях входных переменных.

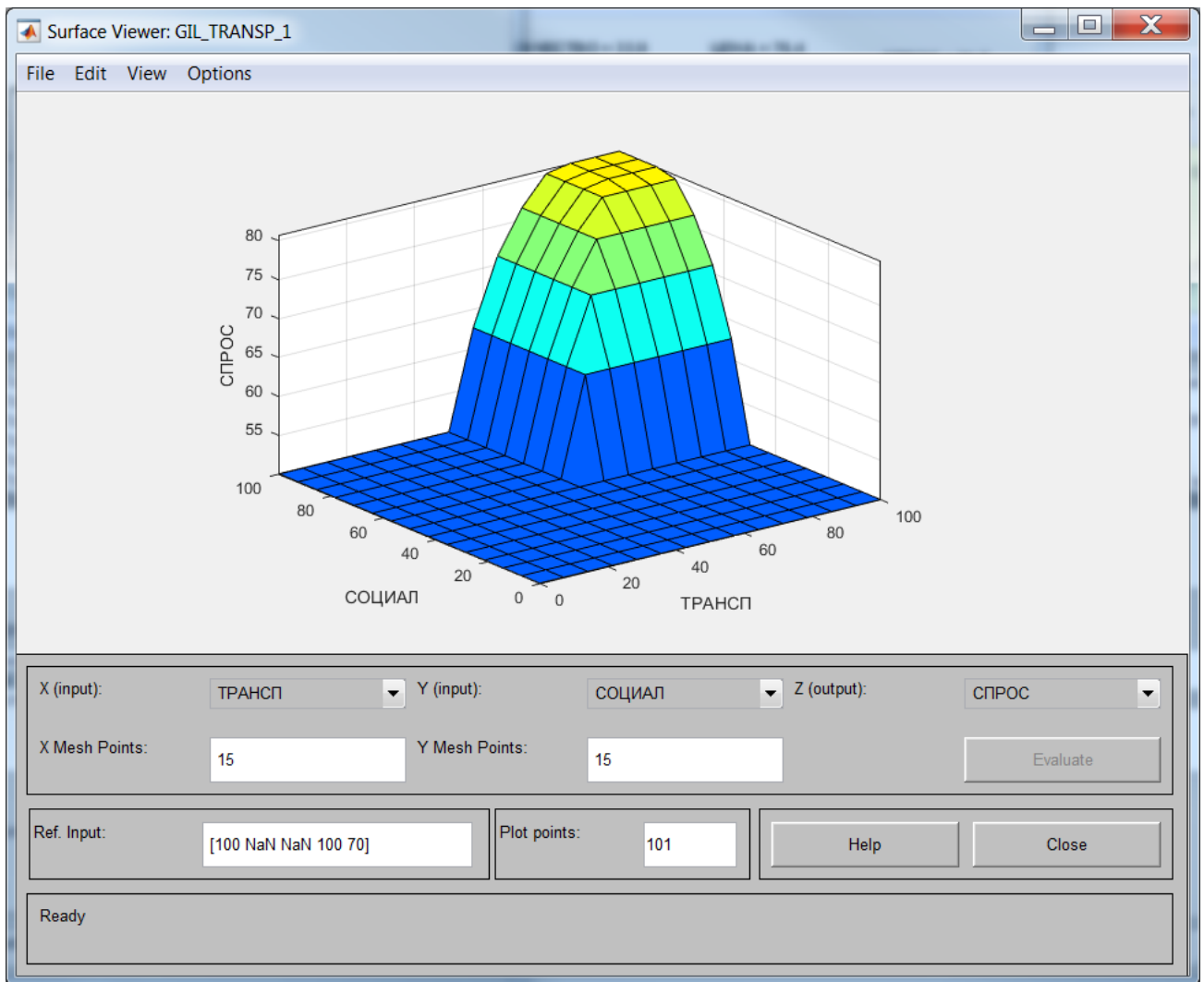


Рисунок 2.51 Построение графиков выходной лингвистической переменной от входных лингвистических переменных

2.5.4. Примеры оценки спроса на жилье в районах с различной инфраструктурой

В качестве примера оценки спроса проведен анализ трех жилых застроек, а именно:

- «Тихие зори» – правобережная часть при съезде с Николаевского моста (с частичной инфраструктурой);
- «Николаевский» левый берег (с полноценной инфраструктурой);
- «Плодово-ягодный» (без инфраструктуры).

Проведенный анализ для района «Тихие зори» (Рисунок 2.52) дал следующие результаты. Предполагалось, что:

- *ПРЕСТИЖ* – 80 баллов;
- *СОЦИАЛ* – 80 баллов;
- *ТРАНСП* – 70 баллов;
- *КАЧЕСТВО* – 60 баллов;
- *ЦЕНА* – 50 баллов.

Значение выходной переменной СПРОС после моделирования на основе метода Мамдани – 70 баллов.



Рисунок 2.52 Жилой район «Тихие зори» – правобережная часть при съезде с Николаевского моста

Проведенный анализ для района «Николаевский» (Рисунок 2.53) дал следующие результаты. Предполагалось, что:

- *ПРЕСТИЖ* – 90 баллов;
- *СОЦИАЛ* – 85 баллов;
- *ТРАНСП* – 90 баллов;
- *КАЧЕСТВО* – 80 баллов;
- *ЦЕНА* – 70 баллов.

Значение выходной переменной СПРОС после моделирования на основе метода Мамдани – 80 баллов.



Рисунок 2.53 Жилой район «Николаевский» левый берег (с полноценной инфраструктурой)

Проведенный анализ для района «Плодово-ягодный» (Рисунок 2.54) дал следующие результаты. Предполагалось, что:

- *ПРЕСТИЖ* – 40 баллов;
- *СОЦИАЛ* – 20 баллов;
- *ТРАНСП* – 30 баллов;
- *КАЧЕСТВО* – 50 баллов;
- *ЦЕНА* – 20 баллов.

Значение выходной переменной СПРОС после моделирования на основе метода Мамдани – 55 баллов.



Рисунок 2.54 Жилой район «Плодово-ягодный» (без инфраструктуры)

2.5.5. Изменение матрицы корреспонденций

В результате такого подхода возможен прогноз численности населения в отдельных районах города, что позволяет заблаговременно скорректировать матрицу корреспонденций.

Далее для формирования корреспонденций в работе предлагается мультиэллиптическая модель стоков и истоков как расширение методики Якимова [200], направленной на представление территориальной модели городской инфраструктуры. Предполагается, что истоки (Рисунок 2.55) определяются на основе статистики входа пассажиров в транспортные средства и имеют положительные значения, а стоки распределяются пропорционально мультиэллиптической модели городской инфраструктуры, которая определяется на основании расположения основных производственных предприятий, учебных заведений, предприятий культуры и т.д.

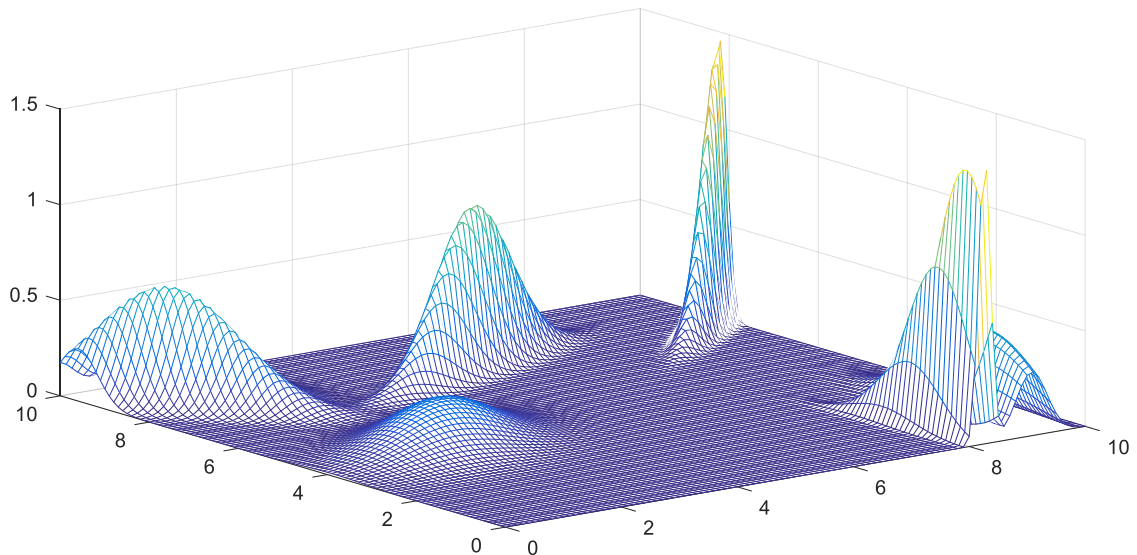


Рисунок 2.55 Моделирование стоков городской маршрутной сети

В результате анализа спроса на жилье в заданных районах появляются новые стоки, что формирует новые матрицы корреспонденций. А это в свою очередь дает возможность рассчитать новые временные интервалы выхода ТС на линии маршрутной сети.

2.5.6. Поиск компромиссов по транспортному строительству как задача многокритериальной оптимизации

Далее ставится задача поиска компромиссного решения между выбором мест жилищной застройки и реализации строительства транспортной инфраструктуры, соответствующей нормам транспортной доступности.

Рассмотрим двухкритериальную постановку задачи, т.е. максимизации прибыли в плане продаж жилого фонда и минимизации затрат на транспортное строительство [147].

Если рассматривать множество проектов развития жилищного строительства, то наиболее вероятно, что картина соответствия проектов и их двухкритериальная оценка будут иметь вид выпуклого множества (Рисунок 2.56).

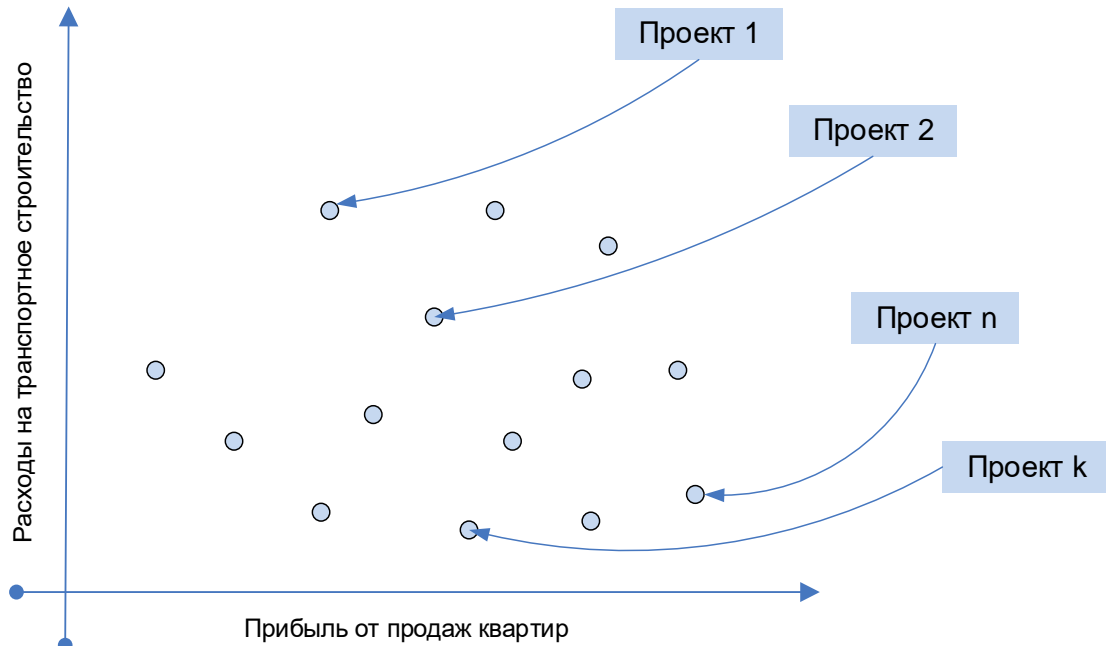


Рисунок 2.56 Двухкритериальная оценка проектов развития жилого фонда

Как видно из рисунка 2.56, для проекта k заложены самые низкие расходы на транспортное строительство. Предполагаемая прибыль проекта находится в среднем положении. Однако, если сравнить проекты k и n, то можно отметить, что небольшое увеличение расходов на транспортное строительство приводит к значительному увеличению прибыли с продаж квартир.

В данной постановке можно провести параллель с методом последовательных уступок многокритериальной оптимизации [49, 93]:

$$y_i = f_i(x) \rightarrow \max, i=1..n \quad x \in D, \quad (2.14)$$

где y_i – множество критериев оптимизации, а D – множество ограничений.

Оценка эффективности строится на отношении Парето [50, 130, 174, 187, 189]:

$$\{\forall x_1, x_2 \in \Omega\} x_1 P x_2 \Leftrightarrow \{\forall i=1..n\} x_{1i} \geq x_{2i} \cap \exists j_0: x_{1j_0} > x_{2j_0} \quad (2.15)$$

или

$$P(\Omega) = \{y \in \Omega \mid \forall y' \neg (y' P x)\}. \quad (2.16)$$

Как правило, множество Парето не позволяет найти однозначного решения. Использование метода последовательных уступок возможно на основе сокращения альтернативных вариантов (Рисунок 2.57). В данном методе показатели сортируются по уровню важности f_1, f_2, \dots, f_n [50, 93, 130, 174, 187, 189].

1. Находится оптимальное решение $X^* = \arg \max_{x \in D} f_1(X)$, $f_1^*(X^*) = f_1^*$.

В интерпретации нашей постановки задачи составляется список всех возможных проектов строительства транспортной инфраструктуры с их ранжированием по рентабельности и делается уступка [93, 187].

2. Решается задача $X^*_1 = \arg \max_{x \in D_1} f_2(X)$ $D_1 = \{X: X \in D, f_1(X^*) = f_1^* - \Delta f_1\}$. Ищется вариант реализации наиболее рационального решения жилищного строительства с их значениями прибыльности.

3. Итерационно процедура повторяется для каждого критерия в порядке их значимости $X^*_k = \arg \max_{x \in D_{k-1}} f_k(X)$ $D_k = \{X: X \in D_{k-1}, f_k(X^*) = f_k^* - \Delta f_k\}$.

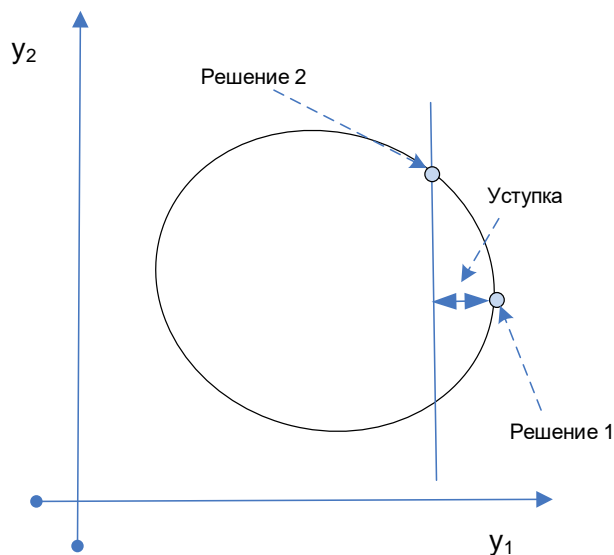


Рисунок 2.57 Решение по методу последовательных уступок

Как правило, в окрестности максимума одного критерия функционал относительно другого критерия близок к квадратичному. Поэтому приращение второго критерия может быть на порядок больше уступки первого критерия [187].

Выводы по главе 2

1. Рассмотрены вопросы моделирования транспортных сетей и показано, что основным инструментальным средством являются программно-моделирующие

комплексы Aimsun, MATSim, Anylogic, PTV VISUM и другие, позволяющие формировать структуру УДС, характеристики транспортных средств, а также параметры их поступления и перемещения в системе. Показано, что не в полной мере используются формальные методы планирования многофакторных экспериментов, и предлагаются методики построения планов экспериментирования со сложными моделями транспортных систем.

2. В рамках решения задач оптимизации управления транспортными системами рассмотрены проблемы их реорганизации, связанные с проектированием пересечений дорог. Рассмотрены основные виды перекрестков, а именно: перекресток равнозначных дорог, перекресток неравнозначных дорог; перекресток с круговым движением. Разработаны обобщенные имитационные модели и рекомендации по выбору определенного типа пересечения и его параметров с учетом интенсивности транспортных потоков.

3. Выполнен анализ методов светофорного регулирования, построена обобщенная имитационная модель управления фазами регулирования в зависимости от интенсивности транспортных потоков и сформирована методика выбора режимов работы светофора для различных дорожных ситуаций.

4. Предложенная методика нечеткого вывода позволяет дать количественные оценки спроса на жилье в перспективных районах застройки, что дает возможность коррекции динамики матрицы корреспонденций пассажиров. В результате такого подхода возможен прогноз численности населения в отдельных районах города, что позволяет заблаговременно скорректировать матрицу корреспонденций пассажиров и запланировать необходимые мероприятия по совершенствованию транспортного обслуживания населения.

5. Для реализации реконструкции участков улично-дорожной сети разработана факторная модель максимизации пропускной способности участка улично-дорожной сети, основанная на выделении значимых факторов, т. е. интенсивностей потоков по различным направлениям. Разработанные в ходе моделирования мероприятия были реализованы на улично-дорожной сети города Красноярска с последующим сравнительным анализом, который подтвердил

эффективность принятых решений. По результату сравнительного анализа 2018 года с 2019 годом можно сделать вывод, что наблюдается снижение длины заторовых ситуаций в утренний и вечерний часы пик с 14902 м до 13861 м утром (– 8%), и с 19618 м до 18588 м вечером (– 6%); сокращается продолжительность заторовой ситуации в утренний час пик (ранее с 7:30 до 9:30, сейчас с 7:30 до 9:00), в вечерний час пик (ранее с 17:00 до 19:00, сейчас с 17:30 до 19:00). В свою очередь, по результату сравнительного анализа 2019 года с 2020 годом можно сделать вывод о том, что наблюдается снижение длины заторовых ситуаций в утренний и вечерний часы пик с 13861 м до 12890 м утром (– 7%), и с 18588 м до 17659 м вечером (– 5%); сохраняется продолжительность заторовой ситуации в утренний час пик (с 7:30 до 9:00), сокращение продолжительности вечернего часа пик (ранее с 17:30 до 19:00, сейчас с 17:30 до 18:30).

3. ОРГАНИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЕДИНОГО ЖИЛИЩНО-ТРАНСПОРТНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

3.1. Концептуальная схема имитационной модели маршрутной сети города

В общем случае для моделирования маршрутной сети города в диссертации предлагается концептуальная схема имитационной модели, которая включает:

- обобщенную имитационную модель одного маршрута;
- модели входных пассажиропотоков на каждом маршруте, которые основаны на предварительном статистическом анализе;
- модель выходных пассажиропотоков, основанная на формальном представлении корреспонденций;
- модели расчета маршрута каждого пассажира в маршрутной сети города.

Маршрутная сеть представляет граф (Рисунок 3.1), вершины которого – остановочные пункты, а ребра – перегоны [13, 31, 45, 55, 74, 154].

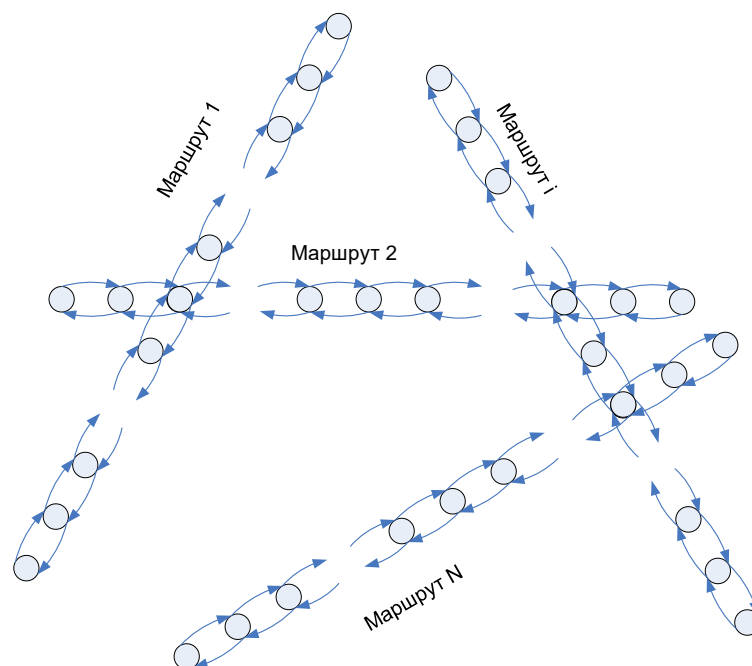


Рисунок 3.1 Фрагмент маршрутной сети

По каждому остановочному пункту имеется полная информация с указанием всех атрибутов, включая геолокационные характеристики (Таблица 3.1).

Таблица 3.1 Реестр остановочных пунктов

137	Свердловский	м-н "Наш двор"	в сторону ул. Лесопильщиков	ул. А. Тимошенкова 131	Автобус	Промежуточная
138	Свердловский	м-н "Наш двор"	в сторону п. Водников	ул. А. Тимошенкова 80	Автобус	Промежуточная
139	Кировский	Аптека (ул. А. Тимошенкова)	в сторону ул. Лесопильщиков	ул. А. Тимошенкова 169	Автобус	Промежуточная
140	Свердловский	Аптека (ул. А. Тимошенкова)	в сторону п. Водников	-	Автобус	Промежуточная
141	Свердловский	пос. Водников	в сторону ул. Лесопильщиков	ул. 2-ая Гипсовая 2А	Автобус	Промежуточная
142	Кировский	пос. Водников	в сторону ул. Затонская	ул. А. Тимошенкова 183 А	Автобус	Промежуточная
143	Свердловский	Водокачка	в сторону п. Водников	ул. Кирпичников 2	Автобус	Промежуточная
144	Кировский	Водокачка	в сторону ул. Затонская	ул. А. Тимошенкова 187	Автобус	Промежуточная
145	Свердловский	Столовая (ул. Затонская)	в сторону п. Водников	ул. Затонская 44/2	Автобус	Промежуточная
146	Кировский	Столовая (ул. Затонская)	в сторону ул. Грунтовая	ул. Затонская 29А ст 29	Автобус	Конечная
147	Свердловский	Гипсовый завод	в сторону п. Водников	ул. Затонская 42 ст 31	Автобус	Промежуточная
148	Кировский	Гипсовый завод	в сторону ул. 60 лет Октября	ул. Затонская 25	Автобус	Промежуточная
149	Свердловский	Рембыттехника (ул. Затонская)	в сторону п. Водников	ул. Затонская 32	Автобус	Промежуточная
150	Кировский	Рембыттехника (ул. Затонская)	в сторону ул. 60 лет Октября	ул. 60 лет Октября 168 А	Автобус	Промежуточная
151	Кировский	пер. Маяковского	в сторону п. Водников	ул. Кузова 20	Автобус	Промежуточная
152	Кировский	пер. Маяковского	в сторону ул. Мичурина	ул. Кузова 17	Автобус	Промежуточная

По каждому перегону для каждого маршрута имеется информация о его длине и среднем времени прохождения (Таблица 3.2).

Таблица 3.2 Характеристики перегонов

№	Код	Расст. между ост. пунктами	Расст. от нач. пункта	Время		Скорость		ОСТАНОВОЧНЫЕ ПУНКТЫ
				Будни	Выходные	Будни	Выходные	
Прямое направление								
1	1008	0	0					Сельхозкомплекс
2	620	1	1	2:45	2:51	12,45	11,99	5-й мкрн. (мкрн. Ветлужанка)
3	618	0,5	1,5	1:10	1:10	30,19	30,4	Детский сад
4	616	0,4	1,9	0:57	0:58	21,94	21,84	Универмаг «Ветлужанка»
5	614	0,3	2,2	1:02	1:01	16,12	16,44	Поликлиника (ул. Мирошниченко)
26	479	0,3	12,2	2:39	2:34	11,28	11,65	ул. Парижской коммуны
27	480	0,9	13,1	2:43	2:29	17,25	18,92	Китайский торговый город
28	670	0,8	13,9	1:55	1:48	23,29	24,89	ул. Дубенского

Предполагается, что для каждого маршрута возможно задание произвольного расписания выхода автобусов на маршрут.

Таким образом, во-первых, для составления общей модели необходимо формирование пассажиропотоков на всех остановочных пунктах всех маршрутов.

Эта задача достаточно простая, поскольку она решается статистической обработкой данных по валидациям. Во-вторых, необходимо запланировать остановочный пункт для каждого пассажира и выбрать маршрут его перемещения с минимальным количеством пересадок. Эта задача более сложная и может быть решена на основе формирования зонной структуры городской инфраструктуры с использованием матрицы корреспонденций [124].

Предполагается, что пересадка формирует поток, который добавляется к исходному пассажиропотоку данного остановочного пункта в модели одиночного маршрута.

3.2. Статистический анализ пассажиропотоков

Пропускная способность полос для общественного транспорта, а также остановочных павильонов не совсем соответствует существующему транспортному спросу. На трёх центральных улицах города Красноярска образуются длинные транспортные заторы из автобусов. Необходимо отметить, что из десяти наиболее загруженных маршрутов восемь (№ 3, 5, 51, 52, 85, 88, 90, 99) проходят по одной из трёх центральных улиц.

Составлена сводная таблица (Таблица 3.3) свойств десяти наиболее востребованных маршрутов автобусной сети города Красноярска. В случае если линия в полной мере отвечает описанию, ставится символ «+++»; в случае если описание в целом соответствует свойствам линии, ставится знак «+». В том случае, если свойства линии не отвечают описанию, ставится знак «х».

Таблица 3.3 Свойства десяти наиболее востребованных автобусных маршрутов

Номер	Проходит через несколько микрорайонов с большой плотностью	Проходит через исторический центр	Проходит через несколько промзон	Соединяет густонаселённые районы на двух берегах Енисея	Маршрут протяжённый (около 20 км)	Маршрут прямой, простой	Интервалы менее 20 минут целый день
№85	+++	+++	+++	+++	+++	×	+++
№90	+++	+++	+++	+++	+++	+	+++
№3	+++	+++	+++	+++	+++	×	+
№99	+++	+++	+++	×	+	×	+++
№19	+++	×	+++	×	+++	+++	+++
№51	+++	+++	+++	×	+	+	+++
№92	+++	×	+++	×	+	+	+
№5	+++	+++	+++	+++	+	×	×
№53	+++	+++	+++	×	+++	+	+
№88	+++	+++	+++	×	+++	×	+

Маршрут № 85 следует через исторический центр, соединяя город с запада на восток, проходя через Октябрьский мост. Проведен статистический анализ пассажиропотоков маршрута № 85 (Рисунок 3.2), являющегося первым по популярности, и № 22 (Рисунок 3.3), как наименее загруженного. Маршрут № 22 достаточно короткий и соединяет производственную зону с центральным районом.

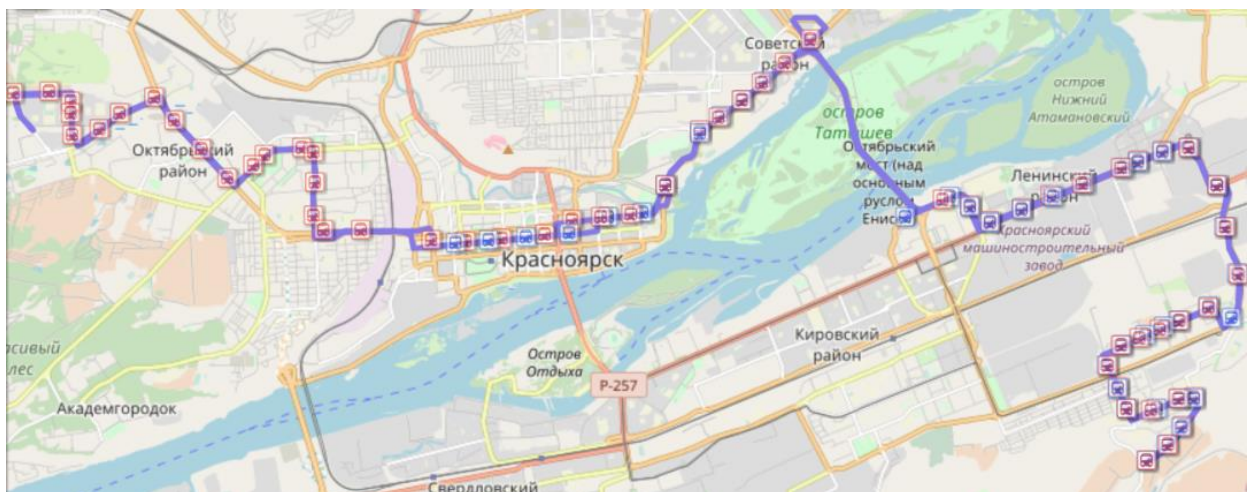


Рисунок 3.2 Схема маршрута № 85

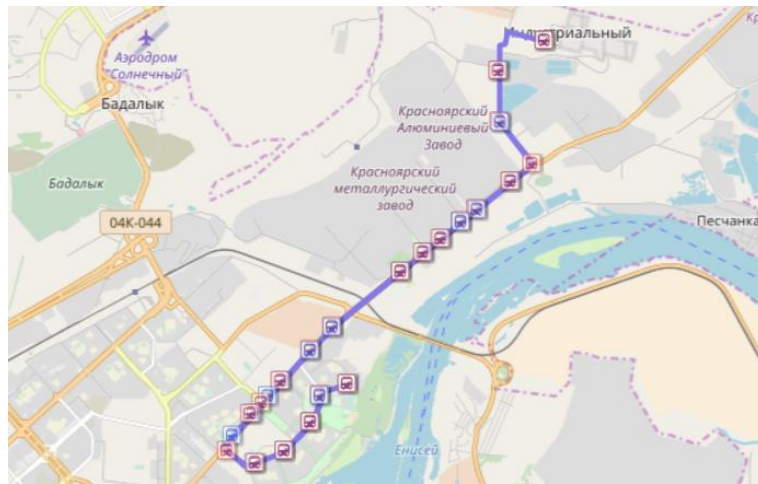


Рисунок 3.3 Схема маршрута № 22

Показаны явно выраженный сезонный недельный характер и достаточно большие корреляции и кросс-корреляции между пассажиропотоками на различных остановочных пунктах маршрутов. Показано также, что в модели факторного анализа для маршрута № 85 уже 5 потоков дают 90 % информации о пассажиропотоках на всех остановочных пунктах.

В диссертации для проверки робастности полученных моделей проводится анализ пассажиропотоков маршрута № 32 (Рисунок 3.4), который имеет среднюю загруженность.

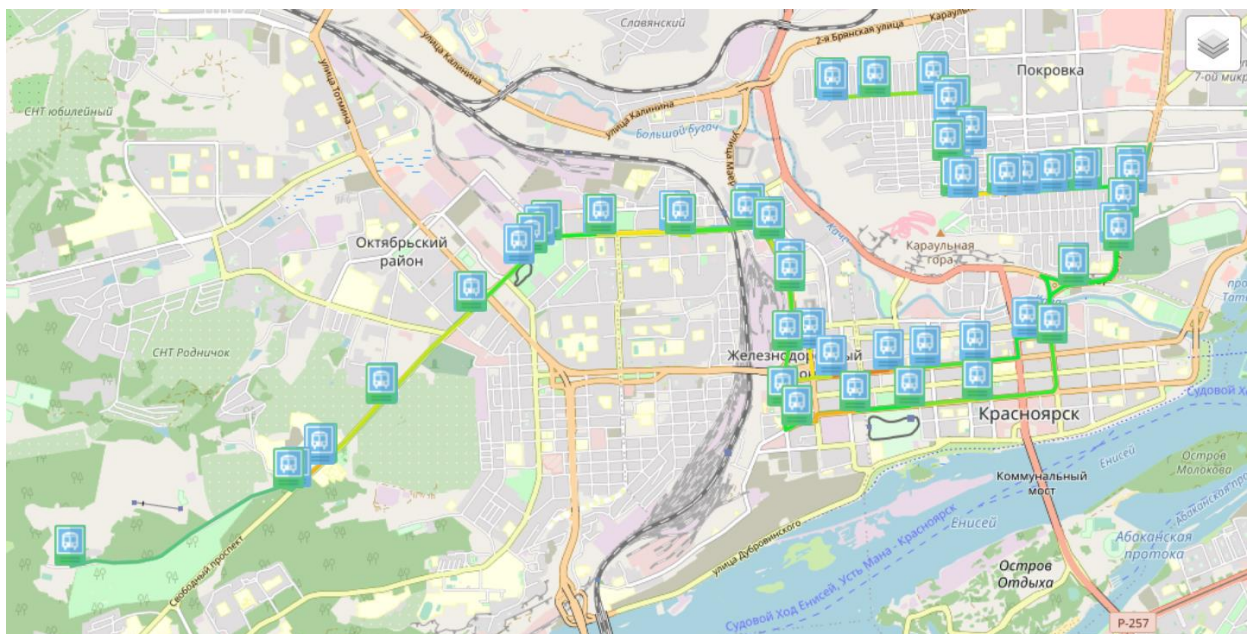


Рисунок 3.4 Схема маршрута № 32

Исходными данными для анализа является общая база данных по всем валидациям, т.е. входам всех пассажиров по всем остановочным пунктам (Таблица 3.4).

Таблица 3.4 Данные по времени валидаций пассажиров

DT	Month	Day	Hour	Minute	N15	Second	YearDay	WeekDay	PsngID	RouteNbr	RouteType	StopID	StopOrder	StopName	StopLat	StopLon
01.01.2016 7:50	1	1	7	50	8	14	1	5	419940	32 В		886	4	ул. Водяникова	56.0328868383757	92.8610171377659
01.01.2016 7:53	1	1	7	53	8	42	1	5	581485	32 В		884	5	ул. Шевцовой	56.0307108161365	92.8641982376575
01.01.2016 7:57	1	1	7	57	8	49	1	5	95165	32 В		872	9	ул. Чернышевского	56.0269249644625	92.8713570535183
01.01.2016 8:10	1	1	8	10	9	55	1	5	112488	32 В		475	16	Стадион «Локомотив»	56.0132785848585	92.8643709162031
01.01.2016 8:19	1	1	8	19	10	35	1	5	778977	32 В		886	4	ул. Водяникова	56.0328868383757	92.8610171377659
01.01.2016 8:21	1	1	8	21	10	6	1	5	579801	32 В		886	4	ул. Водяникова	56.0328868383757	92.8610171377659
01.01.2016 8:21	1	1	8	21	10	15	1	5	1142946	32 В		886	4	ул. Водяникова	56.0328868383757	92.8610171377659

Для детализации статистики в таблице имеются данные по дням недели (WeekDay), номере пятнадцатиминутного интервала времени (N15) дня и другие для возможности использования OLAP возможностей Excel.

В работе проводится анализ трех многомерных временных рядов, когда единицей времени является день года, час дня и номер пятнадцатиминутного интервала времени. Многомерность ряда получается в связи с выбранным количеством остановочных пунктов маршрута.

В качестве методов анализа используются:

- спектральный анализ для оценки периодичности ряда (или сезонности);
- анализ автокорреляций для оценки инерционности ряда (влияния прошлого ряда на будущее);
- корреляционный и кросскорреляционный анализ для оценки взаимосвязи рядов;
- факторный анализ для общей структуризации многомерного временного ряда.

В рамках задач оценки сезонности пассажиропотока использовались оценки спектрального анализа, характеризующие оценку периодограммы

$$\hat{f}_N(n, x) = \frac{1}{2\pi} \sum_{|n| \leq N} \left[1 - \frac{|n|}{N} \right] \hat{R}_N(n, x),$$

являющуюся оценкой спектральной плотности.

Анализ сезонности подразумевает использование сглаживания через спектральное

окно $f_N^W(\lambda; \xi) = \int_{-\pi}^{\pi} W_N(\lambda - \nu) \hat{f}_N(\lambda; \xi)$, где $W_N(\lambda)$ – сглаживающая функция [50, 116, 130, 174, 187, 189].

Автоковариационная функция (АКФ) которая определяется как $R(n) = M\xi_{n+k}\xi_k$, или $\hat{R}_N(n, x) = \frac{1}{N-n} \sum_{k=0}^{N-n-1} x_{n+k}x_k$. Такая оценка может быть несмещенной, т. е. $\forall 0 \leq n \leq N$ $M\hat{R}_N(n, x) = R(n)$ [50, 116, 130, 174, 187, 189].

3.2.1. Анализ ежедневного пассажиропотока за год

Проведен анализ пассажиропотоков на всех остановочных пунктах в течение года. Статистические показатели объемов перевозок на каждом остановочном пункте приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 Данные по пассажиропотокам на остановочных пунктах

Переменная	Описательные статистики (Route_32_Год)							
	Средн	Медиана	Мин	Макс	Дисп	Ст.откл.	Козф.Вар.	Асим
S1	34,79	32,50	5,00	127,00	301,68	17,37	49,92	1,03
S2	116,69	118,00	17,00	223,00	1847,21	42,98	36,83	-0,01
S3	202,09	216,00	31,00	350,00	5458,20	73,88	36,56	-0,30
S4	141,65	149,50	36,00	262,00	2330,87	48,28	34,08	-0,19
S5	106,05	110,00	32,00	195,00	1239,24	35,20	33,20	-0,21
S6	114,09	117,00	27,00	193,00	987,11	31,42	27,54	-0,23
S7	82,26	86,00	19,00	144,00	656,57	25,62	31,15	-0,16
S8	144,57	154,00	27,00	266,00	3140,31	56,04	38,76	-0,16
S9	75,62	78,00	15,00	150,00	930,40	30,50	40,34	-0,05
S10	48,25	46,00	9,00	112,00	406,17	20,15	41,77	0,30
S11	69,73	72,00	11,00	133,00	865,32	29,42	42,19	-0,15
S12	100,80	107,00	15,00	196,00	1846,75	42,97	42,63	-0,24
S13	28,26	28,00	3,00	69,00	154,61	12,43	44,00	0,38
S14	66,28	64,00	8,00	139,00	868,49	29,47	44,46	0,11
S15	45,52	37,00	3,00	157,00	1123,84	33,52	73,64	1,35
S16	56,24	55,00	9,00	122,00	544,60	23,34	41,50	0,31
S17	95,81	98,50	18,00	178,00	991,68	31,49	32,87	-0,16
S18	117,75	123,50	32,00	214,00	1422,65	37,72	32,03	-0,12
S19	225,36	235,00	33,00	396,00	8187,92	90,49	40,15	-0,21
S20	38,99	38,50	7,00	124,00	322,94	17,97	46,09	0,67
S21	41,11	43,00	3,00	91,00	392,59	19,81	48,20	0,05
S22	65,48	66,50	10,00	232,00	692,17	26,31	40,18	0,69
S23	105,39	110,00	22,00	180,00	1035,31	32,18	30,53	-0,38
S24	65,37	69,00	14,00	121,00	428,51	20,70	31,67	-0,29
S25	42,18	43,50	6,00	82,00	286,74	16,93	40,15	-0,01
S26	23,58	24,00	1,00	49,00	93,82	9,69	41,08	-0,07
S27	73,87	75,00	7,00	198,00	508,90	22,56	30,54	0,24
S28	61,29	62,00	13,00	137,00	566,54	23,80	38,83	0,15

Практически для всех остановочных пунктов коэффициент вариации меньше 50. Это говорит о том, что экспоненциальное распределение не может быть

использовано для аппроксимации распределения потока. Максимальные пассажиропотоки приходятся на остановочные пункты № 19 и № 3 (Рисунок 3.5).



Рисунок 3.5 Средние пассажиропотоки на остановочных пунктах маршрута № 32

Годовой пассажиропоток имеет явную цикличность и тренд, по которому можно заметить уменьшение пассажиропотоков в летний период (Рисунок 3.6).



Рисунок 3.6 Пассажиропотоки маршрута № 32 в течение года

Проведенный спектральный анализ показал явное доминирование недельного цикла (Рисунок 3.7 и Таблица 3.6).

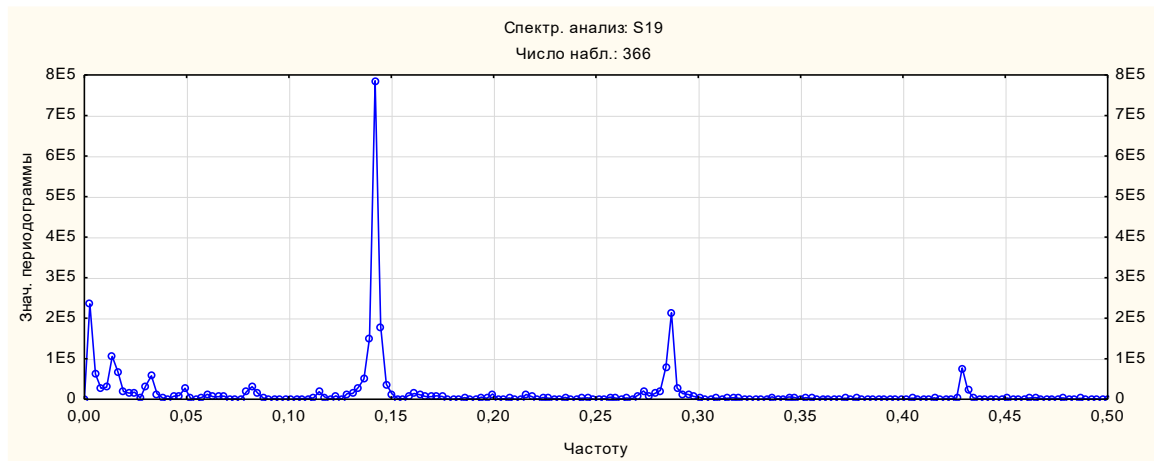


Рисунок 3.7 Спектральная плотность пассажиропотока маршрута № 32

Автокорреляционная (Рисунок 3.8) и кросскорреляционная функции (Рисунок 3.9) показывают на явное наличие взаимосвязи между пассажиропотоками на различных остановочных пунктах.

Таблица 3.6 Данные по пассажиропотокам на остановочных пунктах

Спектр. анализ: S19 (Route_32_Год) Число набл.: 366						
	Частоту	Период	Косинус коэфф.	Синус коэфф.	Периодограмма	Плотн.
48	0,131148	7,6250	-8,8119	0,4070	14240,1	18549,7
49	0,133880	7,4694	-10,7060	-6,7279	29258,6	34500,5
50	0,136612	7,3200	-14,3508	-8,2754	50220,3	94538,3
51	0,139344	7,1765	-27,9418	-6,8141	151373,8	276558,1
52	0,142077	7,0385	-55,8842	-34,2198	785809,3	433573,4
53	0,144809	6,9057	26,6263	16,4063	178997,2	284216,2
54	0,147541	6,7778	8,0069	11,8006	37215,9	91239,0
55	0,150273	6,6545	8,2476	2,7150	13797,0	22132,7
56	0,153005	6,5357	2,7164	2,3067	2324,0	6353,0

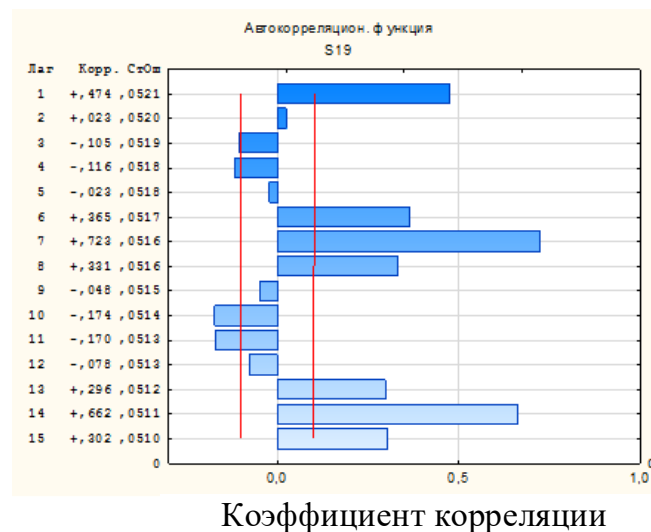


Рисунок 3.8 Автокорреляционная функция пассажиропотока маршрута № 32

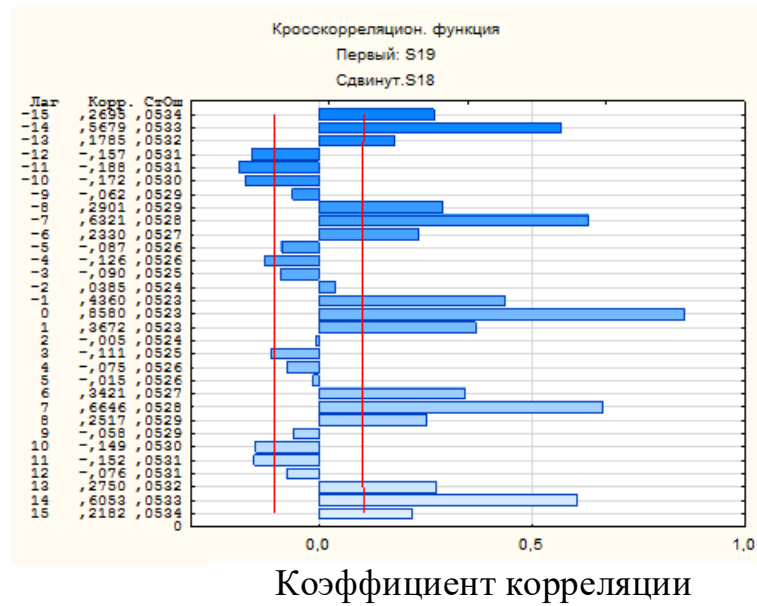


Рисунок 3.9 Кросскорреляционная функция пассажиропотоков маршрута № 32 на остановочных пунктах 18 и 19

Проведенный факторный анализ установил наличие взаимосвязи, выражаемой одной главной компонентой (Рисунок 3.10).

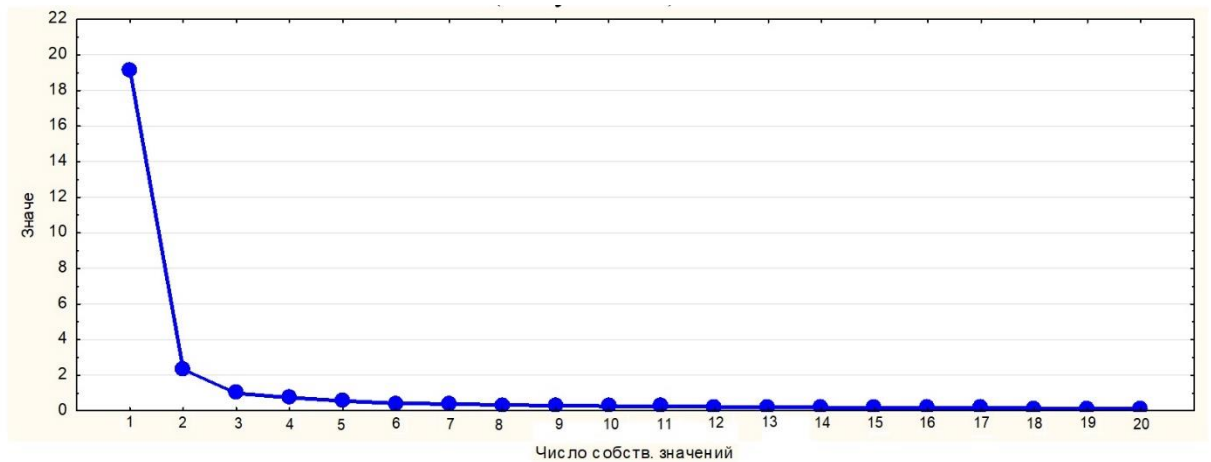


Рисунок 3.10 Информативность главных компонент пассажиропотока маршрута № 32

Только первая главная компонента дает 68 % информации об общем характере пассажиропотоков на всех остановочных пунктах (Таблица 3.7).

Таблица 3.7 Таблица информативности главных факторов

Значен.	Собст.значения (Route_32_Год) Выделение: Главные компоненты			
	Собств. Знач.	% общей дисперс.	Кумулятивн. Собств. Знач.	Кумулятивн. %
1	19,16503	68,44652	19,16503	68,44652
2	2,32789	8,31389	21,49291	76,76041
3	0,98622	3,52223	22,47914	80,28264
4	0,74473	2,65977	23,22387	82,94240
5	0,55839	1,99424	23,78226	84,93665
6	0,41682	1,48866	24,19908	86,42530
7	0,38979	1,39210	24,58887	87,81740
8	0,33008	1,17885	24,91895	88,99625
9	0,29488	1,05315	25,21383	90,04940
10	0,26639	0,95138	25,48022	91,00078

Для маршрута №32 не наблюдается такой сильной взаимосвязи, как для маршрута №85. Однако проведенный анализ говорит о том, что возможен перенос результатов моделирования за некоторый день для оценки ситуации в другие дни в связи с достаточно сильным влиянием полученных общих факторов.

3.2.2. Показатели неравномерности пассажиропотоков

Непосредственно для моделирования маршрутной сети соответственно каждого маршрута более значим анализ временных рядов по часам дня, а для большей точности моделирования – по пятнадцатиминутным интервалам дня. В связи с этим проведен детальный анализ полученных временных рядов.

Кроме того, классической характеристикой пассажиропотоков является неравномерность объемов перевозок. Характеристики неравномерности тесно связаны с характеристиками временных рядов. Соответствующие коэффициенты неравномерности обычно определяются как отношение максимального значения показателя к среднему значению.

Неравномерность по часам суток может быть найдена по формуле [23, 27, 53, 65, 84, 116, 129]:

$$K_n^{вр.сут} = \frac{Q_{чп}}{Q_{ср.ч}}, \quad (3.1)$$

где $Q_{ср.ч} = \frac{\sum_{t=1}^T Q_t}{T}$ – среднее значение объема пассажиров за T часов;

Q_t – объем пассажиропотока в t -ый час суток;

T – часы работы перевозчика на маршруте;

$Q_{чп} = \max(Q_1, Q_2, Q_T)$ – значение максимального пассажиропотока за день.

Коэффициент внутрисуточной неравномерности рассчитывается по формуле [14, 27, 65, 53, 84, 116, 129]:

$$K_n^{внч} = \frac{Q_{\max}^{\Delta t}}{Q_{ср}^{\Delta t}}, \quad (3.2)$$

где $Q_{\max}^{\Delta t} = \max(Q_1^{\Delta t}, Q_2^{\Delta t}, \dots, Q_r^{\Delta t})$ – пассажиропоток в самый загруженный

интервал времени Δt , $Q_{ср}^{\Delta t} = \frac{\sum_{i=1}^r Q_i^{\Delta t}}{r}$ – средний пассажиропоток за время исследования.

Коэффициент неравномерности по направлению дает оценку неравномерности пассажиропотока по прямому и обратному направлению [27, 65, 53, 84, 116, 129]:

$$K_n^{напр} = \frac{Q_{пр}}{Q_{обр}}, \quad (3.3)$$

где $Q_{пр}$, $Q_{обр}$ – пассажиропоток в соответствующих направлениях (прямой соответствует большему пассажиропотоку).

На каждом перегоне количество пассажиров рассчитывается по формуле [65, 53, 84, 116, 129]:

$$P_i = \sum_{k=1}^i B_k - \sum_{k=1}^i C_k, \quad (3.4)$$

где B_k – количество входящих на k -ой остановке;

C_k – количество выходящих на k -ой остановке;

Тогда количество пассажиров можно определить по формуле [14, 65, 53, 84, 116, 129]:

$$П_i = П_{i-1} + B_i - C_i. \quad (3.5)$$

Данная формула служит для определения наполнения салона в имитационной модели.

3.2.3. Анализ почасового временного ряда пассажиропотоков за день

Показатели неравномерности дают лишь общую картину изменчивости пассажиропотоков [3, 87]. Для построения модели пассажиропотоков, включенной в имитационную модель, предлагается использовать стандартные характеристики временных рядов. Почасовой временной ряд пассажиропотоков для всех остановочных пунктов имеет неравномерный характер (Рисунок 3.11).

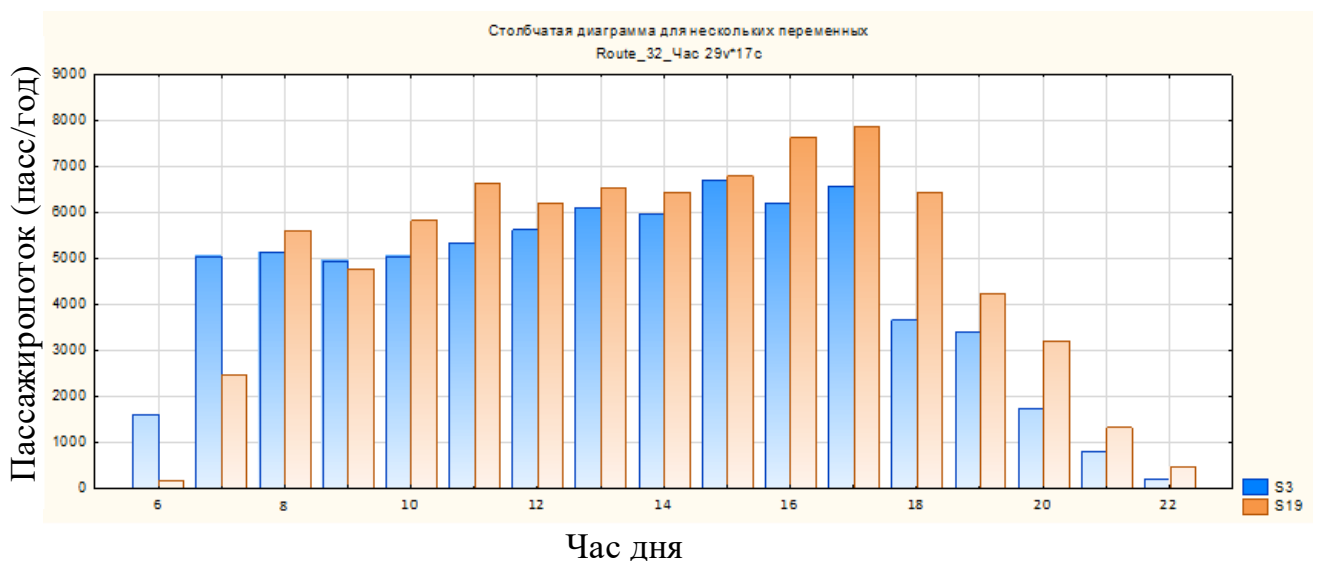


Рисунок 3.11 Почасовые временные ряды пассажиропотоков маршрута № 32 на остановочных пунктах № 3 и № 19

Автокорреляционная функция этих временных рядов практически статистически незначима. Нет зависимости между временными сдвигами временного ряда (Рисунок 3.12). Пассажиропоток в текущий момент времени практически не влияет на пассажиропоток через два часа. Имеется некоторая корреляция с потоком через один час.

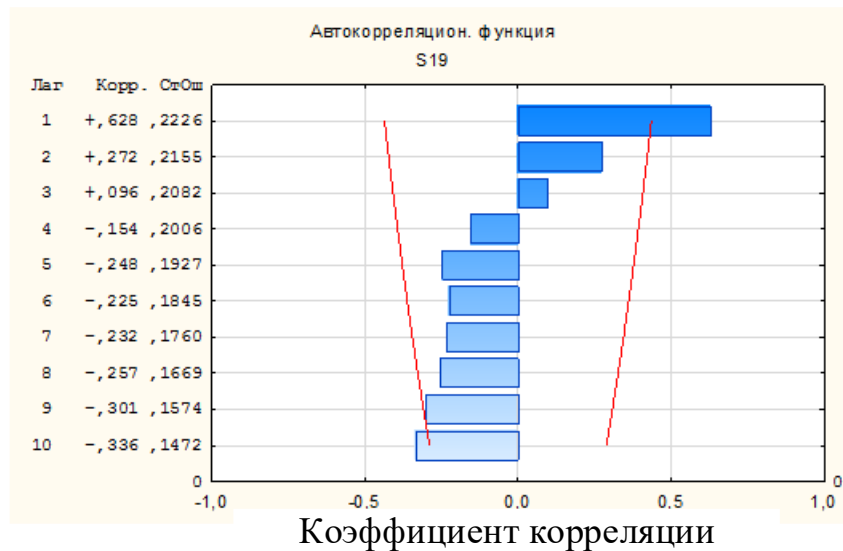


Рисунок 3.12 Автокорреляционная функция почасового пассажиропотока маршрута № 32

Кросскорреляционная функция также показывает взаимосвязь между потоками только на текущий момент времени либо со смещением на один час (Рисунок 3.13).

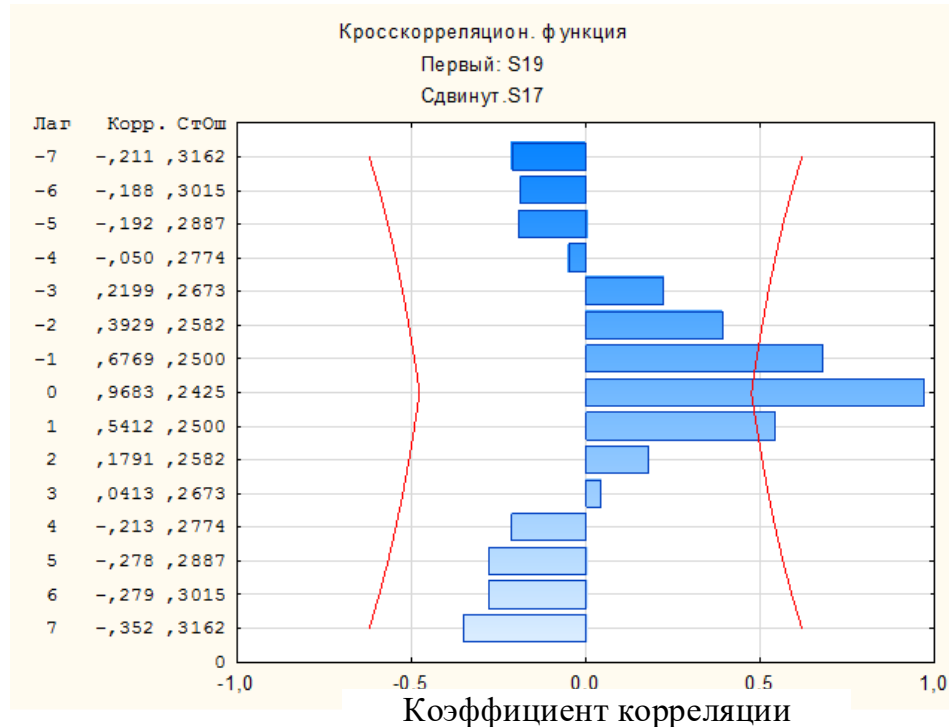


Рисунок 3.13 Кросскорреляционная функция почасовых пассажиропотоков маршрута № 32 на остановочных пунктах № 19 и № 17

Простой корреляционный анализ выявил достаточно сильные взаимосвязи между пассажиропотоками на остановочных пунктах (Таблица 3.8).

Такие значения коэффициентов корреляций позволяют сделать заключение о робастности факторной модели. Действительно факторный анализ показал, что всего две главные компоненты дают информацию по всем пассажиропотокам с потерей точности 8 % (Таблица 3.9) [98].

Таблица 3.8 Таблица корреляций пассажиропотоков

Переменная	Корреляции (Route_32_Час) Отмеченные корреляции значимы на уровне $p < ,05000$ N=17 (Построчное удаление ПД)									
	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23
S1	0,86	0,94	0,75	0,65	0,67	0,74	0,69	0,75	0,79	0,82
S2	0,86	0,90	0,80	0,68	0,69	0,77	0,72	0,84	0,83	0,84
S3	0,94	0,91	0,89	0,80	0,81	0,88	0,83	0,93	0,91	0,90
S4	0,71	0,89	0,53	0,36	0,40	0,50	0,40	0,54	0,61	0,70
S5	0,56	0,81	0,38	0,20	0,23	0,32	0,25	0,38	0,44	0,57
S6	0,68	0,85	0,52	0,36	0,40	0,48	0,41	0,55	0,63	0,73
S7	0,70	0,87	0,53	0,36	0,40	0,50	0,41	0,55	0,64	0,74
S8	0,60	0,81	0,40	0,21	0,26	0,36	0,22	0,37	0,48	0,62
S9	0,55	0,78	0,34	0,15	0,20	0,30	0,18	0,30	0,41	0,55
S10	0,59	0,83	0,39	0,21	0,26	0,36	0,25	0,36	0,47	0,58
S11	0,75	0,94	0,61	0,44	0,47	0,56	0,48	0,60	0,65	0,74
S12	0,92	0,84	0,92	0,86	0,85	0,91	0,89	0,97	0,95	0,92
S13	0,92	0,87	0,90	0,85	0,84	0,91	0,91	0,92	0,89	0,83
S14	1,00	0,90	0,95	0,88	0,91	0,95	0,86	0,92	0,95	0,92
S15	0,90	1,00	0,81	0,68	0,72	0,78	0,69	0,79	0,84	0,86
S16	0,95	0,81	1,00	0,96	0,97	0,99	0,94	0,95	0,94	0,86
S17	0,88	0,68	0,96	1,00	0,99	0,97	0,95	0,93	0,89	0,79
S18	0,91	0,72	0,97	0,99	1,00	0,98	0,94	0,93	0,91	0,81
S19	0,95	0,78	0,99	0,97	0,98	1,00	0,96	0,96	0,94	0,85
S20	0,86	0,69	0,94	0,95	0,94	0,96	1,00	0,93	0,86	0,73
S21	0,92	0,79	0,95	0,93	0,93	0,96	0,93	1,00	0,96	0,89
S22	0,95	0,84	0,94	0,89	0,91	0,94	0,86	0,96	1,00	0,96
S23	0,92	0,86	0,86	0,79	0,81	0,85	0,73	0,89	0,96	1,00
S24	0,82	0,90	0,68	0,53	0,58	0,67	0,49	0,66	0,77	0,85
S25	0,91	0,94	0,82	0,70	0,73	0,79	0,67	0,81	0,88	0,94
S26	0,93	0,77	0,94	0,89	0,91	0,94	0,85	0,95	0,96	0,93
S27	0,68	0,44	0,83	0,90	0,87	0,82	0,87	0,83	0,71	0,58
S28	0,85	0,84	0,73	0,61	0,67	0,73	0,57	0,69	0,79	0,84

Таблица 3.9 Информативность главных компонентов в факторной модели

Значен.	Собст.значения (Route_32_Час) Выделение: Главные компоненты			
	Собств. Знач.	% общей дисперс.	Кумулятивн. Собств. Знач.	Кумулятивн. %
1	20,81036	74,32273	20,81036	74,32273
2	5,32469	19,01674	26,13505	93,33947

Таким образом, проведенный анализ позволяет сделать вывод о возможности использования модели генерации множества пассажиропотоков по модели факторного планирования.

3.2.4. Анализ пятнадцатиминутного временного ряда пассажиропотоков

Для более точного моделирования изучался пятнадцатиминутный временной ряд пассажиропотоков. Для этих рядов получается более интересный статистически значимый результат. Практически все пассажиропотоки имеют значительные величины внутрисуточных неравномерностей (Рисунок 3.14 и Рисунок 3.15).



Рисунок 3.14 Пятнадцатиминутный временной ряд пассажиропотока маршрута № 32 на остановочном пункте № 19

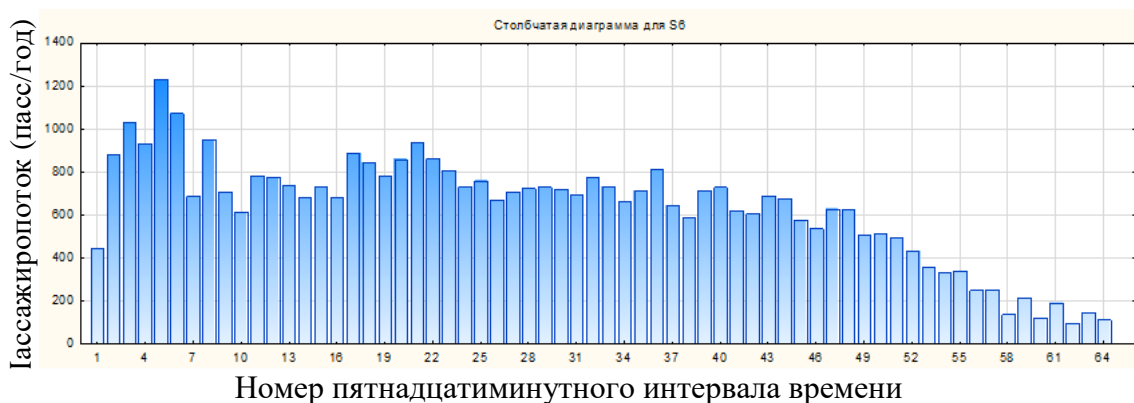


Рисунок 3.15 Пятнадцатиминутный временной ряд пассажиропотока маршрута № 32 на остановочном пункте № 6

Значения автокорреляционной функции, в отличие от почасового ряда, уже принимают значения порядка 0,9 со сдвигом на один лаг, и статистически значимы со сдвигом до восьми лагов (Рисунок 3.16). Кросскорреляционный анализ также показывает наличие сильных взаимосвязей (Рисунок 3.17).

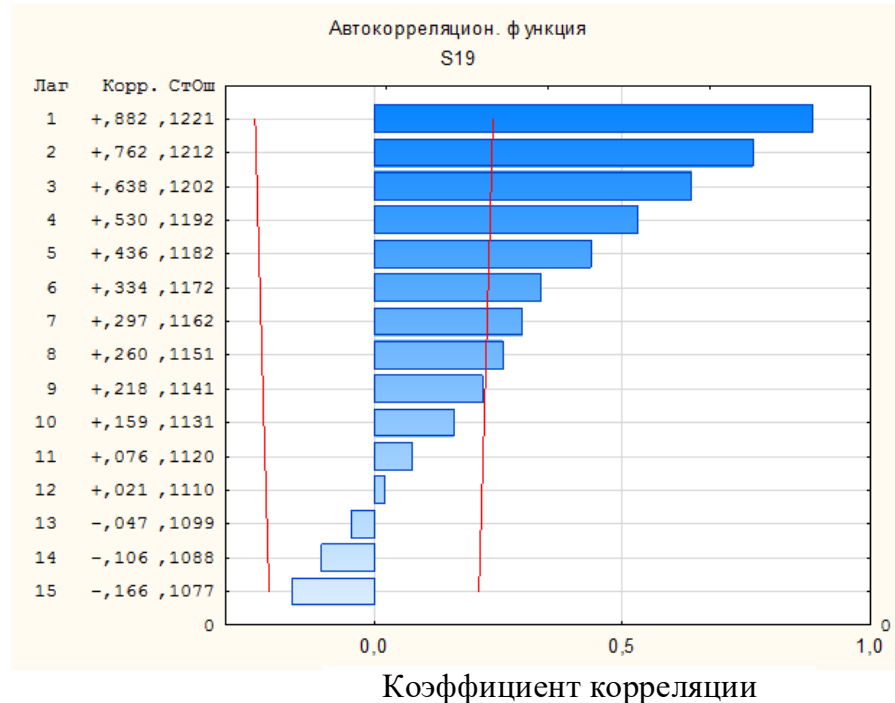


Рисунок 3.16 Автокорреляционная функция пятнадцатиминутного пассажиропотока маршрута № 32

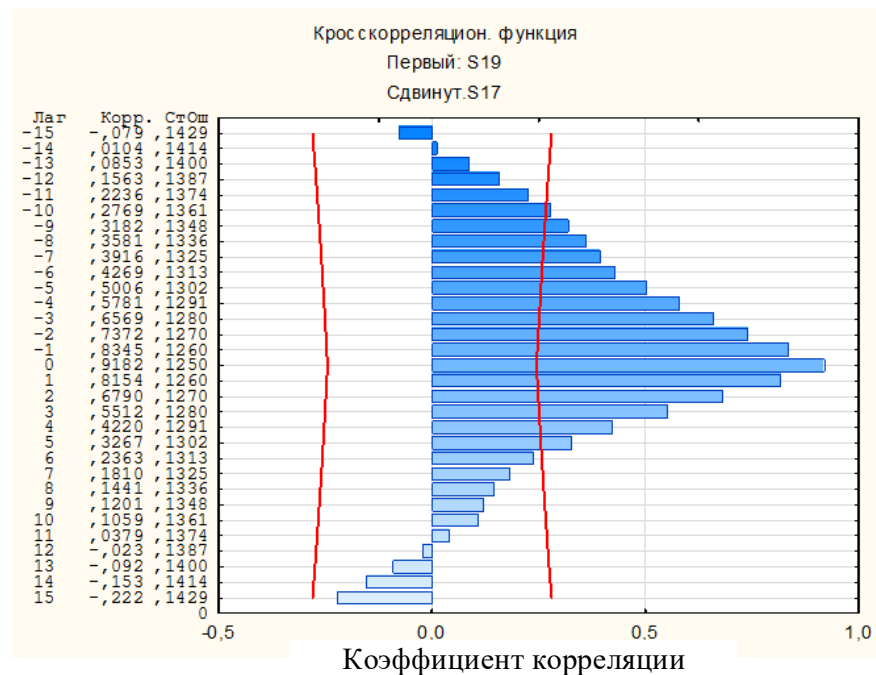


Рисунок 3.17 Кросскорреляционная функция пятнадцатиминутных пассажиропотоков маршрута № 32 на остановках № 19 и № 17

Обычный корреляционный анализ показал наличие сильных корреляций практически для всех пассажиропотоков на всех остановочных пунктах (Таблица 3.10).

Таблица 3.10 Таблица корреляций пятнадцатиминутных пассажиропотоков

Переменная	Корреляции (Route_32_M15)															
	Отмеченные корреляции значимы на уровне $p < 0,05000$ N=64 (Построчное удаление ПД)															
	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24	S25
S1	0,74	0,86	0,74	0,77	0,74	0,81	0,66	0,56	0,57	0,64	0,61	0,63	0,70	0,69	0,70	0,73
S2	0,61	0,79	0,82	0,73	0,74	0,73	0,67	0,56	0,57	0,67	0,61	0,78	0,77	0,74	0,72	0,77
S3	0,58	0,77	0,91	0,85	0,88	0,81	0,80	0,70	0,73	0,82	0,75	0,89	0,87	0,84	0,74	0,84
S4	0,91	0,94	0,58	0,60	0,63	0,79	0,43	0,24	0,28	0,41	0,30	0,47	0,54	0,64	0,82	0,76
S5	0,92	0,91	0,44	0,46	0,46	0,70	0,26	0,07	0,09	0,21	0,13	0,27	0,35	0,48	0,68	0,59
S6	0,86	0,89	0,63	0,61	0,63	0,79	0,46	0,31	0,36	0,45	0,37	0,49	0,60	0,70	0,74	0,75
S7	0,91	0,92	0,63	0,64	0,67	0,81	0,47	0,28	0,33	0,45	0,35	0,47	0,59	0,70	0,81	0,78
S8	0,94	0,90	0,42	0,45	0,52	0,74	0,29	0,08	0,11	0,24	0,10	0,25	0,38	0,53	0,77	0,67
S9	0,97	0,90	0,37	0,45	0,48	0,73	0,25	0,04	0,08	0,22	0,09	0,23	0,34	0,49	0,77	0,64
S10	1,00	0,90	0,39	0,48	0,52	0,75	0,27	0,08	0,13	0,26	0,15	0,25	0,37	0,51	0,77	0,64
S11	0,90	1,00	0,66	0,67	0,67	0,86	0,52	0,34	0,35	0,47	0,38	0,50	0,58	0,66	0,81	0,76
S12	0,39	0,66	1,00	0,89	0,86	0,74	0,85	0,80	0,79	0,87	0,83	0,92	0,90	0,85	0,61	0,77
S13	0,48	0,67	0,89	1,00	0,84	0,77	0,80	0,73	0,73	0,83	0,82	0,82	0,78	0,70	0,58	0,70
S14	0,52	0,67	0,86	0,84	1,00	0,83	0,88	0,78	0,82	0,88	0,78	0,82	0,87	0,84	0,70	0,79
S15	0,75	0,86	0,74	0,77	0,83	1,00	0,74	0,56	0,60	0,67	0,56	0,66	0,73	0,73	0,76	0,81
S16	0,27	0,52	0,85	0,80	0,88	0,74	1,00	0,92	0,91	0,92	0,84	0,85	0,86	0,75	0,53	0,68
S17	0,08	0,34	0,80	0,73	0,78	0,56	0,92	1,00	0,95	0,92	0,88	0,84	0,83	0,68	0,39	0,54
S18	0,13	0,35	0,79	0,73	0,82	0,60	0,91	0,95	1,00	0,95	0,89	0,83	0,85	0,71	0,44	0,59
S19	0,26	0,47	0,87	0,83	0,88	0,67	0,92	0,92	0,95	1,00	0,92	0,89	0,89	0,78	0,55	0,67
S20	0,15	0,38	0,83	0,82	0,78	0,56	0,84	0,88	0,89	0,92	1,00	0,84	0,79	0,64	0,36	0,55
S21	0,25	0,50	0,92	0,82	0,82	0,66	0,85	0,84	0,83	0,89	0,84	1,00	0,92	0,80	0,56	0,71
S22	0,37	0,58	0,90	0,78	0,87	0,73	0,86	0,83	0,85	0,89	0,79	0,92	1,00	0,92	0,70	0,81
S23	0,51	0,66	0,85	0,70	0,84	0,73	0,75	0,68	0,71	0,78	0,64	0,80	0,92	1,00	0,79	0,86
S24	0,77	0,81	0,61	0,58	0,70	0,76	0,53	0,39	0,44	0,55	0,36	0,56	0,70	0,79	1,00	0,89
S25	0,64	0,76	0,77	0,70	0,79	0,81	0,68	0,54	0,59	0,67	0,55	0,71	0,81	0,86	0,89	1,00
S26	0,27	0,48	0,85	0,70	0,84	0,65	0,84	0,80	0,84	0,88	0,78	0,88	0,90	0,87	0,64	0,78
S27	-0,22	0,06	0,64	0,51	0,55	0,28	0,73	0,82	0,81	0,75	0,80	0,70	0,61	0,46	0,10	0,34
S28	0,65	0,67	0,59	0,52	0,70	0,67	0,55	0,45	0,52	0,60	0,44	0,57	0,68	0,73	0,89	0,83

Проведенный в работе факторный анализ показал наличие двух главных компонентов, которые на 87% объясняют общую картину по всем пассажиропотокам на всех остановочных пунктах (Рисунок 3.18, Таблица 3.11).

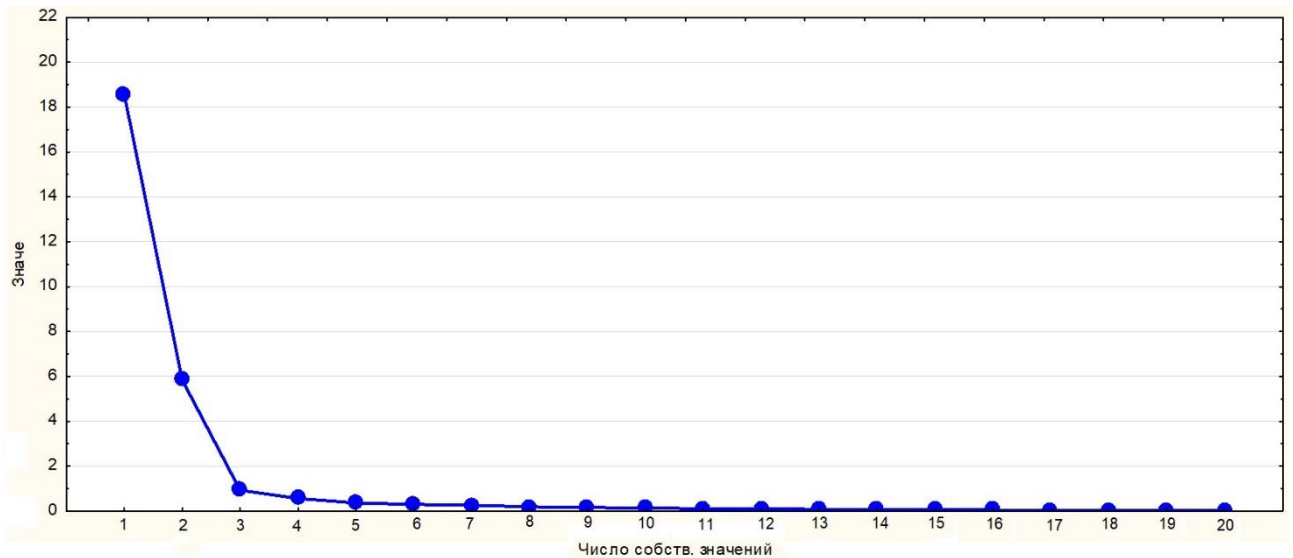


Рисунок 3.18 График информативности главных компонентов пятнадцатиминутных пассажиропотоков

Таблица 3.11 Таблица информативности главных компонентов пятнадцатиминутных пассажиропотоков

Значен.	Собст.значения (Route_32_M15) Выделение: Главные компоненты			
	Собств. Знач.	% общей дисперс.	Кумулятивн. Собств. Знач.	Кумулятивн. %
1	18,57502	66,33936	18,57502	66,33936
2	5,83858	20,85208	24,41360	87,19144
3	0,92563	3,30583	25,33924	90,49728
4	0,56078	2,00280	25,90002	92,50008
5	0,35783	1,27795	26,25785	93,77803
6	0,29646	1,05877	26,55431	94,83680
7	0,25953	0,92690	26,81384	95,76370
8	0,18851	0,67324	27,00234	96,43694
9	0,16085	0,57447	27,16319	97,01141
10	0,13028	0,46529	27,29348	97,47670

В связи с этим для данного ряда также целесообразно применять факторную модель генерации многомерного временного ряда.

3.3. Разработка имитационной модели обслуживания маршрута

Как отмечалось выше, для моделирования маршрутной сети города в диссертации предлагается схема имитационной модели, которая включает:

- обобщенную имитационную модель одного маршрута;
- модели входных пассажиропотоков, которые основаны на проведенном статистическом анализе;
- модель выходных пассажиропотоков, основанная на формальном представлении корреспонденций;
- модели расчета маршрута каждого пассажира в маршрутной сети города.

3.3.1. Имитационная модель одиночного маршрута

Имитационная модель одиночного маршрута по составляющим достаточно близка по структуре к модели маршрутной сети. Она также имеет компоненты входного и выходного потока (Рисунок 3.19).

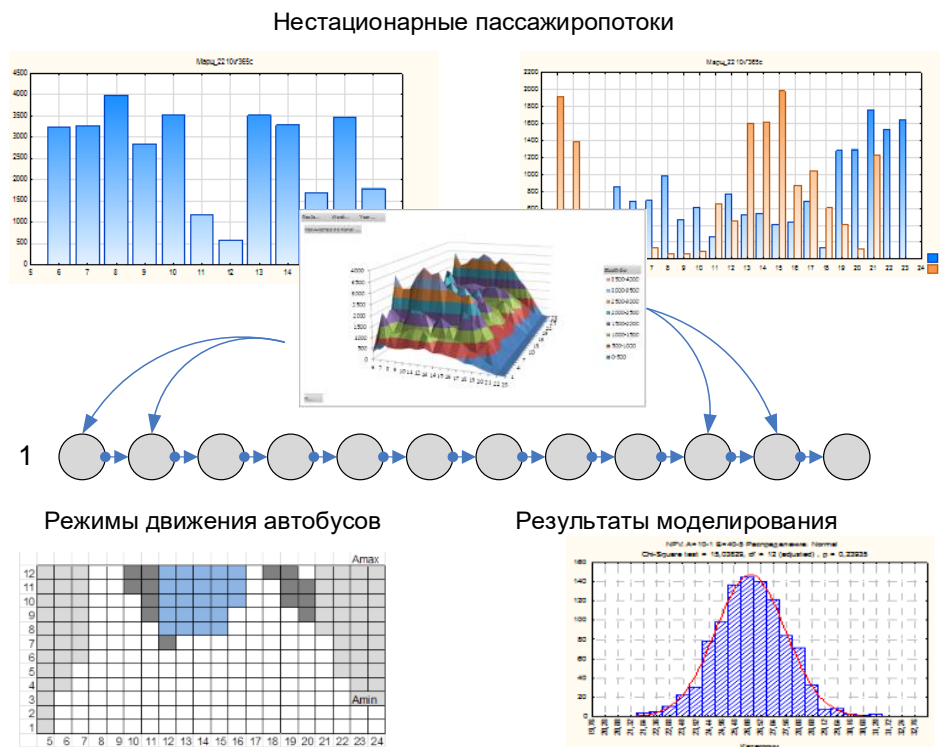


Рисунок 3.19 Составляющие модели одиночного маршрута

Сбор данных для модели рекомендуется осуществлять на каждом цикле, для полноты эксперимента собирать все возможные данные [98, 116].

Разработке имитационной модели посвящены ряд статей совместно с И.Д. Ерошок [92, 98].

3.3.2. Модели генерации нестационарных взаимосвязанных пассажиропотоков

Общий интерес к нестационарным потокам (Рисунок 3.20 – 3.21) в логистике объясняется природой поступления заявок, связанной с суточной, недельной, месячной и годовой сезонностью [38].

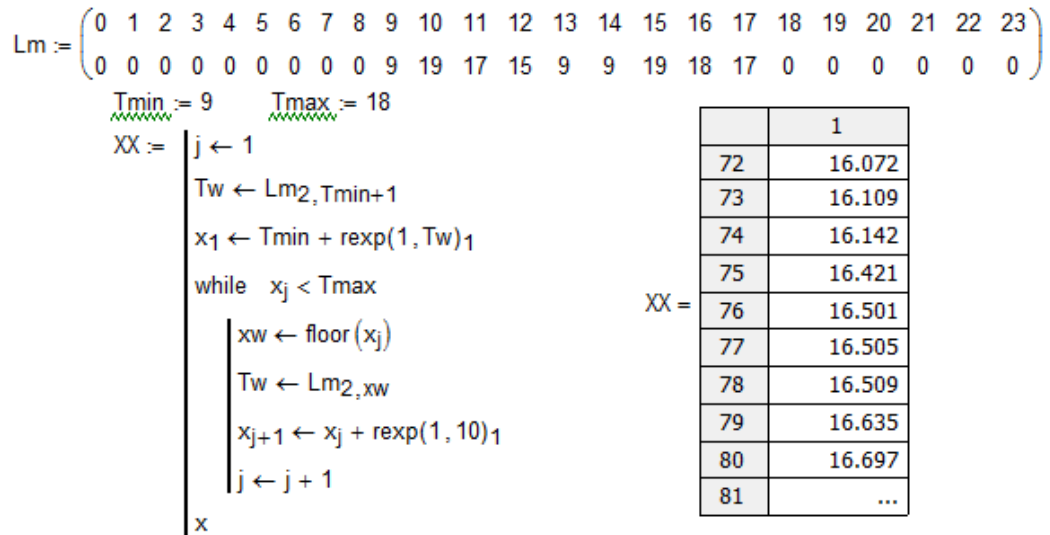


Рисунок 3.20 Компонента генерации нестационарного потока

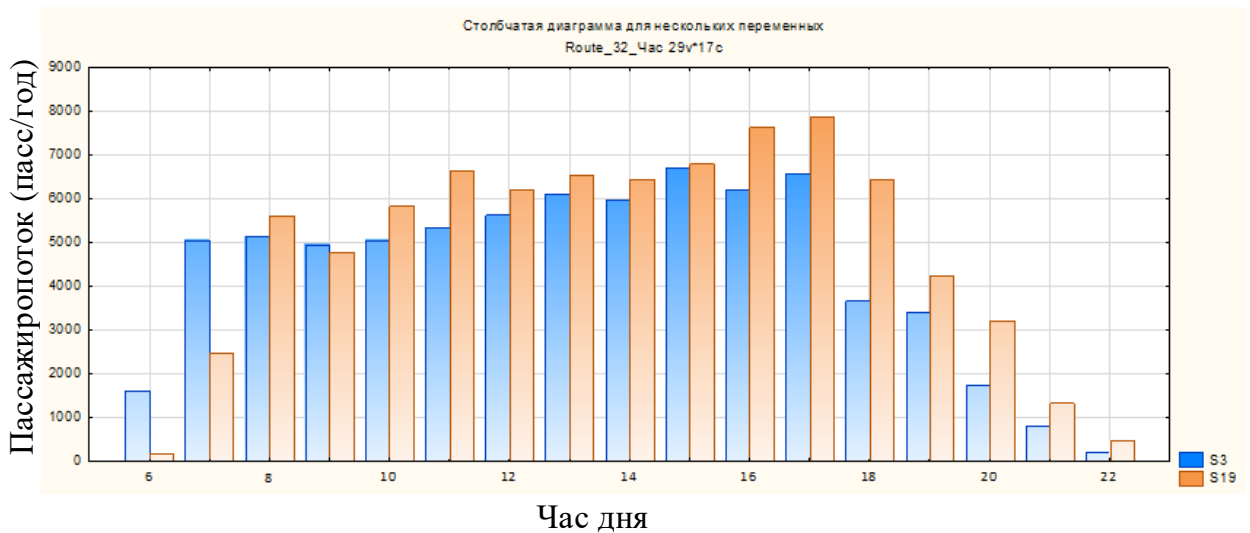


Рисунок 3.21 Гистограмма нестационарного входного потока

Возможно использование аддитивной функции преобразования стационарного процесса $\xi(t)$ и заданной функциональной зависимости $m(t)$, т. е. $\eta(t) = a(t)\xi(t) + m(t)$. Функции $a(t)$ и $m(t)$ позволяют получить целый набор процессов

(Рисунок 3.22), например тех, модели которых имеют место в пакете Statistica (Рисунок 3.23) [98, 116].

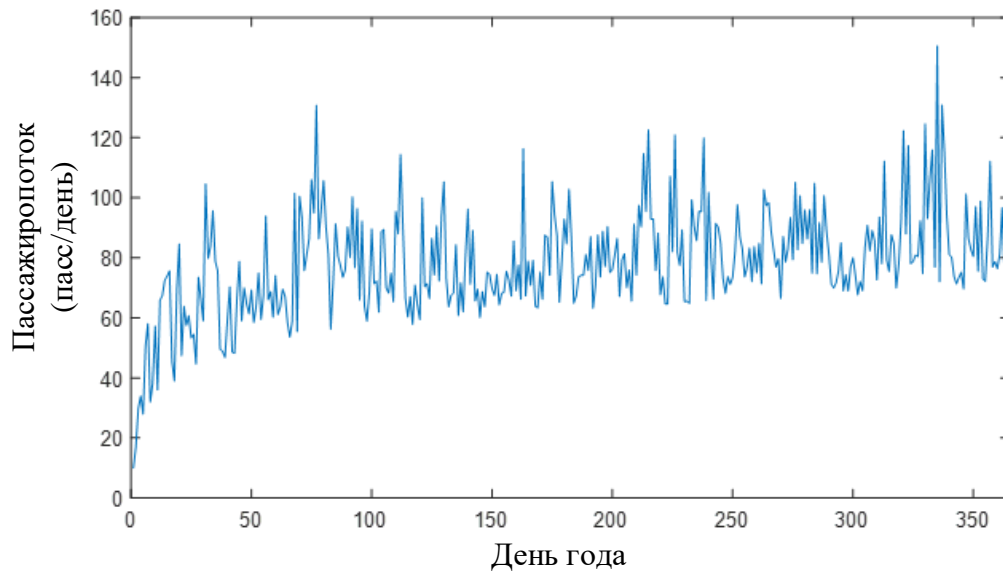


Рисунок 3.22 Случайный процесс, нестационарный по среднему

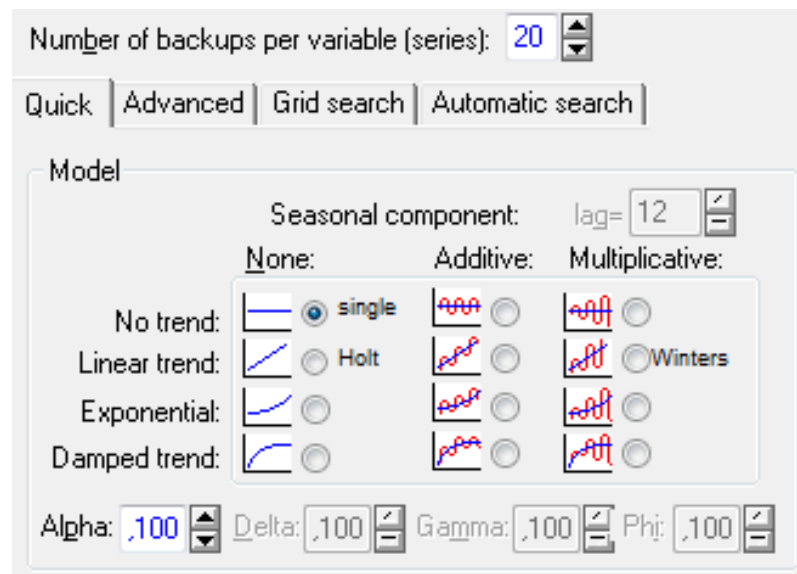


Рисунок 3.23 Модели нестационарных процессов в пакете Statistica

Однако базовой моделью генерации случайного процесса является стационарная модель с заданной автокорреляционной функцией. Если автокорреляция достаточно слабая, т.е. процесс слабовисимый, то его прогноз будет достаточно грубым. Для сильнозависимых процессов с большими значениями автокорреляции прогнозные модели могут быть достаточно точными и адекватными.

Так, для реализуемости построения модели случайного процесса необходимо ввести ограничения на область определения автокорреляции, т.е. когда за пределами интервала корреляция практически отсутствует (рисунок 3.24).

Предположим, что рассматривается последовательность длиной N , тогда для значений $m=1,2,\dots$ справедливо соотношение для $R(m) = M(x_i, x_{i+m}) = \frac{R(0)}{N-m} \sum_{i=1}^{N-m} x_i x_{i+m}$.

Это определение приводит к поиску решения $R(m) = M(x_i, x_{i+m})$ для $m=1,2,\dots,n-1$ относительно x_i ($\{x_i\}$ – решение системы). В данной ситуации формируется последовательность случайных величин η_i $i=1,2,\dots$, причем независимых, одинаково распределенных и с нулевым математическим ожиданием. Эта

начальная последовательность преобразуется в $\xi_i = \sum_{j=1}^n x_j \eta_{i+j}$ $j=1,2,\dots$. Выполним

расчет характеристик полученной последовательности. При значениях $M\eta_i=0$ для

$M\xi_i$ также справедливо $M\xi_i = M \sum_{i=1}^n x_i \eta_{i+j} = M\eta \sum_{i=1}^n x_i = 0$, в то время как для $M\xi_i^2$

выполняется $M\xi_j^2 = M \left[\sum_{i=1}^n x_i \eta_{i+j} \right]^2 = R(0)M\eta$. Поэтому для значений $M\xi_j \xi_{j+l}$ получаем

[98]:

$$M\xi_j \xi_{j+l} = M \left[\sum_{i=1}^n x_i \eta_{i+j} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \eta_{i+j+l} \right] = \sum_{i=1}^n \sum_{i=1}^n x_i x_k M(\eta_{i+j} \cdot \eta_{i+j+l}), \quad (3.6)$$

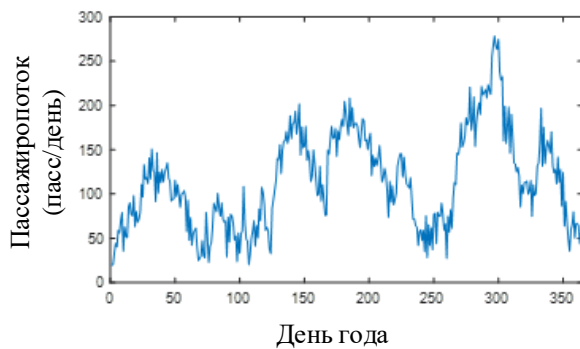
где $M(\eta_{i+j} \cdot \eta_{i+j+l}) = \begin{cases} 0, & i \neq k+l \\ M\eta^2, & i = k+l \end{cases}$. Но, поскольку для значений $l \geq 1$ это возможно

только при $k < l$, и $k = i - l$, т.е. $M\xi_j \xi_{j+l} = M\eta^2 \sum_{i=1}^n \sum_{i=1}^n x_i x_k$, то на основании замены

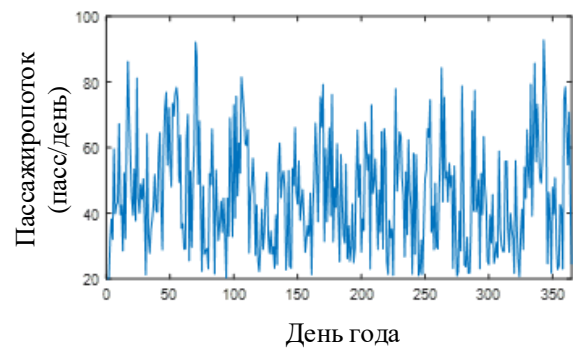
переменных суммирования получаем, что $M\xi_j \xi_{j+l} = M\eta^2 \sum_{i=1}^n \sum_{i=1}^n x_i x_k = M\eta^2 R(l)$, т.е.

ковариационная функция $R(m)$ временного ряда ξ имеет заданную по условиям формирования случайного временного ряда, а для решения системы

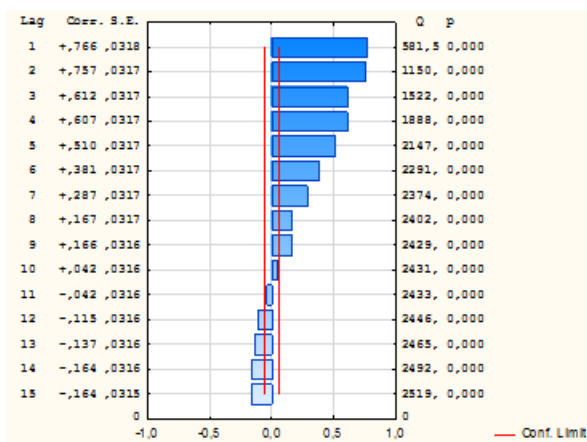
алгебраических уравнений предлагается использовать итерационную процедуру Зейделя.



а)

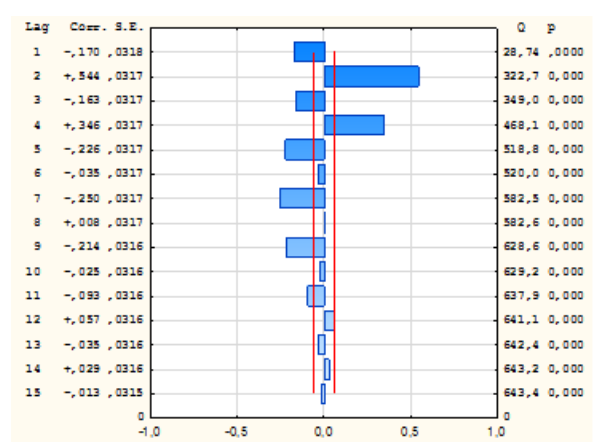


б)



Коэффициент корреляции

в)



Коэффициент корреляции

г)

Рисунок 3.24 Генерация временного ряда с заданными автокорреляциями

Таким образом, получены основные соотношения для компоненты генерации случайных пассажиропотоков, которые будут использоваться при оценке эффективности адаптивных алгоритмов управления перевозками.

3.3.3. Модели формирования матрицы межстаночных пассажирских корреспонденций

Одной из основных задач параметризации модели маршрутной сети является матрица межстаночных корреспонденций (ММК), которая за сутки показывает

пассажиропотоки между всеми ОП – $A=||a_{ij}||$, $i=1..m$, $j=1..m$, где a_{ij} – количество передвижений из i -го в j -ый ОП [124, 141, 154].

При проектировании маршрутной сети (МС) необходима информация о:

- маршрутных пассажиропотоках имеющейся МС;
- пропускной способности участков и узлов транспортной сети;
- интенсивности движения на самых загруженных узлах транспортной сети;
- показателях эксплуатационных расходов и стоимости по маркам ПС и т.д.

Сбор данных для ММК обычно проводится путем исследования мнения пассажиров или с помощью математического моделирования [116].

Моделирование пассажирских корреспонденций (рисунок 3.25) получило широкое распространение при разработке документов транспортного и жилищного планирования. Наиболее часто используется «гравитационные» или «энтропийные» модели [116, 124, 125, 127, 145, 182].

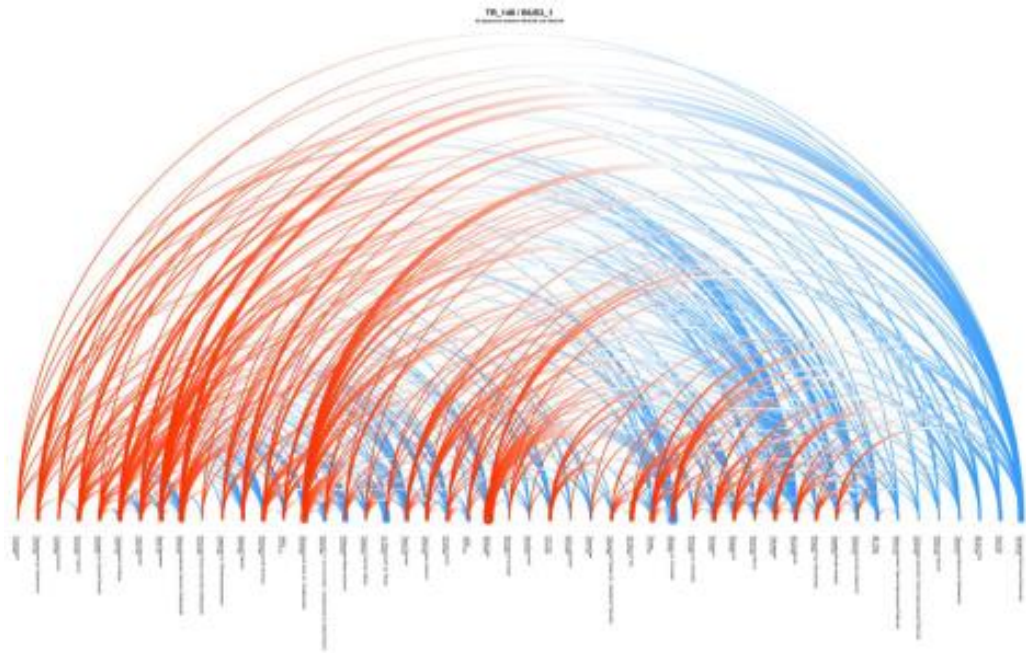


Рисунок 3.25 Моделирование межстаночных корреспонденций

Гравитационная модель может калиброваться только на основании физических корреспонденций некоторого конкретного региона. Модель максимизации энтропии в данном случае может быть получена при решении системы оптимизационной задачи [43, 116, 124, 182]:

$$-\sum_{i,j}^m x_{ij} \ln x_{ij} \rightarrow \max, \quad (3.7)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = A_i, \quad i=1..n, \quad (3.8)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = B_j, \quad j=1..m, \quad (3.9)$$

$$\frac{1}{P} \sum_{i,j} x_{ij} \cdot t_{ij} = t_{cp}, \quad (3.10)$$

$$P = \sum_i A_i = \sum_j B_j, \quad (3.11)$$

где x – корреспонденции между истоками $i=1..n$ и стоками $j=1..m$, при затратах времени t .

Ограничения на A и B в данной модели являются условиями баланса корреспонденций.

Поиск x_{ij} возможно осуществить на основании максимума функции [116]:

$$L = -\sum_{i,j} x_{ij} \ln x_{ij} + \sum_j \beta_j \left(\sum_i x_{ij} - B_j \right) + \sum_i \alpha_i \left(\sum_j x_{ij} - A_i \right) + \gamma \left(\frac{1}{P} \sum_{i,j} x_{ij} t_{ij} - t \right),$$

где α_i , β_j и γ – это неопределенные множители Лагранжа, а для всех частных производных L по x справедливо равенство $\frac{\partial L}{\partial x_{ij}} = \ln x_{ij} - 1 + \beta_j + \alpha_i + \frac{\gamma}{P} t_{ij}$ или

$$x_{ij} = \exp(1 - \alpha_i) \exp(-\beta_j) \exp\left(\frac{\gamma}{P} t_{ij}\right).$$

При условии, что $\lambda_i = \exp(1 - \alpha_i)$, $\mu_j = \exp(-\beta_j)$, $\nu = \frac{\gamma}{P}$ результирующая система примет вид [116]:

$$\sum_j \mu_j \exp(-\nu t_{ij}) = \frac{A_i}{\lambda_i}, \quad i=1..n, \quad (3.12)$$

$$\sum_i \lambda_i \exp(-\nu t_{ij}) = \frac{B_j}{\mu_j}, \quad j=1..m, \quad (3.13)$$

$$\sum_{i,j} \lambda_i \mu_j t_{ij} \exp(-vt_{ij}) = P \cdot t, \quad (3.14)$$

$$x_{ij} = \lambda_i \mu_j \exp(-vt_{ij}). \quad (3.15)$$

В рамках расширения модели генерации транспортной сети предусмотрена параметризация полюсов для формирования стоков и истоков сети, которая образуется на основе нормированной комбинации двумерных нормальных распределений [116]:

$$f(x_1, x_2) = \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2\sqrt{1-\rho^2}} \times \\ \times \exp \left\{ -\frac{1}{2(1-\rho^2)} \times \left[\frac{(x_1 - m_1)^2}{\sigma_1^2} - 2\rho \frac{(x_1 - m_1)(x_2 - m_2)}{\sigma_1\sigma_2} + \frac{(x_2 - m_2)^2}{\sigma_2^2} \right] \right\}.$$

Предлагаемый алгоритм генерации топологии разработан для параметризации имитационной модели транспортно-логистической системы, что, в свою очередь, дает возможность говорить об эффективности механизмов управления для различных топологических схем.

На основании поручения Администрации города Красноярск студентами Сибирского федерального университета было проведено изучение пассажирских корреспонденций города Красноярск. Целью изучения пассажирских корреспонденций являлось выявление передвижения пассажиров с различных районов и микрорайонов города Красноярск. Изучение корреспонденций проводилось методом анкетирования пассажиров на 156 остановочных пунктах различных районов города в рабочие дни.

За весь период обследования было опрошено 18799 пассажиров, что составило 80% от планового количества (23400 пассажиров). Снижение фактического количества опрошенных пассажиров относительно планового связано с низким пассажирооборотом некоторых остановочных пунктов, что привело к невозможности осуществить опрос нормативного количества пассажиров за установленные периоды обследования.

По результатам обработки данных (Рисунок 3.26 и Рисунок 3.27) представлены диаграммы распределения пассажирских корреспонденций

с группировкой изучаемых остановочных пунктов на левый и правый берег города Красноярска.

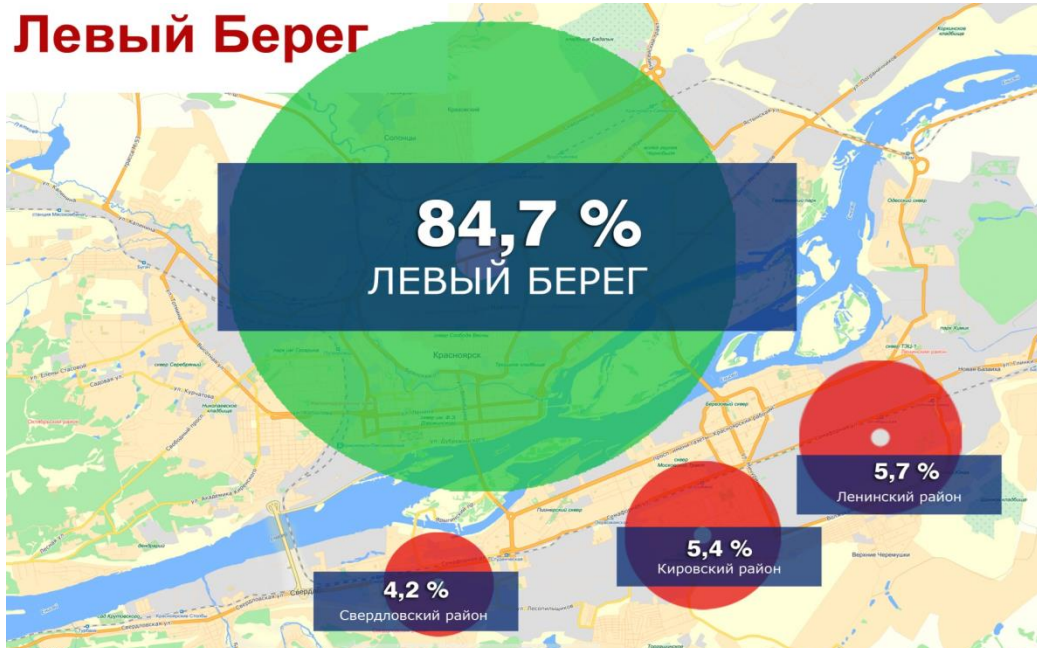


Рисунок 3.26 Корреспонденции левого берега города Красноярска

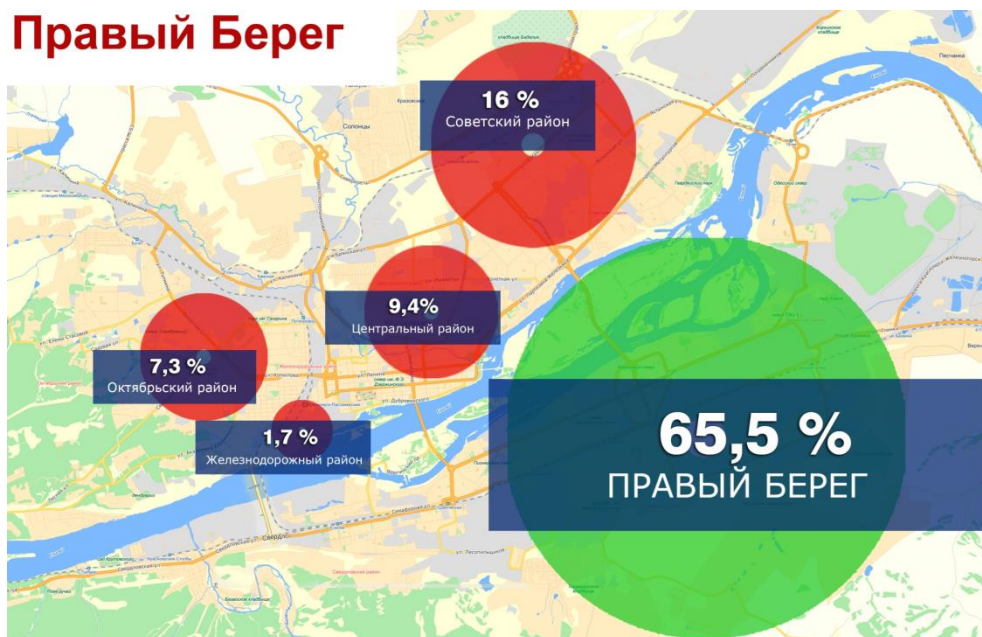


Рисунок 3.27 Корреспонденции правого берега города Красноярска

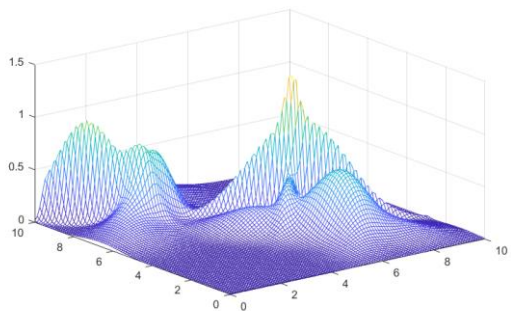
Из полученных данных видно, что доминирующее количество пассажиров осуществляют свое сообщение внутри берега отправления. Так, по данным пассажирских корреспонденций левого берега 84,7 % пассажиров (9328 поездок

из 11019 общего количества) осуществляют свое сообщение по левому берегу, 15,3 % – на правый берег (1691 поездок из 11019 общего количества). По данным пассажирских корреспонденций правого берега 65,5 % (5096 поездок из 7780 общего количества) осуществляют свое сообщение по правому берегу, 34,5 % – на левый берег (2684 поездок из 7780 общего количества).

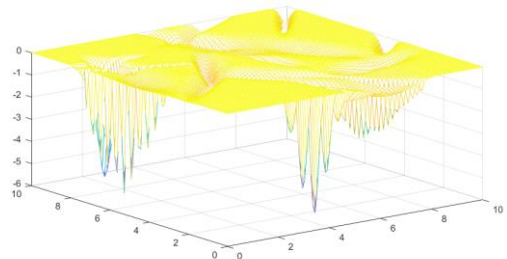
Таким образом, можно сделать достаточно простой вывод: с большей вероятностью пассажир из некоторого заданного пункта перемещается на меньшее расстояние.

3.3.4. Модели расчета вероятностей конечной остановки

В общем случае модели стоков и истоков в работе предлагается аппроксимировать взвешенной смесью нормальных распределений (Рисунок 3.28).



а) истоки



б) стоки

Рисунок 3.28 Формирование корреспонденций

Если рассматривать только распределения с невыраженной ковариационной матрицей, то эквивалентным будет также следующее определение.

Существует вектор $\mathbf{m} \in \mathbb{R}^n$ и неотрицательно определённая симметричная матрица \mathbf{D} размерности $n \times n$, такие что плотность вероятности вектора \mathbf{X} имеет вид $\mathbf{X} \sim \mathbf{N}(\mathbf{m}, \mathbf{D})$:

$$f(\mathbf{X}) = \frac{1}{(2\pi)^{n/2} |\mathbf{D}|^{1/2}} \times \exp \left\{ -\frac{1}{2} (\mathbf{X} - \mathbf{m})^T \mathbf{D}^{-1} (\mathbf{X} - \mathbf{m}) \right\}. \quad (3.16)$$

где \mathbf{m} – представляет вектор средних географических локаций;

D – ковариационная матрица.

Истоки формируются с учетом статистики валидаций и определяют входные пассажиропотоки (Рисунок 3.29), которые моделируются на основе предложенного алгоритма.

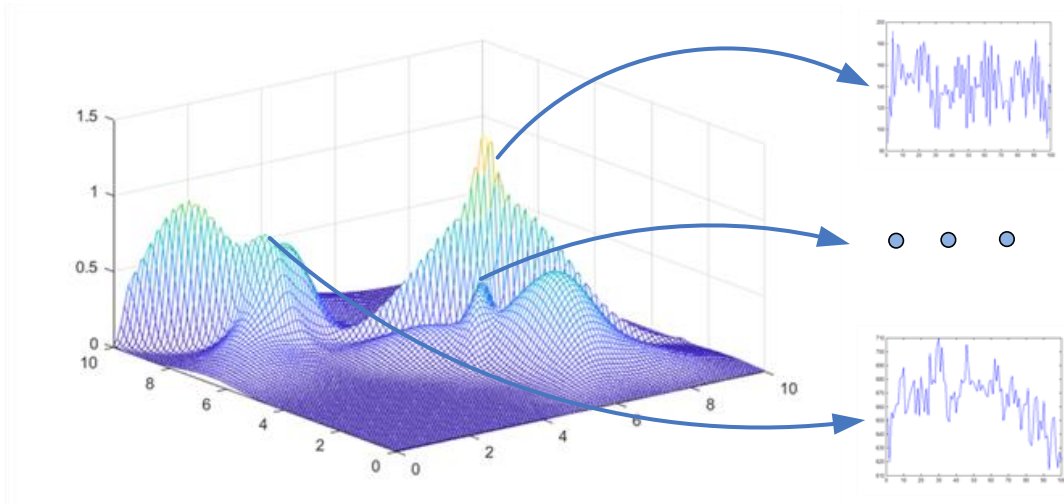


Рисунок 3.29 Генерация входных пассажиропотоков

Стоки формируются на основе анализа инфраструктуры города, с учетом крупных промышленных предприятий, мест общественного отдыха, крупных торговых центров и т.д (Рисунок 3.30). На основе этого аналогично истокам рассчитывается вероятность выхода на соответствующем остановочном пункте.

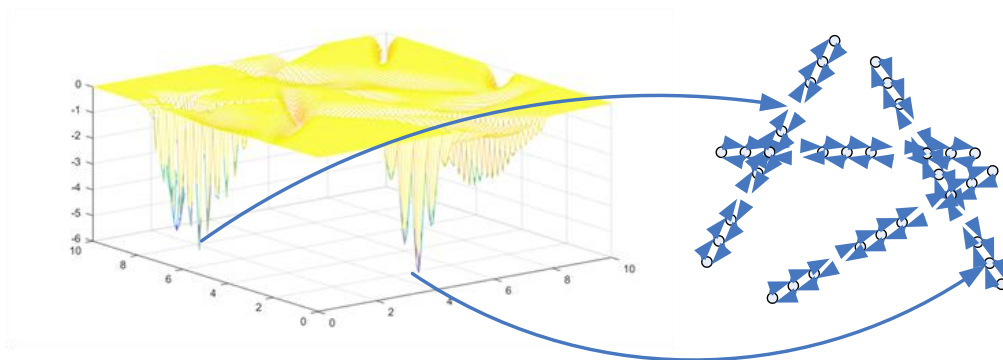


Рисунок 3.30 Формирование выходных пассажиропотоков

Далее необходимо построить функцию [116]:

$$F(\mathbf{X}) = \sum_{i=1}^n a_i f_i(\mathbf{X}), \quad (3.17)$$

где a_i – весовой коэффициент i -го стока.

Предполагается, что эта функция носит непрерывный характер.

Для реализации механизмов расчета вероятностей конечной остановки j маршрутной сети рассматриваются дискретные множества точек, соответствующие координатам остановочных пунктов. Для каждого остановочного пункта вероятность того, что он будет конечной остановкой, равна:

$$P(\mathbf{X}_j) = \frac{F(\mathbf{X}_j)}{\sum_{j=1}^n F(\mathbf{X}_j)}. \quad (3.18)$$

Кроме того, используя результаты обследования можно предположить, что выбор конечного остановочного пункта выполняется на основе наложения последней функции на эллипс рассеяния, связанный с точкой отправления, т.е. определяется нормальное распределение с большой осью, направленной на центр города $G_i(\mathbf{X})$ (Рисунок 3.31).

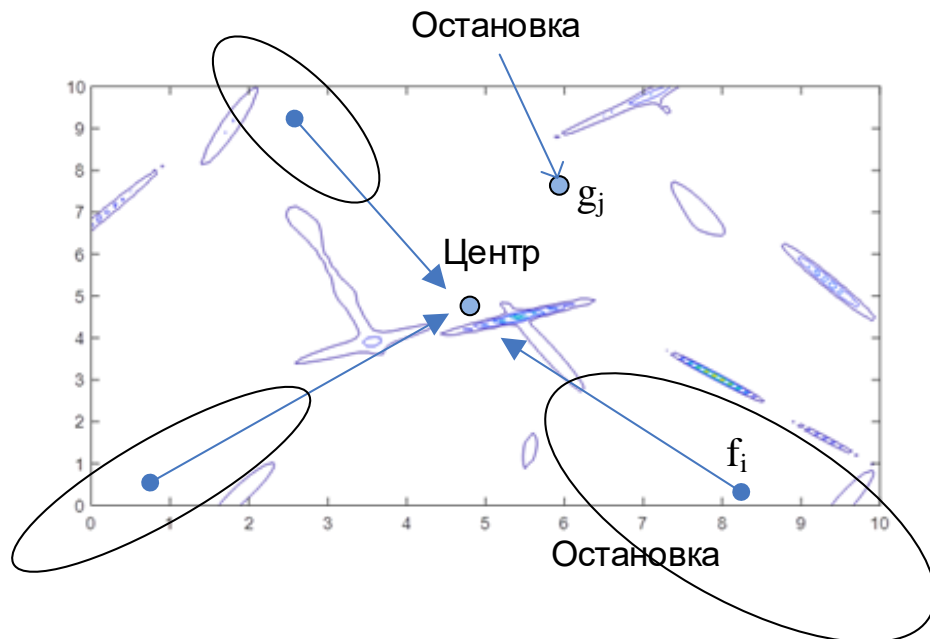


Рисунок 3.31 Перераспределение вероятностей выбора конечного остановочного пункта в зависимости от выбора начального остановочного пункта

Аналогичным образом для возможности использования алгоритма в имитационной модели приведем его к дискретной форме, т.е. вероятность выхода пассажира на остановочном пункте j , который вошел на остановочном пункте i , равна:

$$P_i(\mathbf{X}_j) = \frac{G_i(\mathbf{X}_j)}{\sum_{j=1}^n G_i(\mathbf{X}_j)}. \quad (3.19)$$

Соотношение 3.18 можно рассматривать как безусловную вероятность выхода пассажира на остановочном пункте j . А соотношение 3.19 задает дополнительное условие перераспределения вероятности в зависимости от начального остановочного пункта пассажира.

В связи с этим вероятность выбора конечного остановочного пункта j для пассажира, вошедшего на остановочном пункте i , будет вычисляться на основании соотношения:

$$P_i(\mathbf{X}_j) = \frac{G_i(\mathbf{X}_j) \cdot F(\mathbf{X}_j)}{\sum_{j=1}^n G_i(\mathbf{X}_j) \cdot F(\mathbf{X}_j)}. \quad (3.20)$$

Таким образом, алгоритм учитывает как общие корреспонденции, так и частные вариации, основанные на натурном обследовании и естественном предположении, что любой человек изначально предрасположен искать работу ближе к дому.

Для расширения модели одиночного маршрута требуются небольшие дополнения, такие как включение в модель алгоритма расчета минимального маршрута и дополнение входных потоков на пересадочных пунктах. В остальном все одиночные модели будут работать параллельно и независимо друг от друга.

3.4. Метод оценки необходимого состава парка для обслуживания маршрута

В рамках оценки качества обслуживания возникает вопрос определения отказа в посадке и времени ожидания пассажиров. Тип автобусов определяется, в основном, исходя из наличия такого типа в транспортном хозяйстве города. При решении данной задачи необходимы учет стохастического характера работы

маршрутной сети и получение статистических данных о пассажиропотоках [54, 56, 66, 104].

Выбор типа и количества автобусов определяется множеством факторов, включая [54, 56, 66, 104]:

- экономические (связаны с наличием материально-технической базы для их хранения, ремонта и т.п.);
- социальные (связаны с транспортной подвижностью населения, приведенной оценкой потерь времени на ожидание всех пассажиров и условиями комфортности перевозки и т.п.) [122];
- технические (состояние дорожного полотна и соответствующих сооружений, пропускная способность УДС, допустимые скорости и т.п.);
- эксплуатационные (климатические условия и т.п.);
- нормативные (экологические требования, требования БДД, предельно допустимая заполненность автобуса и т.п.).

Перечисленные факторы являются исходными данными для решения задач оптимизации, причем некоторые из перечисленных факторов могут выступать в качестве критериев, а некоторые – в качестве ограничений [56, 66, 104, 191].

3.4.1. Аналитические модели оценки времени ожидания пассажиров и затрат АТП на содержание маршрута

В ряде работ рассматриваются вопросы построения оценки времени ожидания и показано, что для вероятности отказа достаточно адекватным может быть соотношение [104]:

$$P_{отkj} = \sum_{\mu=0}^{\omega} ((T_{об} \lambda_j A^{-1})^{\mu} / \mu!) e^{- (T_{об} \lambda_j A^{-1})}, \quad (3.21)$$

где λ_j – интенсивность пассажиропотока на j -ом перегоне;

A – количество автобусов, ед.;

μ – параметр распределения Пуассона;

$T_{об}$ – время обратного рейса, ч.

Для среднего времени ожидания также имеют место соотношения [18, 133] в зависимости от расчетного интервала I и его СКО σ_j , как характеристики регулярности транспортного обслуживания:

$$\bar{T}_{ожj} = I / 2 + \sigma_j^2 / (2I) + P_{отkj} I . \quad (3.22)$$

Затраты АТП являются компромиссным показателем, и, естественно, чем меньше затраты, тем больше потерь времени пассажиров на ожидание. Так, ежедневные расходы АТП на поддержание работы по маршруту предлагается оценивать на основании экономически обоснованного соотношения [100, 104]:

$$Z_{АТП} = 0,15A_n(K_a + \varepsilon K_{мтб}) / (365\alpha) + ПA_n K_в t_m + C_{пост} A_n / (365\alpha) + \Phi , \quad (3.23)$$

где A_n – число автобусов на маршруте в часы пик;

α – коэффициент выпуска автобусов;

t_m – продолжительность работы автобусов на маршруте;

$K_в$ – число водителей на один автобус;

$П$ – зарплата водителя;

K_a – затраты на покупку автобуса вместимости a ;

$K_{мтб}$ – приведенные затраты на содержание одного автобуса;

$C_{пост}$ – постоянные затраты на содержание автобуса вместимости a , на один автобусо-день;

ε – коэффициент, который зависит от АТП и дифференцирует капиталовложения $K_{мтб}$.

$\Phi = \sum_{i=1}^l C_{пер} V_{эi} A_i t_i$ определяется на основании разбиения всего времени на интервалы относительного постоянства (их l единиц) продолжительностью t_i . Считается, что количество автобусов на интервалах различно и равно A_i ; различается и скорость V_i . $C_{пер}$ представляет величину переменных расходов на один автобусо-километр.

Параметры модели $П$, $C_{пост}$, $C_{пер}$, K_a , $K_{мтб}$ зависят от типа автобусов. Эти зависимости могут быть найдены на основании построения моделей регрессионного анализа по статистическим данным АТП. Полученные

зависимости, в свою очередь, дают возможность оценки расходов на заданном маршруте с конкретными параметрами.

3.4.2. Упрощенная оптимизационная задача выбора состава парка

В общем случае задача выбора автобусного парка для содержания маршрута является многокритериальной, в которой основные критерии, а именно: время ожидания пассажиров и расходы АТП на содержание автобусного парка – вступают в компромисс. Минимизировать необходимо как общее время ожидания $T_{ож}^{общ}$ всех пассажиров выбранного маршрута, так и расходы АТП (с учетом полученной прибыли) $R_{АТП}^{общ}$ [11, 104, 105]:

$$\begin{cases} T_{ож}^{общ} \rightarrow \min \\ R_{АТП}^{общ} \rightarrow \min \end{cases} \quad (3.24)$$

Одним из подходов к решению такой задачи является формирование обобщенного аддитивного критерия [11, 104, 105]:

$$Kopt = \alpha_T T_{ож}^{общ} + \alpha_R R_{АТП}^{общ}, \quad (3.25)$$

где α_T – коэффициент времени ожидания пассажиров;

α_R – коэффициент расходов АТП.

Значения коэффициентов могут быть получены из некоторых социальных стандартов, однако сам подход к формированию их значений не имеет формальной постановки. Необходимо понять стоимостные потери на ожидание в плане общей народнохозяйственной задачи повышения уровня жизни. При этом многокритериальная задача сводится к скалярной оптимизации [11, 104, 105]:

$$Kopt \rightarrow \min. \quad (3.26)$$

При ее решении нет концептуальных проблем, могут возникнуть лишь технические трудности (если использовать достаточно адекватную имитационную модель).

Для различных значений коэффициентов, зная, что зависимость между $T_{ож}^{общ}$ и $R_{АТП}^{общ}$ носит обратно пропорциональный характер, можно построить эту

обобщенную зависимость функции потерь (в упрощенном варианте имитационного моделирования – как функции от числа автобусов на маршруте).

В итоге задача сводится к поиску вектора Λ^* , удовлетворяющего условию [147]:

$$X^* = \arg \max_{x \in D} W(X, \Lambda^*), \quad (3.27)$$

где W – функционал оптимизации;

X – параметры вариации.

В конечном счете для формирования обобщенного параметра оптимизации в работе предлагается совместно использовать две модели, а именно – имитационную и аналитическую. При этом сам критерий на некотором промежутке времени t_i ($i=1..l$) будет иметь следующий вид [104]:

$$\Phi = \sum_{i=1}^l \left[60t_i C \left(\sum_{j=1}^m T_{ожji} S_{ji} \right) \right] + R_{АТП} \rightarrow \min, \quad (3.28)$$

где S_{ji} определяет объем пассажиропотока;

C – затраты на содержание парка подвижного состава;

$T_{ожji}$ – усредненное время ожидания, а m – общее число остановок, независимо от направления.

Однако эта модель предполагает одновременное использование автобусов лишь одной вместимости. В общем случае необходима оптимизация парка ТС с учетом возможности использования автобусов различной вместимости (из некоторого наперед заданного из других соображений ряда пассажироместимости).

3.4.3. Эвристический алгоритм подбора парка

Для решения данной задачи предлагается использовать эвристический алгоритм, который имеет менее жесткие ограничения [104].

1. Имеется набор вместимостей $\{W_i\}$, $i=1..m$, которые могут иметь автобусы.

2. Минимальное количество автобусов A_{min} может задаваться либо привлечением на маршрут транспортных средств максимальной вместимости, либо допустимым интервалом.

3. Максимальное количество автобусов A_{max} может задаваться на основании имеющегося:

- числа водителей в АТП;
- количества автобусов выбранной вместимости;
- числа автобусов с минимальной вместимостью W_{min} ;
- наименьшей пропускной способностью улиц и остановочных пунктов маршрута Ω_{min} .

4. Качество обслуживания определяется общим количеством пассажиромест во всех автобусов A вместимостью ω из соотношения $W = \sum_{i=1}^m A_i \omega_i$ в заданном интервале времени, причем оно должно быть не меньше среднего объема перевозок на наиболее напряженном участке в том же интервале времени.

Это задача целочисленного программирования, которая формально может быть представлена следующим образом [104]:

$$\begin{aligned} & \{W_i\}, i=1..m, W_i \in [W_{min}, W_{max}], \\ & \{A_i\}, i=1..m, A_i \in [A_{min}, A_{max}], \\ & \sum_{i=1}^m A_i W_i = W^{общ} \geq \max(\lambda_i T_{об}), \end{aligned} \quad (3.29)$$

$$\sum_{i=1}^m A_i \leq \Omega_{min},$$

где A_i – число автобусов с показателем вместимости W_i .

$W^{общ}$ – суммарное число пассажиромест во всех автобусах,

Функция (3.28) является функцией общего вида, причем она не обладает свойствами непрерывности. Ограничения (3.29) при решении задачи оптимизации могут приводить к неоднозначным решениям кортежа $\{A_i\}, i=1..m$. В качестве решения задачи используются методы целочисленного многокритериального поиска с использованием поисковых процедур оптимизации в MatLab.

Процедура содержит следующие этапы.

1. Для всех W_i с учетом ограничений находим A_i .
2. Отдельно решается задача ограничения на пропускную способность Ω_{\min} .
3. $\forall \omega_I$ рассчитывается допустимое A_{imin} и определяется величина целевой функции $\Phi(A_{imin})$.
4. Увеличиваем значение A_{imin} на 1.
5. Рассчитываем целевую функцию $Z(A_{imin}+1)$.
6. Если $Z(A_{imin}+1) \leq Z(A_{imin})$, выполняется возврат к п. 4 с целью итерационного повтора алгоритма для поиска минимума функционала. Иначе выполняется переход к п. 7.
7. Рассматривается один автобус с заданной вместимостью ω_2 и выполняется переход к п. 4.
8. Последовательно повторяются п.4 – 7 пока не определятся оптимальные наборы кортежей $A = \{A_i\}_{i=1..m}$.

3.4.4. Задача выбора в многокритериальной постановке

Решая задачу оптимизации, можно сделать вывод, что каждое решение дает точку множества Парето. Именно из этой области нужно выбирать решение.

Нужное решение зависит от варьирования коэффициентов [105, 147]

$$Kopt = \alpha_T T_{ож}^{общ} + \alpha_R R_{АТП}^{общ} \quad (\text{Рисунок 3.32}).$$

Решение данной задачи может быть найдено методом идеальной точки. Допустим, что $\Omega \subset \mathbf{R}^m$, $y, y' \in \Omega$, $y^*_i = \max y_i$. Тогда $y^* = (y^*_1, y^*_2, \dots, y^*_m)$ будет решением задачи одномерной оптимизации. В предположении замкнутости Ω такая точка существует. Стоит отметить, что $y^*(\Omega) = (y^*_1, y^*_2, \dots, y^*_m)$ часто не относится к множеству Ω . В этом случае $\forall y \in \Omega y^* P y$. Функция выбора тогда имеет вид $C_X(Y) = \arg \min \rho(y, y^*)$, где ρ – некоторая метрика [105, 187].

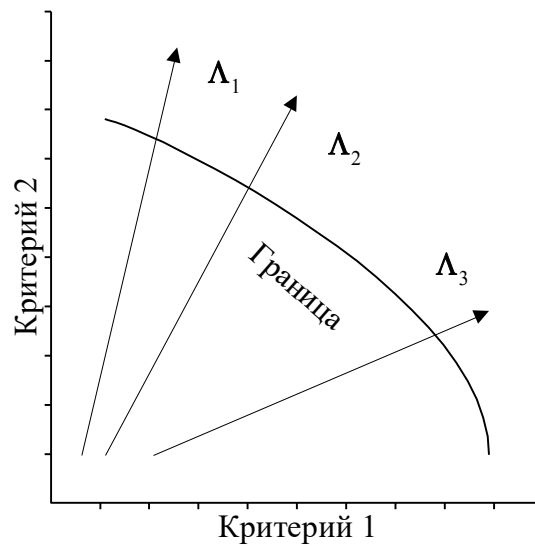


Рисунок 3.32 График вариации весами критериев

В качестве меры близости может быть использована евклидова метрика

$$\rho(a, b) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (a_i - b_i)^2}, \text{ равномерная - } \rho(a, b) = \sum_{i=1}^n |a_i - b_i| \text{ (} C^1_X \text{)} \text{ или обобщенная -}$$

$\rho(a, b) = \max_i |a_i - b_i| \text{ (} C^\infty_X \text{)}$. На рисунке 3.33 представлена иллюстрация решения по методу идеальной точки.

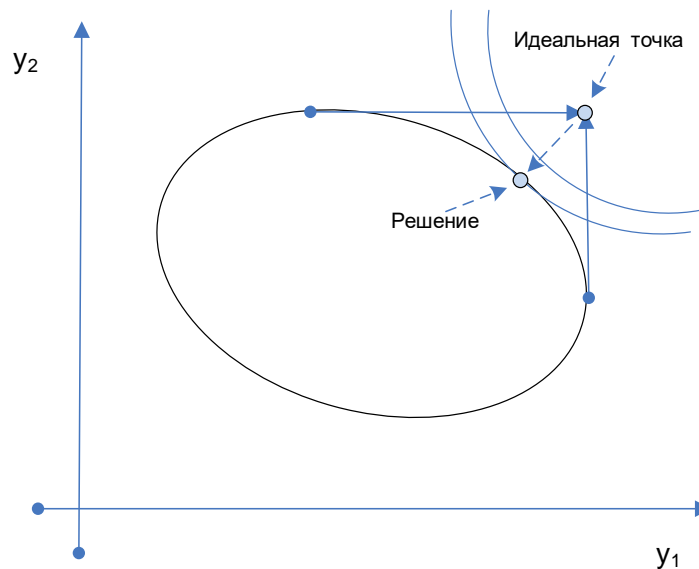


Рисунок 3.33 Решение по методу идеальной точки

В качестве идеальной точки выбираются оптимальные решения по одному критерию, и идеальная точка представляет комбинацию этих максимальных

значений. Она не будет принадлежать области допустимых решений, поэтому в качестве фактического решения выбирается проект развития, максимально близкий к идеальной точке.

Поскольку в приведенной постановке решается задача на минимум: $T_{ож}^{общ} \rightarrow \min$, $R_{АТП}^{общ} \rightarrow \min$, то общий подход выбору решения будет содержать следующие этапы [105]:

1) решение задачи по одному критерию $T_{ож}^{общ} \rightarrow \min$. В результате получаем точку 1 (Рисунок 3.34);

2) решение задачи по одному критерию $R_{АТП}^{общ} \rightarrow \min$. В результате получаем точку 2;

3) варьируя коэффициентами α_T и α_R , получаем множество промежуточных точек;

4) в качестве решения выбирается точка P , как наиболее близкая к идеальной.

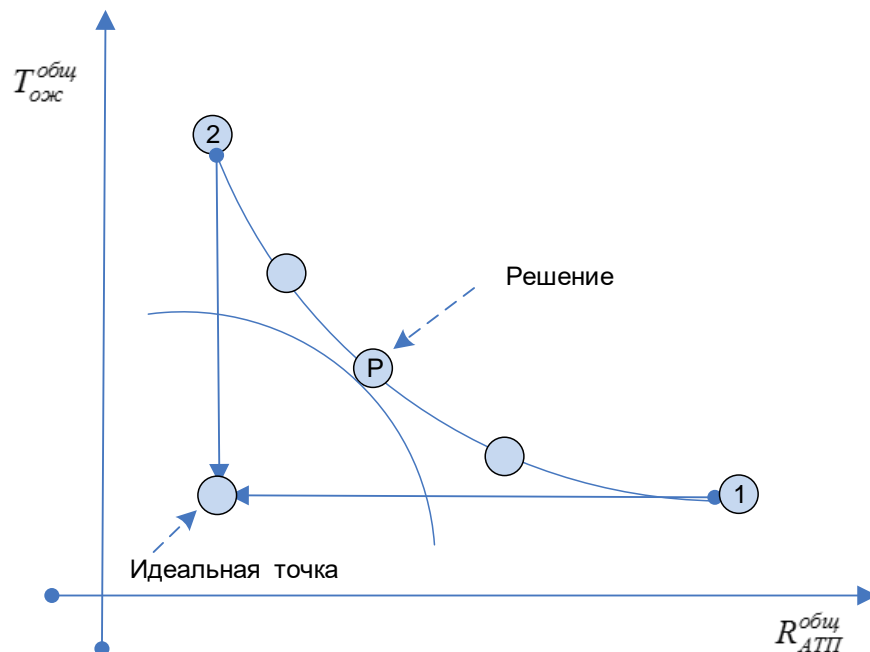


Рисунок 3.34 Последовательный поиск решения

Таким образом, предложено решение выбора состава парка в общей многокритериальной постановке.

Выводы по главе 3

1. Выполнен детальный статистический анализ пассажиропотоков на остановочных пунктах различных маршрутов автобусов. Получены характеристики неравномерности по времени и направлению. Спектральный анализ выявил три пика сезонности пассажиропотока. Корреляционный и кросскорреляционный анализ показал наличие сильных взаимосвязей межостановочных пассажиропотоков. Факторный анализ показал, что всего одна главная компонента дает 65 % информации о всех пассажиропотоках на всех остановочных пунктах маршрута, а при использовании двух главных компонент можно получить информацию по всем пассажиропотокам с потерей точности 8 %. Полученные результаты статистического анализа поставили задачу включения в имитационную модель обслуживания маршрута алгоритмов генерации нестационарных и взаимосвязанных по кросскорреляции временных рядов пассажиропотоков. Анализ пассажиропотоков также позволил установить стабильное увеличение пассажиропотока в городе Красноярске: так, с 2018 года количество перевезенных пассажиров муниципальным общественным транспортом увеличилось с 47 699 тыс. человек до 51 341 тыс. человек в 2021 году, т.е. на 7 %.

2. Предложено аппроксимировать модели стоков и истоков взвешенной смесью нормальных распределений. Истоки формируются на основе статистики валидаций и определяют входные пассажиропотоки, которые моделируются на основе предложенного алгоритма. Стоки формируются на основе анализа инфраструктуры города, учитывая крупные промышленные предприятия, места общественного отдыха, крупные торговые центры и т.д. На основе этого аналогично истокам рассчитывается вероятность выхода на соответствующем остановочном пункте. Сделан вывод, что выбор конечной остановки пассажиром будет выполняться на основе наложения последней функции на эллипс рассеяния, связанный с точкой отправления, т.е. будет определено нормальное распределение с большой осью, направленной на центр города.

3. По результатам обработки данных получены распределения пассажирских корреспонденций с группировкой изучаемых остановочных пунктов на левый и правый берег города Красноярска. Доминирующее количество пассажиров осуществляют свое сообщение внутри берега отправления. Так, по данным пассажирских корреспонденций левого берега 84,7 % пассажиров (9328 поездок из 11019 общего количества) осуществляют свое сообщение по левому берегу, 15,3 % – на правый берег (1691 поездок из 11019 общего количества). По данным пассажирских корреспонденций правого берега 65,5 % (5096 поездок из 7780 общего количества) осуществляют свое сообщение по правому берегу, 34,5 % – на левый берег (2684 поездок из 7780 общего количества).

4. Решена задача оптимизации состава парка для обслуживания маршрутов, которая формально представлена в виде многокритериального выбора между расходами на содержание парка и затратами времени пассажиров на реализации поездок. Реализовано совместное использование аналитической и имитационной модели.

5. Рациональную организацию перевозок пассажиров городским общественным транспортом в условиях перспективного территориального развития города в современных условиях невозможно представить без учета такого весомого фактора, как ДТП. Дорожно-транспортные происшествия оказывают существенное влияние на перевозочный процесс, в том числе на такие параметры, как время пассажиров в пути, безопасность поездки, задержки общественного транспорта в заторах и т.д. Учет и прогнозирование ДТП в настоящее время является неотъемлемой частью современного и комфортного перевозочного процесса.

4. ФОРМИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ПЕРСПЕКТИВНОГО ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ГОРОДА

4.1. Статистика ДТП до проведения мероприятий по повышению БДД

Базовым аспектом анализа БДД является статистика ДТП, которая основана на использовании методов многомерного статистического анализа.

4.1.1. Статистический анализ ДТП

В работе проведен анализ ДТП за последний год по месяцам и часам. Интересен результат корреляционного анализа (Рисунок 4.1). Корреляция на 7 и 8 часов сильно отличается от остальных и практически не значима.

Переменная	Корреляции (Книга1) Отмеченные корреляции значимы на уровне $p < 0,05000$ N=12 (Построчное удаление ПД)											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	1,00	0,97	0,95	0,93	0,97	0,94	0,65	-0,26	0,17	0,71	0,74	0,75
1	0,97	1,00	0,96	0,96	0,98	0,92	0,63	-0,31	0,16	0,68	0,72	0,77
2	0,95	0,96	1,00	0,93	0,94	0,93	0,59	-0,38	0,04	0,60	0,65	0,67
3	0,93	0,96	0,93	1,00	0,97	0,96	0,66	-0,37	0,14	0,64	0,68	0,74
4	0,97	0,98	0,94	0,97	1,00	0,95	0,66	-0,27	0,24	0,74	0,77	0,80
5	0,94	0,92	0,93	0,96	0,95	1,00	0,72	-0,26	0,22	0,71	0,75	0,74
6	0,65	0,63	0,59	0,66	0,66	0,72	1,00	0,29	0,56	0,81	0,72	0,76
7	-0,26	-0,31	-0,38	-0,37	-0,27	-0,26	0,29	1,00	0,80	0,43	0,34	0,29
8	0,17	0,16	0,04	0,14	0,24	0,22	0,56	0,80	1,00	0,77	0,73	0,66
9	0,71	0,68	0,60	0,64	0,74	0,71	0,81	0,43	0,77	1,00	0,98	0,95
10	0,74	0,72	0,65	0,68	0,77	0,75	0,72	0,34	0,73	0,98	1,00	0,94
11	0,75	0,77	0,67	0,74	0,80	0,74	0,76	0,29	0,66	0,95	0,94	1,00
12	0,80	0,79	0,70	0,72	0,80	0,73	0,67	0,27	0,60	0,93	0,94	0,96
13	0,81	0,85	0,73	0,82	0,88	0,81	0,73	0,16	0,62	0,92	0,93	0,97
14	0,83	0,84	0,76	0,80	0,87	0,82	0,75	0,17	0,56	0,94	0,95	0,96
15	0,88	0,88	0,81	0,87	0,92	0,88	0,76	0,09	0,55	0,92	0,94	0,96
16	0,89	0,88	0,84	0,85	0,91	0,89	0,74	0,09	0,53	0,92	0,95	0,92
17	0,61	0,58	0,50	0,51	0,60	0,58	0,75	0,49	0,67	0,93	0,90	0,87
18	0,53	0,51	0,39	0,50	0,54	0,55	0,85	0,47	0,73	0,83	0,76	0,72
19	0,50	0,48	0,38	0,56	0,57	0,62	0,77	0,29	0,73	0,73	0,71	0,63
20	0,69	0,69	0,62	0,78	0,80	0,81	0,63	-0,07	0,49	0,72	0,74	0,70
21	0,83	0,81	0,78	0,86	0,87	0,88	0,60	-0,23	0,26	0,69	0,72	0,73
22	0,96	0,95	0,95	0,95	0,97	0,94	0,60	-0,35	0,12	0,67	0,71	0,74
23	0,97	0,97	0,98	0,94	0,96	0,93	0,55	-0,35	0,10	0,65	0,71	0,73

Рисунок 4.1 Корреляционная матрица по часам ДТП

При визуализации результатов анализа БДД в работе, помимо стандартных форм представления, предлагается использовать методы многомерного анализа данных, а именно: факторного и корреляционного анализа, а также различных вариантов графических форм представления многомерных данных (Рисунок 4.2).

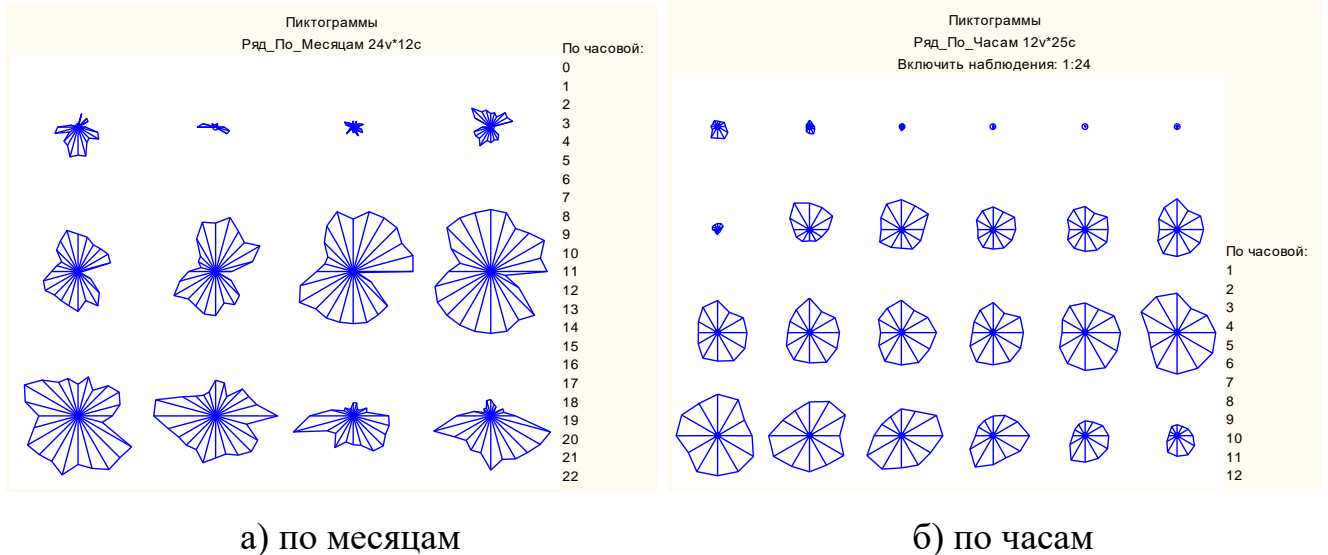
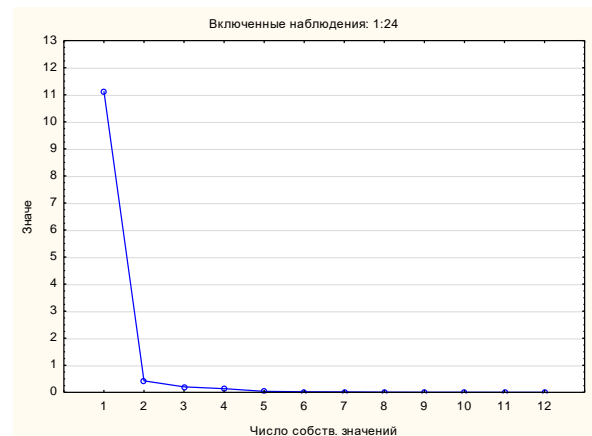


Рисунок 4.2 Звездные графики ДТП

Так, достаточно нетривиально объяснить такое различие ДТП по месяцам, когда имеет место совершенное несовпадение по часам. Однако более интересный результат дал анализ главных компонент (Рисунок 4.3).

Собст.значения (Книга1)				
Выделение: Главные компоненты				
Включенные наблюдения: 1:24				
Значен.	Собств. Знач	% общей дисперс	Кумулятивн. Собств. Знач	Кумулятивн %
1	11,1344	92,7870	11,1344	92,7870
2	0,4249	3,5410	11,5593	96,3281
3	0,2048	1,7068	11,7641	98,0349
4	0,1368	1,1405	11,9010	99,1754
5	0,0390	0,3254	11,9401	99,5008



а) таблица информативности

б) график собственных значений

Рисунок 4.3 Результаты факторного анализа ДТП

Из таблицы видно, что первая главная компонента дает более 92 % информации. Это значит, что по одному агрегированному временному ряду ДТП по часам можно все восстановить с 10 % точностью.

4.1.2 Временные ряды как базовая теория описания статистики ДТП

Важный класс математических моделей временных рядов получается, если представить, что временные ряды с коррелированными значениями генерируются последовательностью независимых значений ε_t . Эти независимые значения представляют собой реализации взаимно независимых случайных величин, имеющих одинаковое распределение со средним значением, равным нулю, и дисперсией σ_ε^2 . Такой ряд называют чисто случайным процессом или белым шумом.

Модель линейного дискретного случайного процесса представляет собой временной ряд в виде выхода линейного фильтра, на вход которого подается белый шум. Случайный процесс на выходе фильтра получается из белого шума как взвешенная сумма прошлых значений ε [111, 153]:

$$x_t = \mu + \varepsilon_t + \psi_1 \varepsilon_{t-1} + \psi_2 \varepsilon_{t-2} \dots, \quad (4.1)$$

где μ – параметр, определяющий некоторый уровень процесса (математическое ожидание, если процесс стационарный), ψ_1, ψ_2, \dots – веса линейного процесса.

Модель линейного фильтра (4.1) можно представить в сжатой форме, если использовать оператор сдвига назад B , определяемый следующим образом [111]:

$$B\varepsilon_t = \varepsilon_{t-1}; B^m \varepsilon_t = \varepsilon_{t-m}. \quad (4.2)$$

Обратный ему оператор сдвига вперед $F = B^{-1}$ определяется так [111]:

$$F\varepsilon_t = B^{-1}\varepsilon_t = \varepsilon_{t+1}; F^m \varepsilon_t = B^{-m}\varepsilon_t = \varepsilon_{t+m}. \quad (4.3)$$

Для представления дискретных линейных процессов в операторной форме используется также разностный оператор со сдвигом назад ∇ , который выражается через оператор B следующим образом [111]:

$$\nabla \varepsilon_t = \varepsilon_t - \varepsilon_{t-1} = (1 - B) \varepsilon_t. \quad (4.4)$$

Обратный ему оператор S – это оператор суммирования [111]:

$$\begin{aligned} \nabla^{-1} \varepsilon_t = S \varepsilon_t &= \sum_{j=0}^{\infty} \varepsilon_{t-j} = \varepsilon_t + \varepsilon_{t-1} + \varepsilon_{t-2} + \dots = \\ &= (1 + B + B^2 + \dots) \varepsilon_t = (1 - B)^{-1} \varepsilon_t. \end{aligned} \quad (4.5)$$

В операторной форме модель дискретного случайного процесса имеет вид [111]:

$$\tilde{x}_t = x_t - \mu = (1 + \sum_{j=1}^{\infty} \psi_j B^j) \varepsilon_t = \Psi B \varepsilon_t, \quad (4.6)$$

где $\psi(B)$ – передаточная функция линейного фильтра.

Условие стационарности линейного процесса заключается в том, что ряд весов ψ_j должен сходиться, т.е. $\sum_{j=0}^{\infty} \psi_j < M_1$, где M_1 – конечное число.

Существует эквивалентное представление модели линейного фильтра через прошлые значения ряда \tilde{x}_t . Если каждое из прошлых значений процесса представить как выход линейного фильтра, то модель линейного фильтра можно выразить как взвешенную сумму значений ряда \tilde{x}_t [111]:

$$\tilde{x}_t = \pi_1 \tilde{x}_{t-1} + \pi_2 \tilde{x}_{t-2} + \dots + \varepsilon_t = \sum_{j=1}^{\infty} \pi_j \tilde{x}_{t-j} + \varepsilon_t. \quad (4.7)$$

В этой форме временной ряд представлен как регрессия на прошлые значения.

Наряду с условием стационарности вводится независимое от него условие обратимости процесса. Оно требует, чтобы ряд весов π_j сходиллся, т.е. $\sum_{j=1}^{\infty} \pi_j < M_2$, где M_2 – конечное число. Смысл этого требования заключается в том, что обращенная модель должна отражать связь текущего значения ряда с его прошлыми значениями. Требование обратимости, как это будет показано дальше, позволяет выбрать единственное решение при подборе модели.

Общий линейный процесс, представленный в форме (4.6) или (4.7), при конечном числе параметров ψ_j и π_j дает два важных частных типа моделей, которые используются при описании временных рядов.

Если линейный процесс вида (4.6) имеет только q первых весов, не равных нулю, то \tilde{x}_t называется процессом скользящего среднего порядка q , сокращенно $СС(q)$ [111, 132]:

$$\tilde{x}_t = \varepsilon_t - c_1 \varepsilon_{t-1} - c_2 \varepsilon_{t-2} \dots - c_q \varepsilon_{t-q}, \quad (4.8)$$

где $-c_1, -c_2, \dots, -c_q$, используются для конечного набора весовых параметров.

Второй тип модели – это процесс авторегрессии порядка p (сокращенно $AR(p)$), получаемый в случае, если модель линейного фильтра представлена в виде регрессии на прошлые значения (4.6) и содержит p первых ненулевых весов [111]:

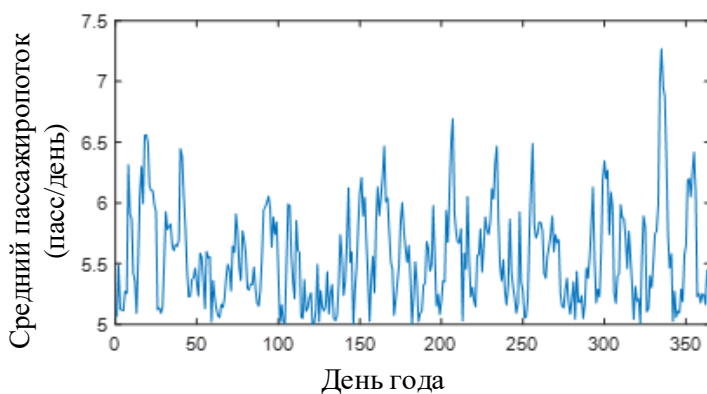
$$\tilde{x}_t = a_1 \tilde{x}_{t-1} - a_2 \tilde{x}_{t-2} + \dots + \bar{a}_p \tilde{x}_{t-p} + \varepsilon_t. \quad (4.9)$$

Для достижения большей эффективности и экономичности подбираемых моделей часто используют обобщенную модель, в которую входят модель авторегрессии и модель скользящего среднего.

Смешанный процесс авторегрессии – скользящего среднего порядка (p, q) , обозначаемый сокращенно $ARCC(p, q)$, может быть представлен следующей моделью [111, 132]:

$$\tilde{x}_t = a_1 \tilde{x}_{t-1} - a_2 \tilde{x}_{t-2} + \dots + \bar{a}_p \tilde{x}_{t-p} + \varepsilon_t - c_1 \varepsilon_{t-1} - \dots - c_q \varepsilon_{t-q} \quad (4.10)$$

Рассмотренные модели используются для описания стационарных временных рядов. Но эти модели можно обобщить и для описания некоторых нестационарных процессов (рисунки 4.4–4.6). Например, если в реализации временного ряда наблюдается тренд среднего значения, но, тем не менее, ряд имеет однородные свойства, то нередко удается получить стационарный временной ряд с помощью разностного оператора, подбирая подходящий порядок d разности.



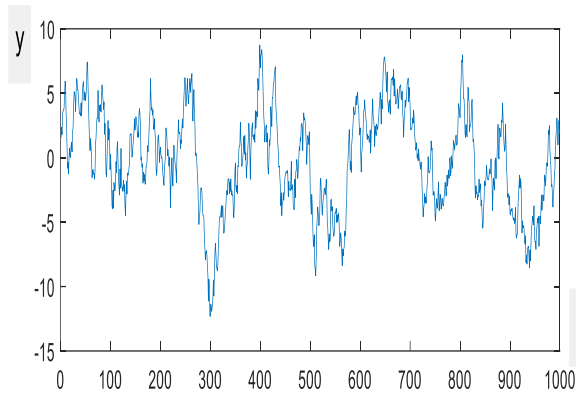
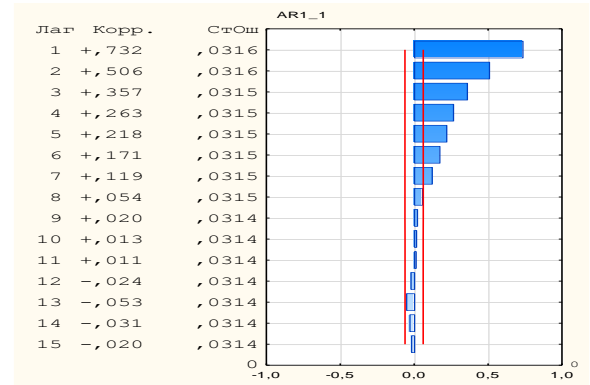
а) выборочные траектории

$$b=[1.07 \ 1.4 \ 1.3 \ 1.1 \ 1.1 \ 1.1 \ 1.1]$$



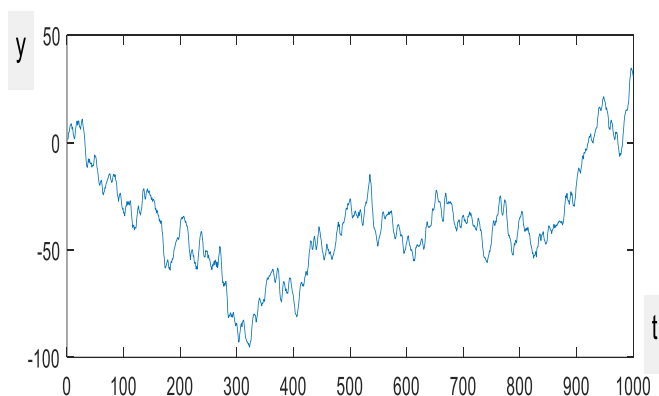
б) автокорреляция

Рисунок 4.4 МА-процессы

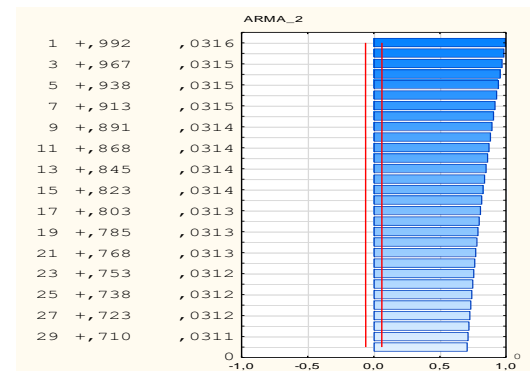
а) выборочные траектории $\alpha=0.97$ 

б) автокорреляция

Рисунок 4.5 AR(1)-процесс



а) выборочные траектории



б) автокорреляция

Рисунок 4.6 ARMA-процесс $q=3; p=2; a=[0.5 \ 0.496]$

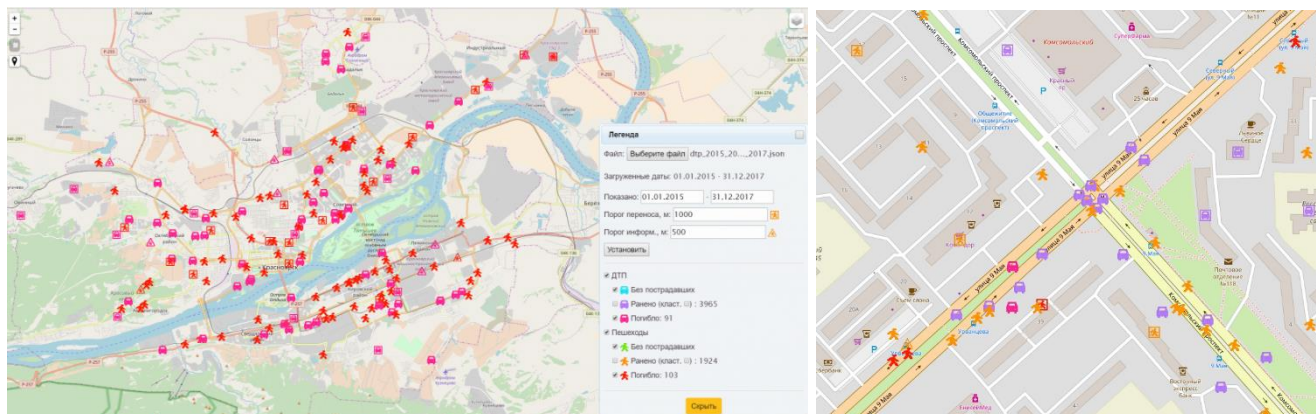
Модель позволяет описывать как стационарные, так и нестационарные временные ряды и называется процессом авторегрессии – проинтегрированного скользящего среднего (АРПСС) порядка (p, q, d) [111].

Рассмотренные модели используются для описания стационарных временных рядов. Но эти модели можно обобщить и для моделирования нестационарных процессов описания ДТП.

4.1.3 Выявление узких мест по аварийности

Самым опасным участком оказался перекрёсток улиц 9 мая и пр. Комсомольского (Рисунок 4.7): за период с 2015 по 2017 год здесь произошло

46 дорожно-транспортных происшествий, в том числе 27 сбитых пешеходов, в которых погибло 7 человек (из них 4 – пешеходы).



а) статистика по городу

б) статистика по району

Рисунок 4.7 Представление статистики ДТП

В рамках решения задачи проведения мероприятий по повышению БДД был выбран данный район, для которого реализован проект строительных работ по реконструкции УДС с учетом норм, гарантирующих повышение эффективности.

4.2. Методы оценки эффективности мероприятий по повышению БДД

Основными критериями БДД являются [107, 108, 156, 163]:

- тип ДТП;
- частота ДТП;
- тяжесть последствий ДТП (без пострадавших, различные степени тяжести, смертельные случаи).

Для оценки безопасности дорожного движения необходимо учитывать не только произошедшие дорожно-транспортные происшествия, но и потенциальные конфликты, т.е. опасные ситуации без фактически произошедших дорожно-транспортных происшествий, которые появляются вследствие недостаточной распознаваемости, обзорности, понятности перекрестка [108].

Уровень безопасности дорожного движения выше в том случае, когда скорость движения транспортных средств ниже и количество конфликтных точек меньше [64, 120].

4.2.1. Формирование критериев безопасности

Критериями для оценки условий движения транспортного потока являются пропускная способность и уровень обслуживания. Пропускная способность пересечения используется только для автомобильных транспортных средств и указывает количество транспортных средств, которые могут проехать через перекресток в единицу времени [108].

Уровень обслуживания необходимо определять для всех групп участников дорожного движения (автомобильного транспорта, пешеходов, велосипедов и т.д.). Уровень обслуживания характеризуется в частности [108]:

- временем ожидания до момента проезда перекрестка;
- количеством остановок до момента проезда перекрестка;
- частотой и длиной заторов;
- необходимой длиной маршрута для перехода перекрестка пешеходом.

Для пешеходного и велосипедного движения наряду с продолжительностью задержек имеют значение и другие специфические недостатки (например, требуемый обход, отсутствие возможности перейти за один раз проезжую часть с островком безопасности, малая площадь островка безопасности, недостаточная величина понижения бортового камня).

Задержки имеют наиболее высокое значение в определении уровня обслуживания транспортного потока. В таблицах отображены значения уровня обслуживания от А до F на определенных участниках дорожного движения [102, 108, 139, 156, 162] для различных типов перекрестков (без светофора и со светофором) (Таблицы 4.1–4.2).

Таблица 4.1 Классификация уровней обслуживания на пересечениях, где организовано светофорное регулирование

У О	Допустимая средняя задержка w , с				Процентная составляющая проезжающих без остановки
	Общественный транспорт	Велосипедное движение	Пешеходное движение *	Автомобильный транспорт (не скоординированный подъезд)	Автомобильный транспорт (скоординированный подъезд)
A	≤ 5	≤ 15	≤ 15	≤ 20	≥ 95
B	≤ 15	≤ 25	≤ 20	≤ 35	≥ 85
C	≤ 25	≤ 35	≤ 25	≤ 50	≥ 75
D	≤ 40	≤ 45	≤ 30	≤ 70	≥ 65
E	≤ 60	≤ 60	≤ 35	≤ 100	$\geq 50^{**}$
F	> 60	> 60	> 35	> 100	$< 50^{**}$

* добавить 5 секунд при переходе нескольких проезжих частей

** координация не действительна

Таблица 4.2 Уровень обслуживания на нерегулируемых перекрестках

Уровень обслуживания	Допустимая задержка w , с
A	≤ 10
B	≤ 20
C	≤ 30
D	≤ 45
E	> 45
F	-

Высшая ступень «А» соответствует наиболее высокому удобству перемещения (самые низкие задержки). Самая низкая ступень «F» соответствует наихудшему удобству. Для автомобильного транспорта это означает растущие заторы, для пешеходного движения – слишком высокие задержки и высокую вероятность нарушения правил дорожного движения. Как правило, для расчетов

пересечений не допускается задавать уровень обслуживания ниже значения «D» [108].

4.2.2. Зависимость между безопасностью дорожного движения и пропускной способностью

Значения транспортной нагрузки (коэффициент загрузки), близкие к критическим значениям, должны быть уменьшены исходя из условий безопасности дорожного движения. Чем продолжительнее задержки, тем больше вероятность рискованных маневров и пренебрежения правилами дорожного движения.

Как следствие наряду с пропускной способностью должен быть учтен уровень обслуживания. Достаточный уровень обслуживания требует резерва пропускной способности. Благодаря этому максимальные значения задержек и длины заторов не превышаются.

Тем не менее высокая пропускная способность не означает высокий уровень безопасности дорожного движения. Между пропускной способностью и безопасностью дорожного движения наблюдается тесная связь и конфликты [108].

1. Часто при повышении уровня безопасности дорожного движения наблюдается снижение пропускной способности. Например, для обеспечения более высокого уровня безопасности необходимо большое количество фаз в цикле светофорного регулирования. Но из-за потерь времени в большом количестве промежуточных тактов падает пропускная способность пересечения. Второй пример: разделение пешеходных потоков и поворотных транспортных потоков убирает конфликтную точку и повышает уровень безопасности, но снижает пропускную способность поворотных направлений [64, 156].

2. Однако иногда при повышении безопасности дорожного движения повышается и пропускная способность. Такое возможно, например, при устройстве адаптивного светофорного регулирования, когда светофорный объект учитывает

интенсивность транспортных потоков и наличие пешеходов. Переустройство перекрестков со светофорным регулированием в перекресток с кольцевым движением во многих случаях увеличивает уровень безопасности дорожного движения без влияния на пропускную способность. Более того, в некоторых случаях, пропускная способность при таком переустройстве увеличивается.

3. Некоторые мероприятия приводят только к мнимому повышению уровня безопасности дорожного движения. Например, мероприятия, имеющие основной целью повышение безопасности движения автомобилей (улучшение условий видимости, большие радиусы и ширины полос на перекрестке), позволяющие проезжать пересечение с большей скоростью, чем до мероприятий, и вместе с тем не учитывающие опасность для пешеходного и велосипедного движения (например, на светофорах с одновременным разрешением движения пешеходов и автомобилей) [77, 120]. Кроме того, удлинение маршрута для пешеходов и велосипедистов часто ведет к рискованным переходам в неположенных местах. В случае длительного ожидания зеленого сигнала пешеходами вероятность перехода на красный сигнал светофора сильно увеличивается.

По указанным причинам на перекрестках необходимо реализовывать мероприятия, повышающие уровень безопасности дорожного движения, не имеющие большого влияния на уменьшение пропускной способности [108].

Обычно уровень безопасности УДС основывается на статистических данных о ДТП [132, 156]. В целом имеют место два базовых методических подхода обработки данных [108].

1. Локализация по месту ДТП с целью учета при проектировании УДС и ее модернизации.

2. Анализ динамичности ДТП с привлечением теории временных рядов.

В соответствии с имеющимися методами оценки качества дороги программа БДД реализуется с позиций проектировщиков, строителей, эксплуатационщиков и др. Однако более целесообразным является оценка с позиций участников движения, которые могут привести к совершению ДТП.

4.2.3. Многокритериальная оценка безопасности

Во многих странах мира функционирует программа оценки безопасности дорог (iRAP), направленная на проектирование и реализацию безопасной конструкции дороги, что соответствует потенциальному спасению жизни множества участников дорожного движения. Данная программа оценивает степень риска движения по конкретной дороге. iRAP формирует стандартные протоколы с указанием сравнительных характеристик, а именно [108]:

1) формирование карты дорог с цветовыми кодами, определяющих оценку степени риска, основу которых составляет статистика ДТП и интенсивность транспортных потоков;

2) постоянный мониторинг характеристик дорог, который дает возможность наблюдать за темпами ликвидации «дорог постоянно высокого риска»;

3) выставление рейтинговых оценок за обеспечение безопасности или «дорожной защиты», связанные с оценками риска (в настоящее время существует более 50 таких факторов).

С учетом опыта методологии iRAP можно сформулировать следующую концепцию и принципы построения иерархической системы оценки уровня БДД применительно к задачам оценки уровня безопасности условий движения для РФ [108]:

- иерархический принцип для объектов УДС;
- мониторинг, позволяющий получить количественные оценки уровня БДД с целью выбора наиболее приоритетных мероприятий по совершенствованию организации дорожного движения для обеспечения безопасности;
- показатели вышестоящего уровня БДД должны полностью рассчитываться на основе показателей нижестоящих уровней;
- и другие.

Так, оценку уровня БДД на локальном участке предлагается определять как мультипликативную свертку коэффициентов опасности всех факторов, которые

присутствуют на данном участке дороги (радиус поворота, ширина проезжей части, видимость, уклоны и т.д.) [10, 108]:

$$K = \prod_{i=1}^n K_i \quad (4.11)$$

где n – количество факторов, а k_i – коэффициент опасности i -го фактора.

В силу того, что на различных участках дороги может учитываться разное количество факторов, обобщенный критерий необходимо нормировать, как в геометрической прогрессии [10, 108]:

$$K = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n K_i} \quad (4.12)$$

Оценки влияния каждого фактора K_i определяются на основании экспертных оценок.

Эталонным (соответствующим нормативам) значением K является 1, значение $K > 1$ говорит о повышенной опасности, а значение $K < 1$ – о повышенной безопасности [108].

Для целей восприятия проведенных оценок участниками движения (водителями, пешеходами, велосипедистами, мотоциклистами) в методологии iRAP используются качественные оценки уровня БДД в «звездах». Рекомендуются следующие критерии для присвоения «звезд» локальным, территориальным и линейным объектам [10, 108, 156]:

Значение коэффициента безопасности	Число звезд
$K_B < 1,5$	*****
$1,5 < K_B < 2,5$	****
$2,5 < K_B < 4$	***
$4 < K_B < 6,5$	**
$K_B > 6,5$	*

По мере расширения применения данных рекомендаций критерии для присвоения «звезд» желательно устанавливать централизованно на федеральном уровне.

К факторам безопасности относится достаточно большое количество показателей, которые влияют на возможность возникновения ДТП [108]:

- число полос, их ширина; ширина дополнительной полосы на подъеме; полоса разгона и торможения и т.д.;
- геометрические параметры и характеристики дорожного полотна, такие как ширина обочин, продольные уклоны; высота насыпи; состояние земляного полотна; расстояние видимости и т.д.;
- характеристики дорожной одежды и покрытия (тип покрытия; состояние дорожной одежды, характеристики дефектов, колейность, поперечная ровность покрытия, коэффициент сцепления с покрытием и многие другие).

Уровень безопасности на территориальном объекте определяется на основании нормированных средних значений показателей аварийности каждого участка, входящего в состав территориального объекта УДС [108, 156]:

$$K_B = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m K_{ЛО}^j, \quad (4.13)$$

где m – число локальных участков на выбранном объекте;

$K_{ЛО}^j$ – коэффициента безопасности j -го линейного объекта.

Показатели аварийности в принципе не могут покрыть все разнообразие дорожных ситуаций, что приводит к их уточнению по мере накопления статистики ДТП на соответствующих участках.

4.2.4. Рекомендации по формированию системы автоматизированной оценки БДД

Соответственно, система автоматизированной оценки БДД УДС на уровне территориального органа местного самоуправления строится как интеграция оценок, имеющих в электронных паспортах владельцев автодорог на территории, находящейся в ведении территориального органа местного самоуправления [108].

Влияние параметров движения и мероприятий по повышению безопасности дорожного движения представлены на рисунках 4.8 и 4.9.

1) Влияние типа автомобильной дороги

Тип автомобильной дороги	вне населенных пунктов	в населенных пунктах
Автомобильные магистрали	0.77	-
Многополосные дороги с разделительной полосой	0.93	0.91
Многополосные дороги без разделительной полосы	1.85	1.84
Трехполосные дороги	1.62	1.59
Двухполосные дороги	1.00	1.00
Дороги территориальной дорожной сети	0.93	1.82

2) Влияние ширины полосы проезжей части без учета наличия и типа обочины.

Ширина полосы	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8
Коэффициент опасности	3.5	3.2	2.9	2.5	2.1	1.6	1.0

3) Влияние ширины проезжей части при укрепленных обочинах

Ширина проезжей части	6	7	7.5	9	10.5	14 и более
Коэффициент опасности	1.35	1.05	1.00	0.8	0.7	0.6

4) Влияние ширины проезжей части при грунтовых обочинах

Ширина проезжей части	6	7	7.5	9	10.5	14 и более
Коэффициент опасности	2.5	1.75	1.6	1.0	0.9	0.8

5) Влияние интенсивности движения на 2-х полосных дорогах

Интенсивность тыс. авт./сут	3	5	7	9	11	13	15	20
Коэффициент опасности (K_f)	0.75	1.0	1.30	1.70	1.80	1.5	1.0	0.6

6) Влияние интенсивности движения на 3-х полосных дорогах с разметкой на 3 полосы

Интенсивность тыс. авт./сут	3	5	7	9	11	13	15	20
Коэффициент опасности	0.65	0.75	0.90	0.96	1.25	1.5	1.3	1.0

7) Влияние интенсивности движения на 4-х полосных дорогах

Интенсивность тыс. авт./сут	10	15	18	20	25	28	30
Коэффициент опасности (K_f)	1.0	1.1	1.3	1.7	2.2	2.8	3.4

8) Влияние количества легковых автомобилей в потоке

Доля легковых автомобилей в потоке, %	100	75	60	40	20
Коэффициент опасности	0.8	1.0	1.21	1.57	2.05

9) Влияние освещения проезжей части

Освещенность, лк	Не освещена	До 3	До 5	До 8
Коэффициент опасности	1.7	1.3	1.0	0.8

10) Влияние типа пересечения

Тип пересечения	Коэффициент опасности
В разных уровнях	0.6
Кольцевые	1.0
Перекресток без светофорного регулирования	2.5
Перекресток с светофорным регулированием	1.9
Примыкание без светофорного регулирования	2.0
Примыкание с светофорным регулированием	1.4

Рисунок 4.8 Влияние условий движения на коэффициент безопасности

№ п/п	Мероприятия по повышению безопасности движения по элементам и характерным участкам дорог	Вероятность снижения числа ДТП в долях единицы	
		Общего числа ДТП	ДТП с пострадавшими
1	2	3	4
1.	Отдельные мероприятия		
1.1.	Кривые в плане		
1.1.1	Увеличение радиуса кривой в плане до нормативных значений	0.67	0.63
1.1.2	Устройство виражей с уширением проезжей части	0.36	0.27
1.1.3	Улучшение видимости на кривых в плане	0.22	0.65
1.1.4	Устройство островка, регулирующего движение	0.34	0.59
1.1.5	Установка ограждений на кривых в плане	0.16	0.32
1.1.6	Установка направляющих устройств:		
	при числе полос движения - 2	0.14	0.16
	при числе полос движения более 2	0.52	0.10
1.1.7	Установка или обновление предупреждающих дорожных знаков:		
	при числе полос движения - 2	0.52	0.40
	при числе полос движения более 2		
1.1.8	Установка предупреждающих знаков и направляющих устройств	0.22	0.41
1.1.9	Устройство краевой и осевой разметки на кривых, установка знаков	0.52	0.25
1.2	Участки подъемов и спусков		
1.2.1	Устройство дополнительной полосы движения на подъем	0.45	0.25
1.2.2	Нанесение разделительной линии на выпуклых кривых в продольном профиле	0.55	0.62
1.2.3	Установка ограждений на спусках	0.12	0.16
1.3	Поперечный профиль		
1.2.3	Установка ограждений на спусках	0.12	0.16
1.2.3	Установка ограждений на спусках	0.12	0.16
1.3.1	Уширение проезжей части		
1.3.1.1	Уширение проезжей части (без учета величины уширения)	0.33	0.25
1.3.1.2	Уширение проезжей части с 5(6) до 7(8) м	0.30	0.22
1.3.1.3	Уширение проезжей части с 7 до 9 м	0.34	0.25
1.3.1.4	Уширение проезжей части с 7 до 11.25 м	0.44	0.28
1.3.2	Увеличение числа полос движения		
1.3.2.1	Увеличение числа полос движения с 2 до 3	0.06	0.08
1.3.2.2	Увеличение числа полос движения с 2 до 4	0.12	0.20
1.3.2.3	Увеличение числа полос движения с 4 до 6	0.25	0.32
1.3.3	Уширение, устройство обочин		
1.3.3.1	Доведение геометрических параметров и поперечного уклона обочин до нормативных требований	0.31	0.37
1.3.3.2	Уширение обочин на 2 м с доведением до	0.22	0.26

Рисунок 4.9 Мероприятия по повышению безопасности движения

Оценок БДД линейных объектов (далее ЛО) УДС на уровне территориального органа местного самоуправления не содержится. Оценка БДД УДС на уровне территориального органа местного самоуправления проводится только на основе оценок ЛО, имеющих в электронных паспортах владельцев дорог.

На уровне территориального органа местного самоуправления проводится (при необходимости) оценка уровня БДД по отдельным особо значимым маршрутам. Такая оценка также проводится только на основе оценок ЛО, имеющих в электронных паспортах владельцев дорог [108].

В общем случае, оценка реализации мероприятий и их влияния на снижение уровня аварийности определяется в результате получения статистики ДТП до и после мероприятий, а основным является усредненная вероятность P_m снижения ДТП на заданном участке дороги.

Мероприятия, направленные на сокращение аварийности, подразделяются на одиночные мероприятия, способствующие предотвращению определенных типов ДТП, и комплексные мероприятия, которые способствуют снижению всех видов происшествий [167].

При этом усредненная вероятность снижения ДТП рассчитывается по формуле [108]:

$$K_B = \sum_{m=1}^M \frac{P_m}{1 - P_m} \bigg/ \left(1 + \sum_{m=1}^M \frac{P_m}{1 - P_m} \right), \quad (4.14)$$

где M – общее число мероприятий, проводимых до года t и влияющих на показатель аварийности;

P_m – вероятность снижения ДТП за счет мероприятия m .

Оценка сокращения ДТП в год t за счет выполнения мероприятий определяется как $\Delta n_i = P_m \cdot n_i$. А n_i определяется как прогнозное число ДТП на год t без проведения мероприятий, направленных на снижение аварийности.

Прогноз снижения ДТП на i -ом участке определяется с учетом срока его гарантированного действия [108]:

$$\Delta n_1 = \sum_{t=0}^{t_{max}} \Delta n_t, \quad (4.15)$$

где t_{max} – максимальный срок действия мероприятия данного комплекса мер, направленного на безопасность дорожного движения, который устанавливается на основании действующих нормативно-методических документов, учитывающих региональную специфику эксплуатации дорог [156].

Кроме того, разработаны имитационные модели для сложных участков, которые учитывают [108]:

- расстояние видимости до встречного автомобиля;
- длину элементарного участка дороги;
- коэффициент сцепления с поверхностью дорожного полотна;
- поперечный и продольный уклон участка дороги;
- ширину проезжей части и обочины;
- направление полосы движения;
- радиус вертикальной кривой и кривизны в плане;
- ограничение скорости движения легковых, средних грузовых автомобилей;
- ровность дорожного полотна;
- угловой коэффициент скорости движения и другие.

4.2.5. Метод конфликтных точек при моделировании БДД

Для оценки степени опасности пересечения в настоящее время хорошо зарекомендовал себя метод конфликтных точек (Рисунок 4.10), который способен оценить степень опасности перекрестка по формуле [47, 64]:

$$M = \sum_{i=1}^n k_i \cdot m_i, \quad (4.16)$$

где M – показатель сложности транспортного узла;

i – вид конфликта;

k_i – коэффициент сложности i -го конфликта;

m_i – число конфликтных точек i -го вида.

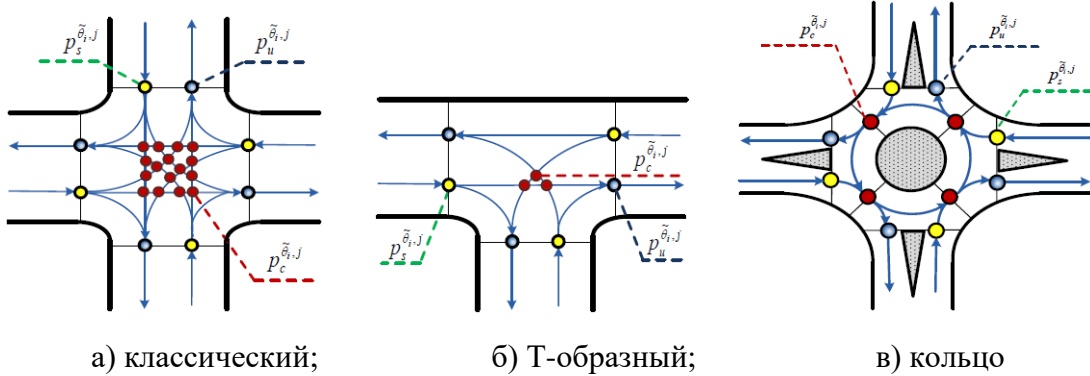


Рисунок 4.10 Конфликтные точки ответвления, слияния и пересечения на перекрестках

4.3. Определение зависимости количества ДТП по временному фактору

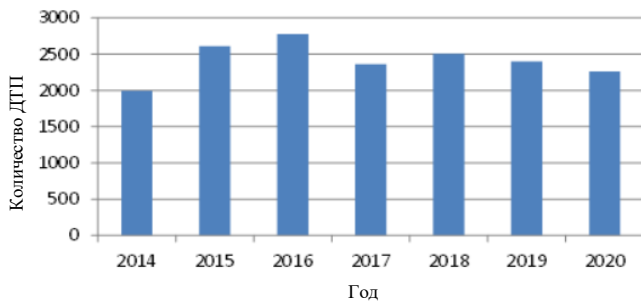
4.3.1. Раздельный анализ по отдельным факторам времени

Помимо общей визуализации базы данных ДТП, в работе проведен детальный анализ количества ДТП по временному фактору.

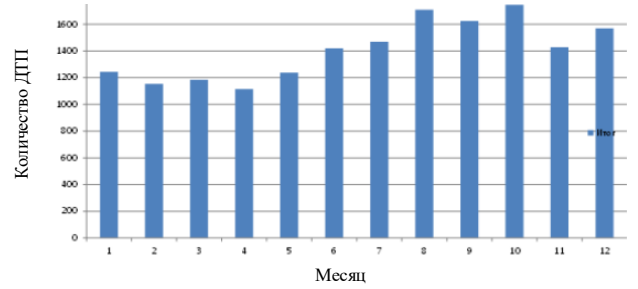
Так зависимости количества ДТП по годам, месяцам, дням недели и часам имеют достаточно различный характер (Рисунок 4.11).

Исходя из анализа графиков можно заметить, что зависимость от месяца при смещении начала отсчета на май будет иметь явно квадратичный характер, а зависимость по часам со смещением начала отсчета на 6 часов будет иметь распределение близкое, к гамма или Релею.

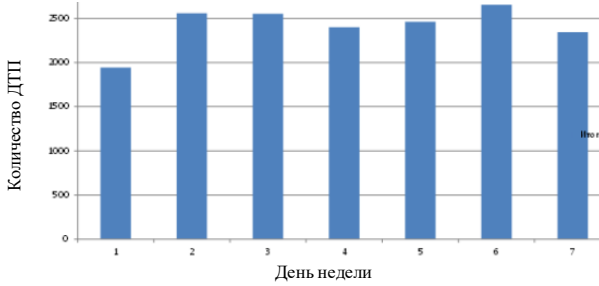
Сначала выполним преобразования координат и соответствующее преобразование базы данных. В результате получим графики (Рисунок 4.12 – 4.13) для K , т.е. количества ДТП как функции часа (смещенного) и месяца (смещенного) сразу по всем годам.



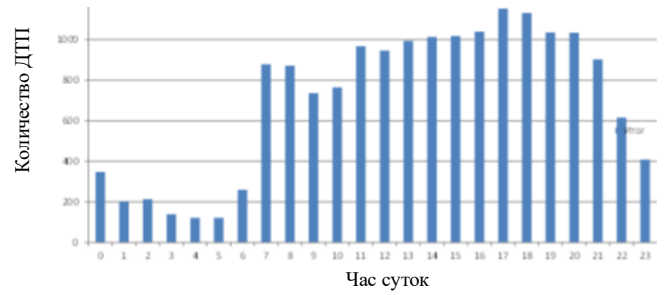
Статистика по годам



По месяцам



ДТП по дням недели



По часам

Рисунок 4.11 Статистика количества ДТП по временному фактору

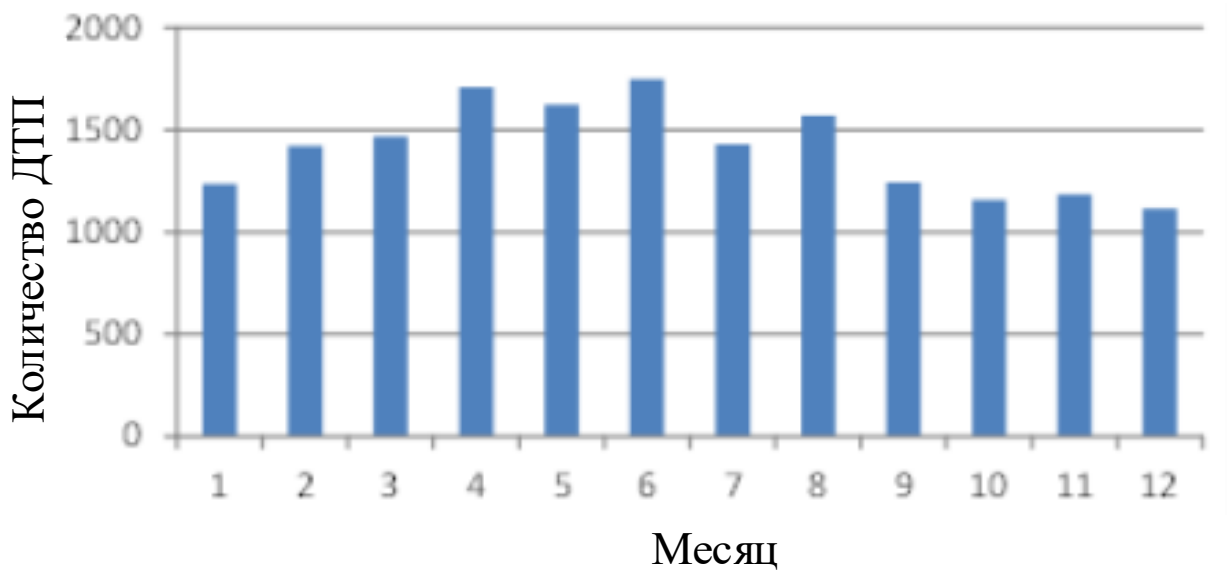


Рисунок 4.12 Зависимость количества ДТП от смещенного месяца имеет явно квадратичный вид

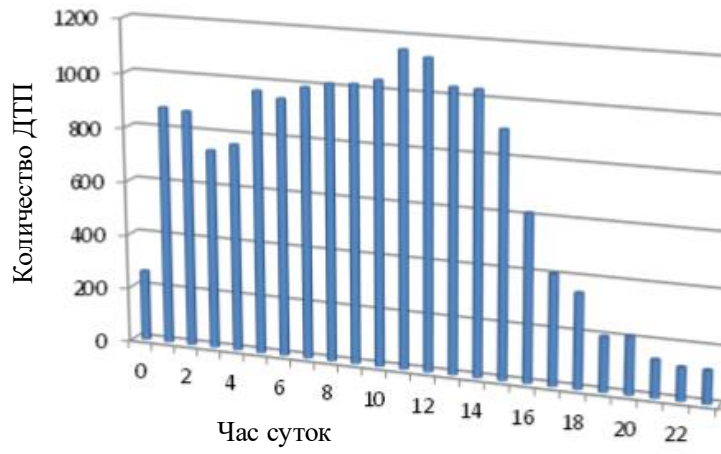


Рисунок 4.13 Зависимость количества ДТП от смещенного часа похожа на гамма-распределение с выбросом при $x=1$ и $x=2$

4.3.2. Гамма распределение и распределение Релея

Гамма-распределение имеет плотность $f(t) = \frac{\lambda^n}{\Gamma(n)} t^{n-1} \exp(-\lambda t)$, где λ и $n > 0$ – параметры распределения (Рисунок 4.14). Функция распределения, соответственно, имеет вид $F(t) = \frac{\lambda^n}{\Gamma(n)} \int_0^t t^{n-1} \exp(-\lambda t) dt$, где $\Gamma(n)$ – гамма-функция [50, 78, 116, 130].

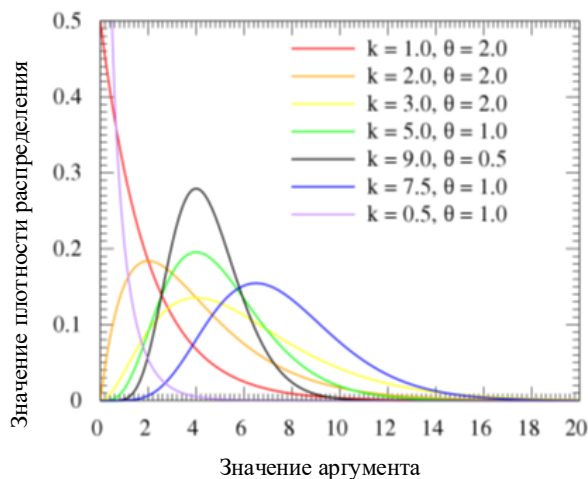


Рисунок 4.14 Графики плотности гамма-распределения

Распределение Релея связано с надежностью или отказами технических систем, это достаточно хорошо согласуется с понятиями аварийности, ДТП, состоянием водителя и т.д.

Плотность распределения Релея имеет вид $f(r) = \begin{cases} 0, & r \leq 0 \\ \frac{r}{\sigma^2} e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}} & r > 0 \end{cases}$ [78].

Существуют различные параметризации этого распределения, например:

$$f(t) = \frac{t}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{t^2}{2\sigma^2}\right) \text{ (Рисунок 4.15).}$$

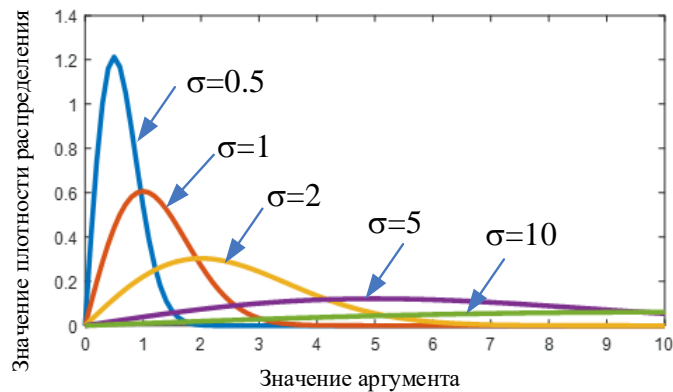


Рисунок 4.15 Графики плотности распределения Релея с параметрами 0.5; 1; 2; 5; 10

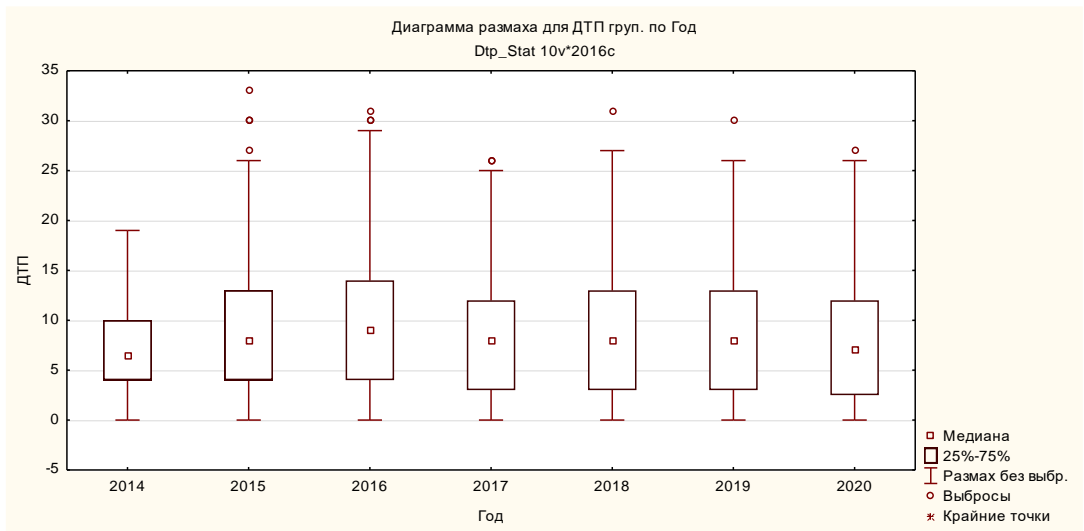
4.3.3. Анализ структуры данных ДТП

База данных ДТП в работе приведена к OLAP таблице, которая позволяет делать различные срезы количества ДТП. Далее будем исследовать структуру данных ДТП = ДТП (Год, Месяц, Час) (Таблица 4.3).

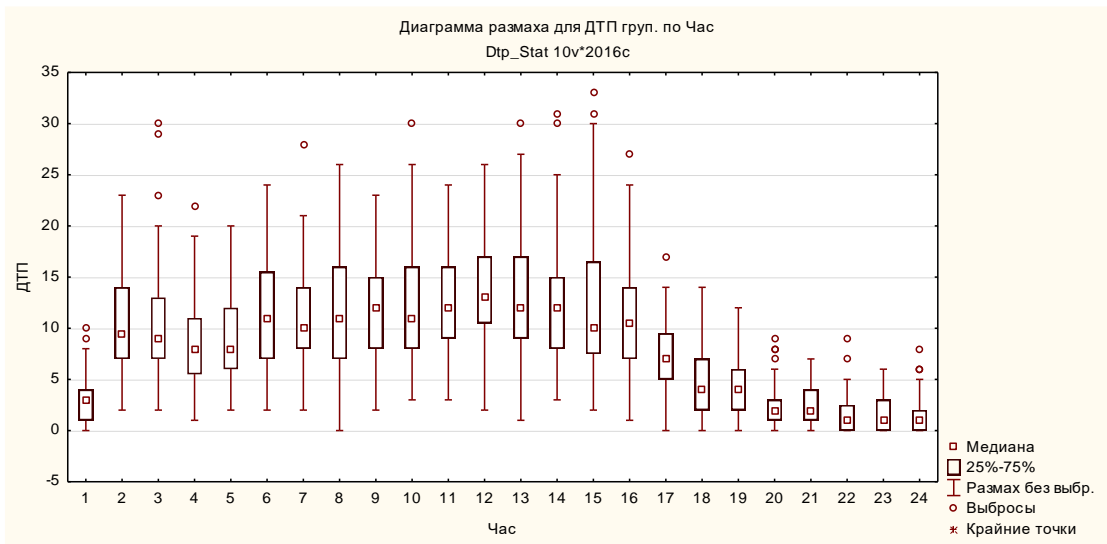
Таблица 4.3 Структура данных ДТП = ДТП (Год, Месяц, Час)

	1	2	3	4
	Год	Месяц	Час	ДТП
1	2014	1	1	3
2	2014	1	2	4
3	2014	1	3	9
4	2014	1	4	8
5	2014	1	5	5
6	2014	1	6	5
7	2014	1	7	9

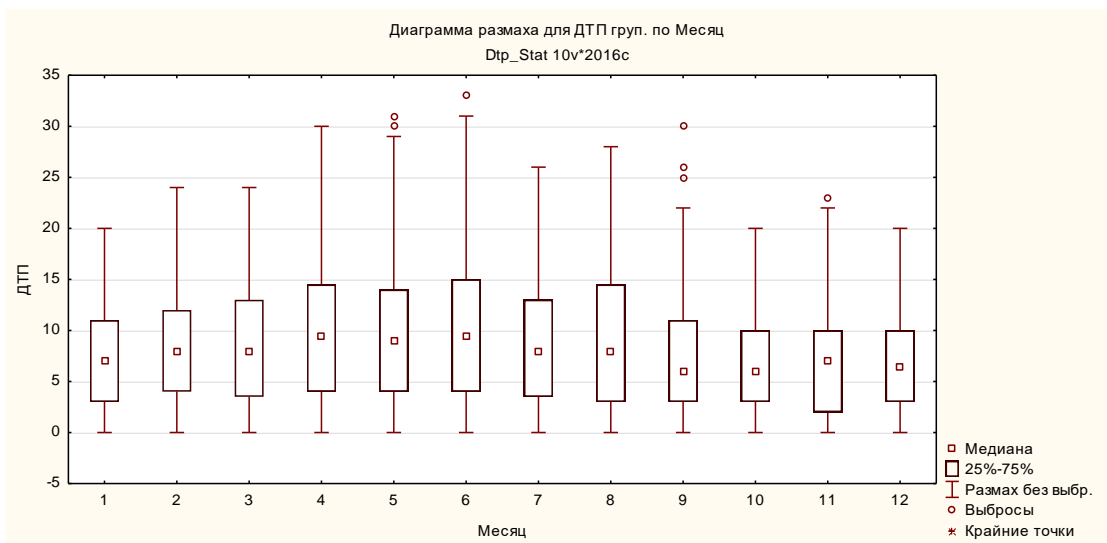
Диаграммы размаха по каждому аргументу (Год, Месяц, Час) приведены на рисунке 4.16.



а) по годам



а) по часам



а) по месяцам

Рисунок 4.16 Диаграммы размаха количества ДТП

Далее в работе проведен поиск регрессионной зависимости вида ДТП = ДТП (Месяц, Час).

Одним из вариантов аппроксимации количества ДТП является обычная квадратичная аппроксимация (Рисунок 4.17).

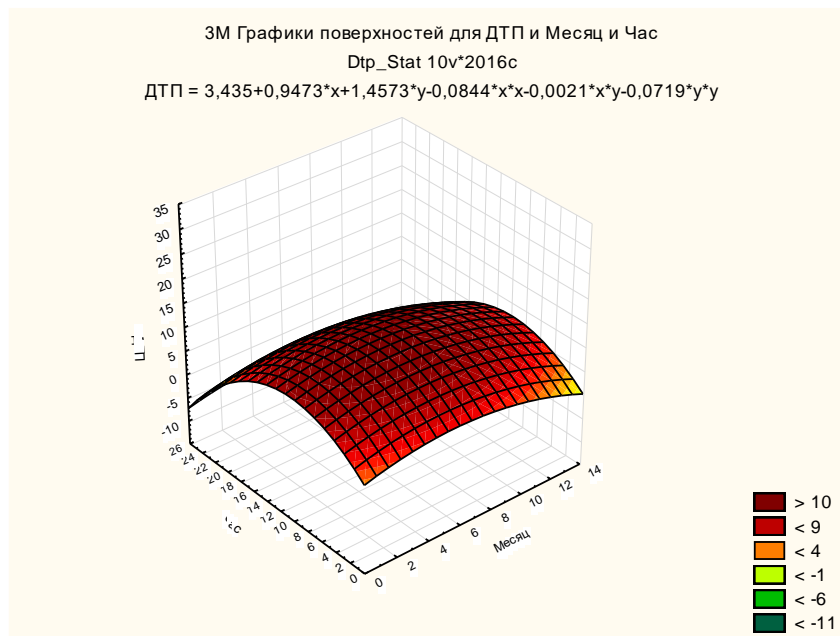


Рисунок 4.17 Квадратичная аппроксимация количества ДТП

Далее была проведена аппроксимация сплайном (Рисунок 4.18).

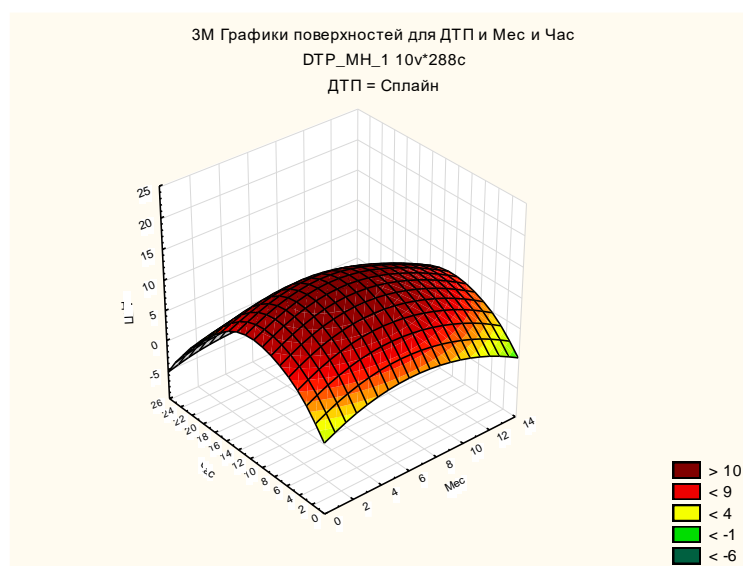


Рисунок 4.18 Сплайн-аппроксимация количества ДТП

Проведено сравнение квадратичной регрессии со сплайновой. Квадратичная достаточно близка к сплайновой, что говорит о возможности ее использования для построения прогноза количества ДТП на основании соотношения квадратичной зависимости (Рисунок 4.17).

4.3.4. Теоретические аспекты нелинейного оценивания

Для поиска более адекватных зависимостей будем также использовать пакет Statistica, который имеет достаточно продвинутые средства нелинейного оценивания в интерактивном режиме [172].

Для поиска зависимости количества ДТП по временному фактору в работе предлагается использовать общую нелинейную схему регрессии [48]:

$$y_i = f(\mathbf{X}_i, \beta) + \varepsilon_i, \quad i=1, \dots, N, \quad (4.17)$$

где $f(\mathbf{X}, \beta)$ – произвольная функция векторного аргумента \mathbf{X} , заданная с точностью до неизвестных параметров $\beta = (\beta_1, \dots, \beta_m)$.

ε_i – i -я случайная ошибка.

В данном случае метод наименьших квадратов является также наиболее приемлемым при оценивании параметров нелинейной регрессии. При этом решается оптимизационная задача минимизации функционала отклонений [48]:

$$Q(\beta) = \sum_{j=1}^N (y_j - f(x_j, \beta))^2 \rightarrow \min. \quad (4.18)$$

При поиске неизвестных параметров методом МНК-оценки используют следующую зависимость [48]:

$$\hat{\beta} = \underset{\beta}{\mathit{arg\,min}} Q(\beta). \quad (4.19)$$

Оценивание параметров регрессии может быть представлено в форме [48]:

$$\beta^{(t+1)} = \beta^{(t)} - \gamma_t [\mathbf{F}^T(\beta^{(t)}) \mathbf{F}(\beta^{(t)}) + \alpha_t \mathbf{A}]^{-1} \mathbf{F}^T(\beta^{(t)}) \mathbf{Y}(\beta^{(t)}), \quad (4.20)$$

где $\gamma_t > 0$, $\alpha_t \geq 0$, $\beta^{(t)} \in \Omega$, $t=0, 1, \dots$, \mathbf{A} – неотрицательно определенная матрица;

$\beta^{(0)} \in \Omega$ – начальное приближение параметров регрессии; вектор $\mathbf{Y}(\beta) = ((y_1 - f(x_1, \beta)), \dots, (y_N - f(x_N, \beta)))^T$.

Тогда:

$$F(\beta^{(t)}) = \left| \frac{\partial f(x_i, \beta)}{\partial \beta_i} \right|_{\beta = \beta^{(t)}} \quad i=1..N \quad i=1..m. \quad (4.21)$$

4.3.5. Анализ структуры данных с усреднением по годам

Проведем анализ структуры данных $ДТП = ДТП (Месяц, Час)$ с усреднением по годам (Таблица 4.4).

Таблица 4.4 Структура данных $ДТП = ДТП (Месяц, Час)$

	1 Мес	2 Час	3 ДТП
1	1	1	3,43
2	1	2	8,57
3	1	3	8,71
4	1	4	6,71
5	1	5	8,43
6	1	6	11,14
7	1	7	8,00
8	1	8	11,00

Диаграмма рассеяния этой зависимости имеет вид, представленный на рисунке 4.19.

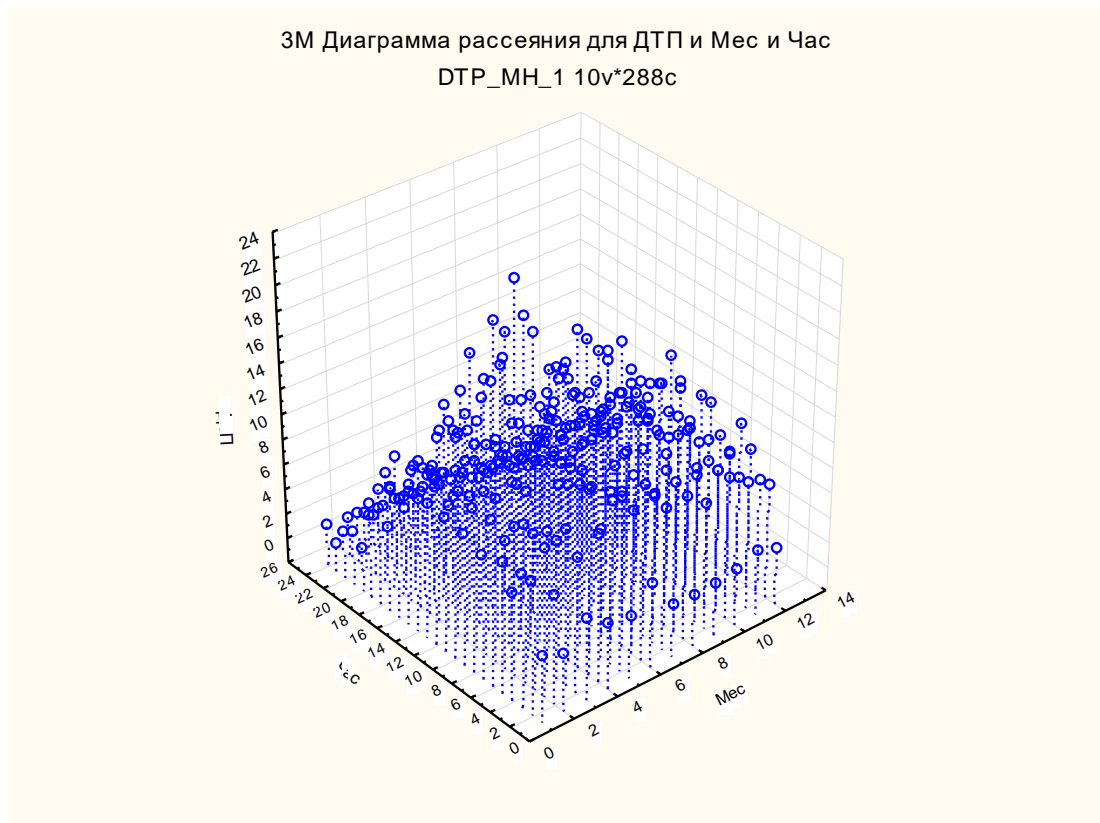


Рисунок 4.19 Диаграмма рассеяния количества $ДТП = ДТП (Месяц, Час)$

Построим нелинейные регрессии для фиксированных срезов по месяцам в виде гамма-распределения $f(t) = \frac{\lambda^n}{\Gamma(n)} t^{n-1} \exp(-\lambda t)$. Запись в пакете Statistica ДТП= $a*(L**n)*Час**(n-1)*\exp(-L*Час)$, а экранные формы ввода данных для нелинейного оценивания приведены на рисунке 4.20.

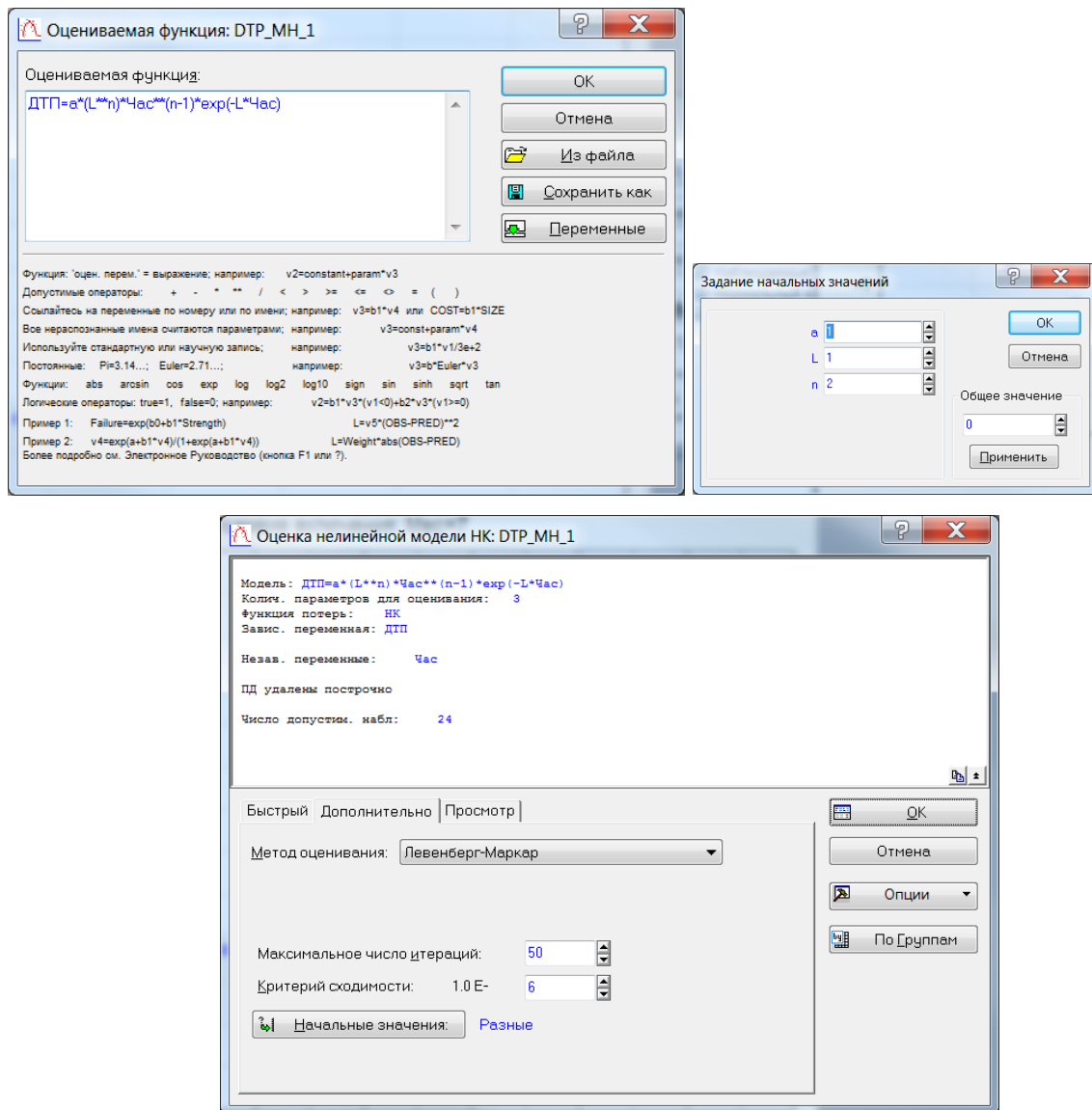


Рисунок 4.20 Экраны ввода данных для нелинейного оценивания

В результате для гамма-распределения получаем оценки параметров регрессии (Таблица 4.5), которые дают соответствующую аппроксимацию (Рисунок 4.21).

Таблица 4.5 Оценки параметров регрессии ДТП = ДТП (Месяц, Час) по гамма-распределению

Модель: ДТП=a*(L**n)*Час**(n-1)*exp(-L*Час) (DTP_MH_1)						
Зав. Пер. : ДТП						
Уров. значимости: 95.0% (альфа=0.050)						
Условие включения: Мес=7						
	Оценка	Стандарт ошиб.	t-знач. сс = 21	p-знач.	Ниж. Дов Предел	Вер. Дов Предел
a	176,4397	48,03141	3,673423	0,001415	76,55290	276,3265
L	0,1983	0,03769	5,260193	0,000033	0,11988	0,2766
n	2,4358	0,32620	7,467334	0,000000	1,75748	3,1142

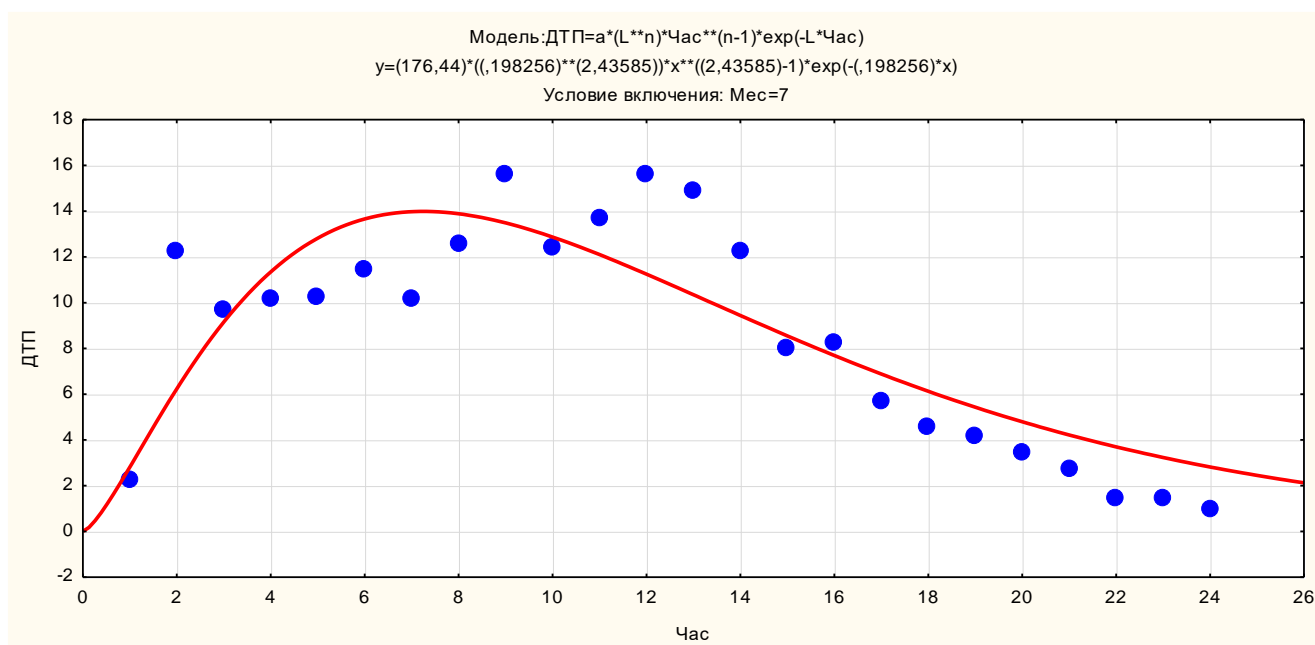


Рисунок 4.21 Нелинейная регрессия ДТП = ДТП (Месяц, Час) по гамма-распределению для фиксированного месяца

Далее построим нелинейные регрессии для усредненных по месяцам $ДТП = ДТП (Час)$ в виде гамма-распределения и распределения Релея

$$f(t) = \frac{t}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{t^2}{2\sigma^2}\right).$$

Для подборки зависимости от месяца и часа рассмотрим нелинейное приближение, усредненное по всем остальным параметрам.

Для гамма-распределения оценки параметров регрессии представлены в таблице 4.6, а сама зависимость на рисунке 4.22.

Таблица 4.6 Оценки параметров регрессии ДТП = ДТП (Месяц, Час) по гамма-распределению

Модель: $ДТП = a \cdot (L \cdot n)^n \cdot Час^{n-1} \cdot \exp(-L \cdot Час)$ (ДТП_Н_1)						
Зав. Пер. : ДТП						
Уров. значимости: 95.0% (альфа=0.050)						
	Оценка	Стандарт ошиб.	t-знач. сс = 21	p-знач.	Ниж. Дов Предел	Вер. Дов Предел
a	15751,47	3877,828	4,061931	0,000560	7687,087	23815,86
L	0,18	0,034	5,283749	0,000031	0,110	0,25
n	2,35	0,304	7,742382	0,000000	1,720	2,98

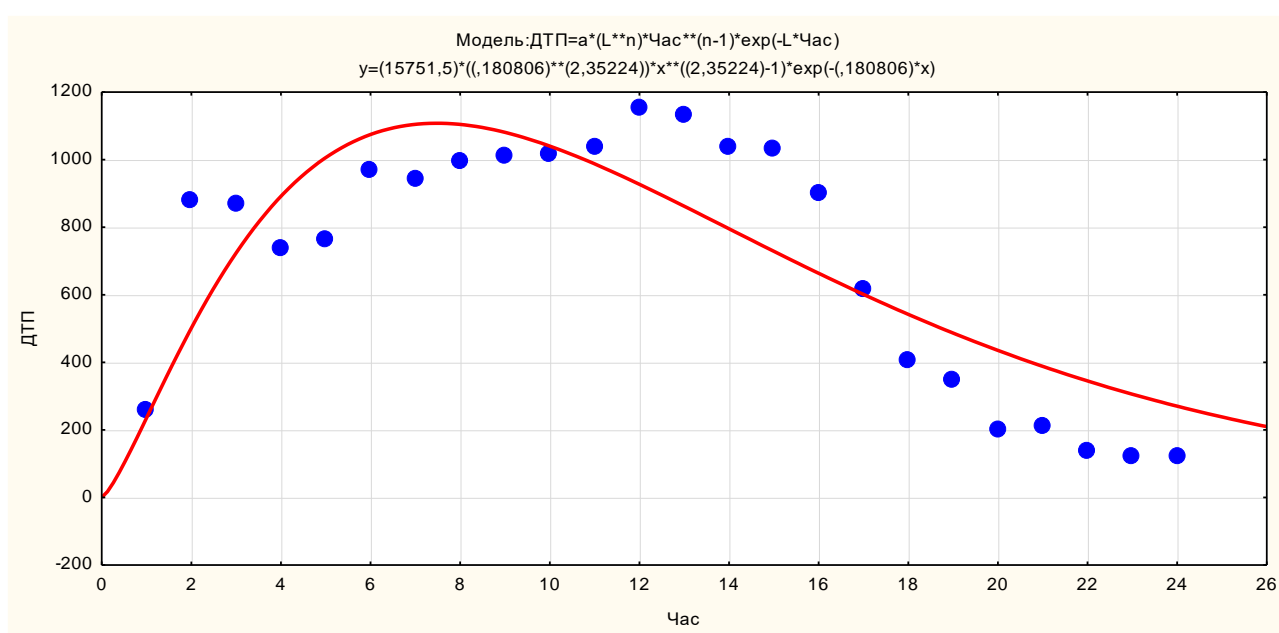


Рисунок 4.22 Нелинейная регрессия по гамма-распределению
с усреднением по месяцам

Для распределения Релея запись в пакете Statistica имеет вид $ДТП = a \cdot (Час/s) \cdot \exp(-(Час^2)/(2 \cdot s))$.

Для распределения Релея оценки параметров регрессии представлены в таблице 4.7, а сама зависимость на рисунке 4.23.

Таблица 4.7 Оценки параметров регрессии ДТП = ДТП (Месяц, Час) по распределению Релея

Модель: ДТП=a*(Час/s)*exp(-(Час**2)/(2*s)) (ДТП_Н_1)						
Зав. Пер. : ДТП						
Уров. значимости: 95.0% (альфа=0.050)						
	Оценка	Стандарт ошиб.	t-знач. сс = 22	p-знач.	Ниж. Дов Предел	Вер. Дов Предел
a	204,5637	9,895962	20,67143	0,000000	184,0407	225,0867
s	82,0154	6,152161	13,33115	0,000000	69,2566	94,7742

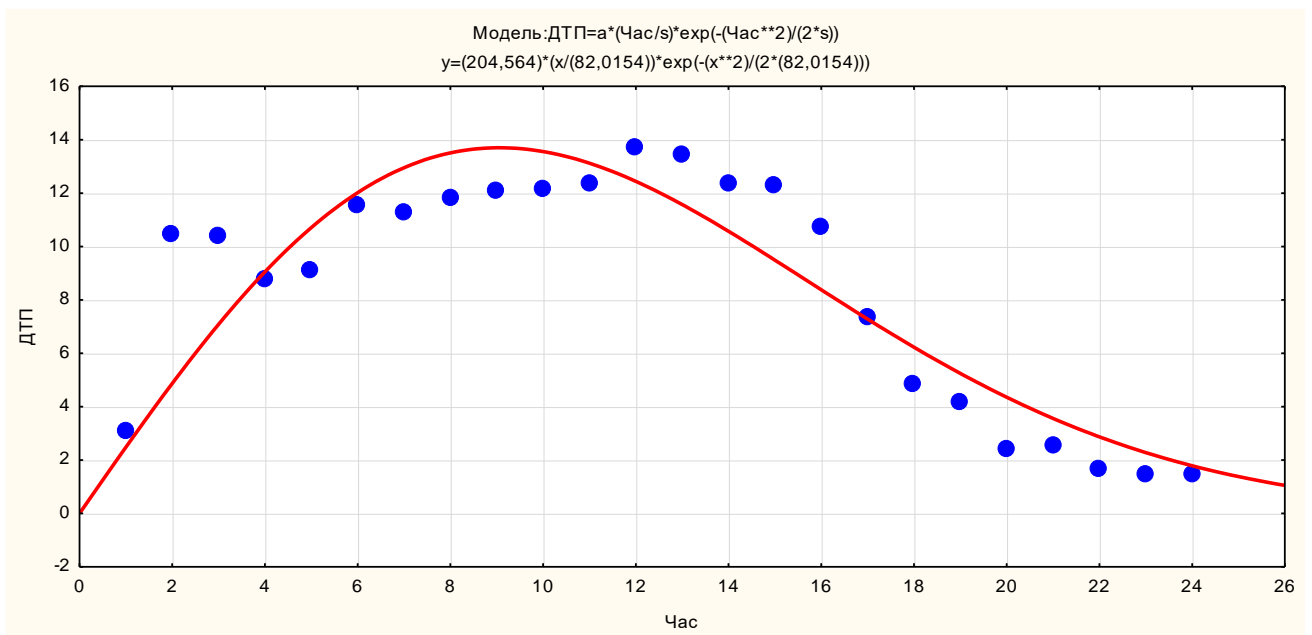


Рисунок 4.23 Нелинейная регрессия по распределению Релея с усреднением по месяцам

4.3.6. Мультипликативная регрессия

Далее в работе предлагается искать регрессионную зависимость $ДТП = ДТП$ (Месяц, Час) в виде мультипликативной функции двух переменных:

$$ДТП = a \cdot \left(\frac{Час}{s} \right) \cdot e^{-\frac{Час^2}{2s}} \cdot \left(1 - \left(\frac{Мес - 6}{b} \right)^2 \right), \quad (4.22)$$

где a – масштабный коэффициент;

s – мода распределения Релея;

b – коэффициент квадратичной формы.

Час – час суток ($Час = 1, 2, \dots, 24$);

Мес – месяц года ($Мес = 1, 2, \dots, 12$).

В пакете Statistica она имеет запись:

$$ДТП = a * (Час/s) * \exp(-(Час**2)/(2*s)) * (1 - ((Мес-6)/b)**2).$$

Для мультипликативной формы с распределением Релея оценки параметров регрессии представлены в таблице 4.8, а сама зависимость на рисунке 4.24.

Таблица 4.8 Оценки параметров регрессии ДТП = ДТП (Месяц, Час) по мультипликативной функции двух переменных

Модель: $ДТП = a * (Час/s) * \exp(-(Час**2)/(2*s)) * (1 - ((Мес-6)/b)**2)$ (DTP_MH_1)						
Зав. Пер. : ДТП						
Уров. значимости: 95.0% (альфа=0.050)						
	Оценка	Стандарт ошиб.	t-знач. сс = 285	p-знач.	Ниж. Дов Предел	Вер. Дов Предел
a	233,0001	5,313446	43,85103	0,00	222,5415	243,4587
s	82,0210	2,286073	35,87855	0,00	77,5213	86,5207
b	9,9851	0,578964	17,24657	0,00	8,8456	11,1247

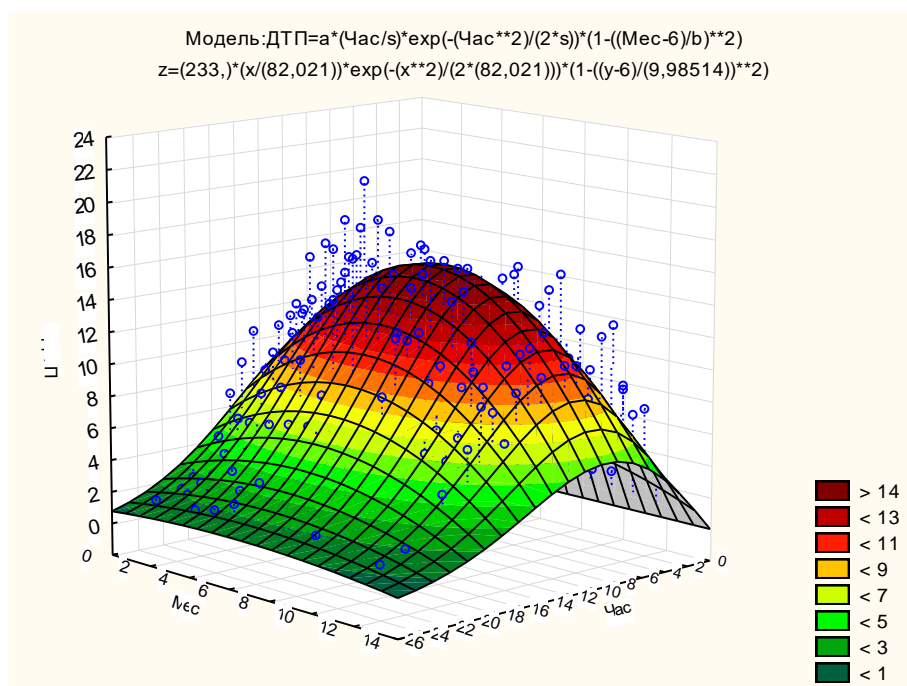
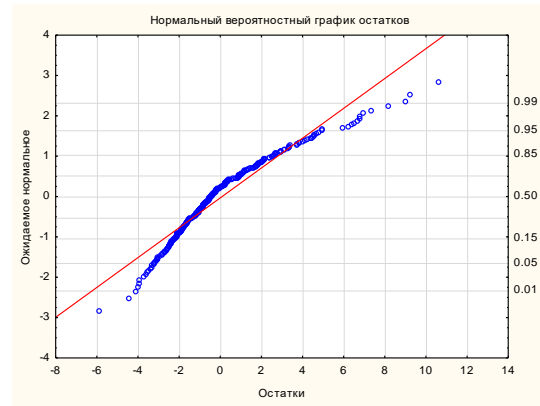
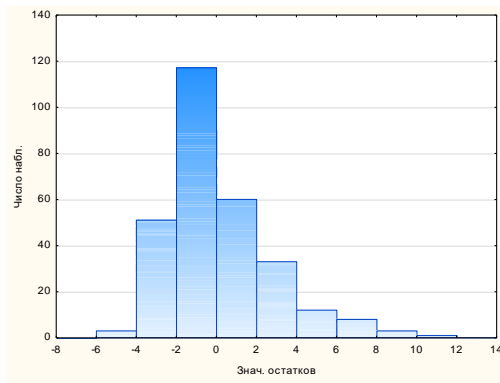


Рисунок 4.24 Нелинейная регрессия по мультипликативной регрессии

Гистограмма остатков и график нормальной вероятности (Рисунок 4.25) говорят о возможности такой аппроксимации.



а) гистограмма остатков

б) график нормальной вероятности

Рисунок 4.25 Анализ остатков нелинейной регрессии

В результате получено адекватное приближение, которое можно использовать как для прогноза, так и сравнительного анализа аварийности в городе Красноярске.

Выводы по главе 4

1. Выполнен статистический анализ временных рядов ДТП. Найдены основные закономерности и построены модели временных рядов для проанализированного класса ДТП.

2. При визуализации результатов анализа БДД в работе, помимо стандартных форм представления, предлагается использовать методы многомерного анализа данных, а именно: факторного и корреляционного анализа, а также различных вариантов графических форм представления многомерных данных.

3. Для сравнительного анализа эффективности мероприятий по повышению БДД предлагается использовать методы дисперсионного анализа, основанные на количественных и ранговых критериях.

4. Разработана методика многокритериальной оценки факторов обеспечения безопасности дорожного движения на основе новой зависимости

$$ДТП = a \cdot \left(\frac{Час}{s}\right) \cdot e^{-\frac{Ч^2}{2s}} \cdot \left(1 - \left(\frac{Мес - 6}{b}\right)^2\right)$$
 между количеством ДТП и временным фактором в виде мультипликативной функции двух переменных: месяца и часа, –

которая дает адекватные результаты с уровнем значимости 95 %. Предложенную зависимость между количеством ДТП и мультипликативной временной функцией можно использовать как для прогноза, так и сравнительного анализа аварийности в городе Красноярске.

5. ЦИФРОВИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГОРОДСКИМ ОБЩЕСТВЕННЫМ ТРАНСПОРТОМ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕРОПРИЯТИЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ГОРОДА КРАСНОЯРСКА

5.1. Схема гибридной интеграции моделей компонентов транспортной системы

Имитационная модель адаптивных алгоритмов (модель 1) управления включает набор компонентов системы:

- модели входных потоков;
- модель транспортной сети;
- автоматная схема представления адаптивных алгоритмов.

Компоненты объединены в рамках единой имитационной модели на основе событийного алгоритма формирования списка будущих событий. В таком виде она направлена на сравнительный анализ алгоритмов с возможным получением смещенных оценок относительно времен выполнения заявок. Эта методическая погрешность возникает из-за потери детальной информации моделей нижнего уровня.

Модели СеМО (модель 2) нижнего уровня также представляют компоненты системы:

- потоковая узловая модель;
- модель квантования;
- замкнутая и разомкнутая модели СеМО поведения ТС в качестве транзактов, а заявок в качестве ОА (обратная модель).

Для интеграции разработанных компонентов в диссертации предлагается использование гибридного автомата. Кроме того, в плане интеграции включается и набор функций, расширяющих возможности системы моделирования.

Естественно, что одновременное использование двух моделей (модель 1 и 2) позволит повысить адекватность результатов за счет их взаимной параметризации.

Очевидным является использование процедуры решения системы стохастических уравнений (функция системы – процедура Роббинса-Монро) [178].

В рамках решения задач оптимизации на разработанных компонентах, а также интегрированной модели предлагается использовать рекуррентные схемы процедур стохастической аппроксимации (функция системы – процедура Киффера-Вольфовица) [123].

Кроме того, объединение автоматных схем управления транспортными средствами естественным образом встраивается в схему моделирования иерархического автомата.

Для моделирования самого процесса перемещения между узлами транспортной сети предлагается использовать аналитические модели транспортных потоков, которые также можно интегрировать в схему.

В целом при моделировании транспортная система имеет дискретно-непрерывное время.

Гибридный автомат (ГА) может быть описан орграфом. Вершинам приписываются некоторые качественные состояния и непрерывные действия, которые реализуются в случае активного состояния (т.е. состояние является текущим). Главное отличие гибридного автомата состоит в независимости изменения времени и реализуемости действий $c_i = F_C(s_i)$, для состояний s_i автомата, что позволяет достаточно информативно представить динамику развития событий, а также построить статическую и динамическую структуру модели в форме параллельно действующих гибридных автоматов и явно идентифицировать специфику поведения системы для дискретных и непрерывных вариантов.

Обобщенный ГА представляет структуру $H = \{V, V^0, G\}$, где $V = V_C \cup V_D$ определяет совокупность непрерывных и дискретных переменных [52, 179, 181]:

– $V_C = \{v_i \in \mathcal{R} / i = 1..n_C\}$ определяет совокупность непрерывных переменных, которые определяют поведение локальных непрерывных компонентов системы;

– $V_D = \{v_i \in \mathfrak{R} \cup I \cup Bool \cup Str \mid i = 1..n_D\}$ определяет совокупность дискретных переменных, которые изменяют свои значения в результате выполнения мгновенных действия, и $Bool = \{false, true\}$, I и Str определяют булевские, целые и строковые значения соответственно.

V^0 определяет совокупность начальных значений.

$G = \{g, B, P, A, F\}$ содержит подструктуры $g = \{S, E, E^S, s^0\}$ с состояниями $S = \{s_i \mid i = 1..m_S\}$, $B = \{z_i \mid i = 1..m_B\}$, как локальные составляющие и определяет совокупность составляющих формирования поведения, которая предполагает использование ряда структур:

- пустой непрерывной системой $z_i = null$;
- непрерывной системой $z_i = \{v_i \cup V, v_i^0 = f(t, V), Q_i\}$;
- параллельной композицией компонентов $z_i = z_{i,1} + z_{i,2} + \dots + z_{i,n_i}$;
- обобщенным гибридным автоматом $z_i = \{v_i \cup V, v_i^0 = f(t, V), G_i\}$;
- $P = \{p_i(t, V) \in Bool \mid i = 1..m_p\} \cup \{true\}$ – множество логических предикатов.

При таком моделировании предполагается реализация процесса в непрерывном глобальном модельном времени $t \in T \subseteq [0, \infty]$. Предлагается в качестве модели верхнего уровня интегрированной транспортной системы использовать формализацию в виде обобщенного гибридного автомата.

Для разрешения этой конфликтной ситуации вводится глобальное гибридное время $h = (t, i) \mid t \in T \subset \mathfrak{R}, i \in \{0, 1, 2, \dots\}$, которое содержит как непрерывную компоненту t , так и дискретную i .

Последовательность систем $C_0, C_1, \dots, C_i, \dots, C_n$ может быть образована автоматом с состояниями S_0, S_1, \dots, S_n и не представляет технических проблем (это реализации алгоритмов управления расписанием перевозок для каждого транспортного средства) [52, 179, 181]. Обобщенный ГА имеет отличие от последовательного гибридного в том, что его состоянию может соответствовать как другой ГА, так и композиция непрерывных систем.

В общем случае иерархический гибридный автомат – это структура, в которой отдельные компоненты представляют непосредственно гибридный автомат, а некоторые – системы с непрерывным временем. При этом на терминальном, т.е. самом нижнем уровне, гиперсостоянию может соответствовать лишь последовательный гибридный автомат (Рисунок 5.1).

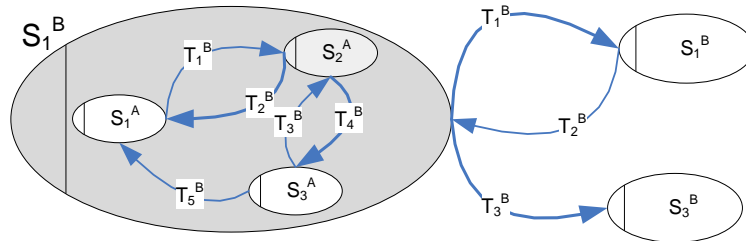


Рисунок 5.1 Иерархический гибридный автомат

Например, гиперсостоянию S_1^B исходного автомата может быть поставлен в соответствие автомат А иерархического автомата В (Рисунок 5.1). При этом состоянием (полным) ГА В будет $S_1^B.S_2^A$, а соответствующей непрерывной системой – $F_B(S_2^A)$.

5.2. Описание механизмов формального представления карты поведения

С позиций UML объект системы моделирования представляет множество переменных и поведений и является активным объектом, поскольку, независимо от поведения других, для него имеет место собственная внутренняя деятельность [175]. Поведение автомата естественным образом связано с его внутренней структурой (Рисунок 5.2).

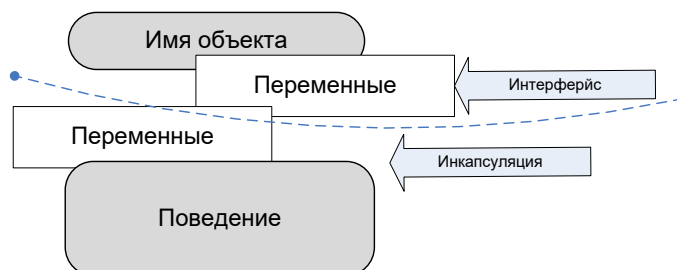


Рисунок 5.2 Поведение автомата

В общем случае формальная модель поведения объекта (Рисунок 5.3) включает: описания локальных классов; описания алгоритмических функций и процедур; задания произвольной системы уравнений; формализованную структурную схему; только одну карту поведений.

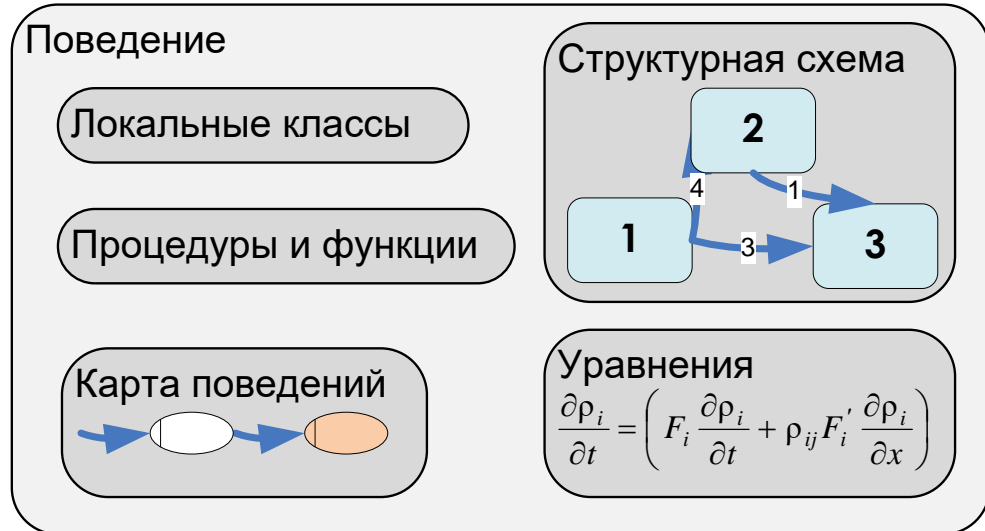


Рисунок 5.3 Формы представления моделей

В результате на основании использования любого произвольного сочетания этих компонентов возможно формирование необходимой модели поведения активного объекта. Все эти сочетания в принципе приводят к «внутренней» модели синхронного параллельного автомата.

Локальные классы применяются при формировании объектов, которые уже приписаны заданным состояниям выбранной карты поведений. Если во внешнем классе видны лишь интерфейсные переменные, то для локального класса имеет место полная видимость.

5.3. Правила интерпретации синхронного параллельного гибридного автомата

В целом структурные компоненты ГА можно сформировать различными способами, а именно: для связи между их внешними переменными (Рисунок 5.4.а), в «погружении» в ГА в некоторую вложенную структуру – компонент-контейнер –

(Рисунок 5.4. – б) или за счет «погружения» в непрерывный компонент-контейнер (Рисунок 5.4. – в).

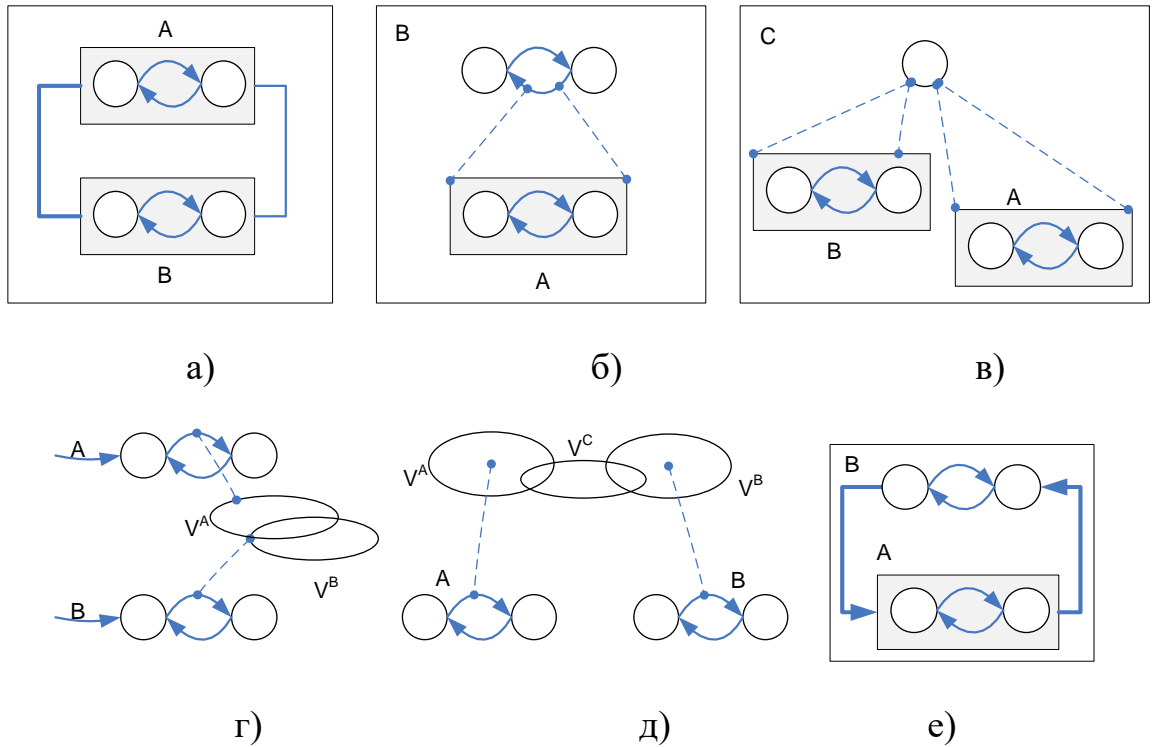


Рисунок 5.4 Объединение структурных компонентов

Если между двумя дискретными переменными имеет место мгновенная дискретная связь, то изменение одной мгновенно ведет к изменению значения другой переменной. Для первого варианта получается структура $\hat{H} = \{\hat{V}, \hat{G}\}$, в которой определено обобщенное множество подмножеств непересекающихся переменных $\hat{V} = V_1 \cup \dots \cup V_n$ (выполняется условие $V_1 \cap \dots \cap V_n = \emptyset$), а также множество графов переходов $\hat{G} = \{G_i | i = 1..n\}$.

Для второго варианта формируется несколько расширенная структура $\hat{H} = \{\hat{V}, \hat{G}, L\}$, в которой множество переменных равно $\hat{V} = V_1 \cup \dots \cup V_n \cup V^L$. Для них также выполняются условия $V_1 \cap \dots \cap V_n = \emptyset$ и $V_1 \cap \dots \cap V_n \cap V^L \neq \emptyset$, а $L = \{V^L, Q^L\}$ является моделью непрерывной системы. Множество $\hat{G} = \{G_i | i = 1..n\}$, так же как и в первом случае, представляет множество графов переходов.

В работе при построении среды интеграции моделей и моделирования транспортной системы предлагается использовать лишь параллельную синхронную композицию ГА.

Параллельный ГА генерирует n последовательных процессов, которые могут выполняться параллельно (Рисунок 5.5) и формировать новый, который представляет объединение последовательных ГА A и B .

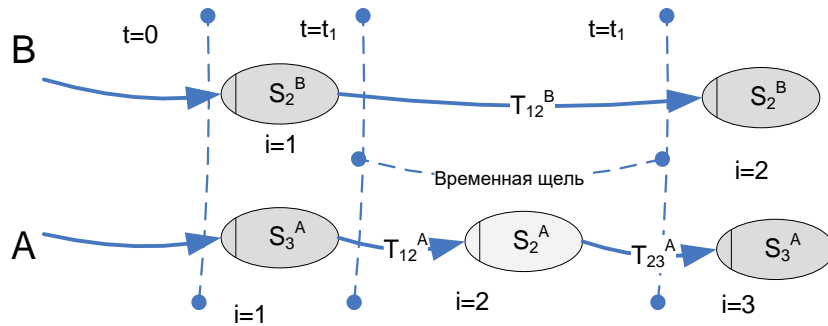


Рисунок 5.5 Расширенная структура

Обобщенное текущее состояние эквивалентного ГА представляет совокупность или вектор строку. Так, для параллельного ГА (Рисунок 5.6) в качестве начального состояния эквивалентного ГА выбирается $\hat{s}_1 = (s_1^A, s_1^B)$, что соответствует непрерывной системе $F_B(s_1^A) + F_B(s_1^B) + L$.

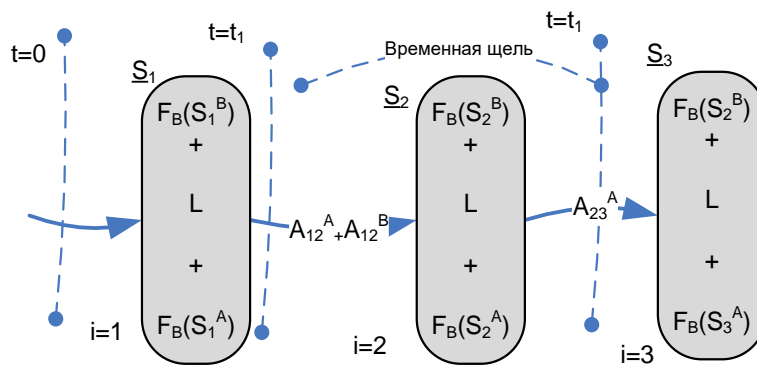


Рисунок 5.6 Карта переходов

Достаточно часто при моделировании транспортной системы логика дискретного поведения множества ее последовательных подпроцессов диктует необходимость явной синхронизации их поведения. В этих целях целесообразно

использовать механизм сигналов. Введенная переменная-сигнал может использоваться для формирования условий реализации.

В результате механизм явной синхронизации параллельных ГА с использованием сигналов дает возможность динамической реализации переходов в эквивалентном ГА в процессе его выполнения.

5.4. Моделирование транспортных потоков

При описании динамики потоков движения автотранспорта (АТ) формируется граф G транспортной сети, который представляет одну из моделей дорожной сети (ДС) [45, 102]. В данном геометрическом графе G каждое ребро параметризуется как количественными (например, число полос), так и качественными характеристиками ДС. К ним относятся: вид покрытия; направление реверсивных полос; регулирование (включая сигнализацию, разметку, знаки); освещение и другие факторы.

На основании этих факторов строится модель динамического потока ТС, а сам процесс представляется Марковским с заданной матрицей переходных вероятностей (Рисунок 5.7) [102].

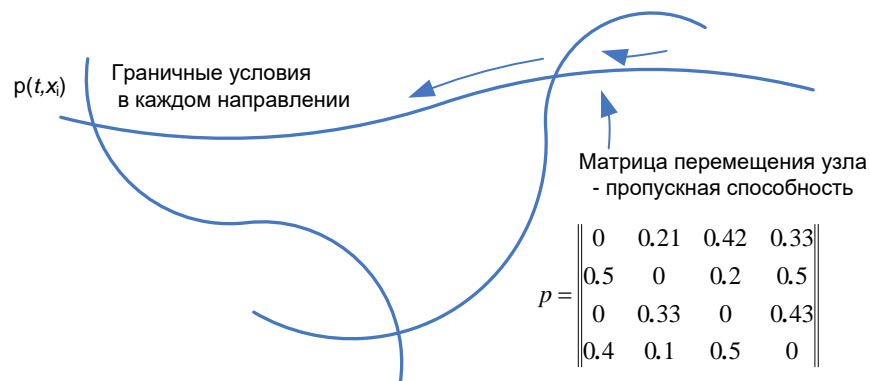


Рисунок 5.7 Фрагмент графа с начальными и граничными условиями

Пусть совокупность всех этих точек определяется множеством $S = \{s_i\}$. Изначально для этого множества точек не выполняется закон сохранения объема транспортного потока. Это может быть, как вариант локально по времени. Далее

вводится вектор-функция интенсивности $q_s(t) = (q_{s1}(t) \dots)$, которая определена для каждой точки $s \in S$, причем для всех типов автотранспортных средств, задаваемых структурными функциями (Рисунок 5.8) [102].

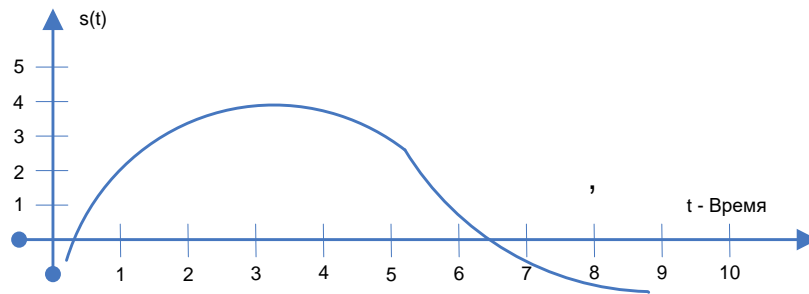


Рисунок 5.8 Зависимость интенсивности потока источника – стока

Таким образом, если $\rho_i(t,x)$ представляет плотность потока для всех АТС i – типа, то плотность распределения транспортного потока соответственно равна $h(t,x) = \frac{\rho_i(t,x)}{\rho(t,x)}$. Но каждый тип описывается собственной системой уравнений между плотностью и скоростью $v_i = F_i(\rho)$. В этом случае система дифференциальных уравнений может быть представлена в виде [102]:

$$\frac{\partial \rho_i}{\partial t} = \left(F_i \frac{\partial \rho_i}{\partial t} + \rho_{ij} F_i' \frac{\partial \rho_i}{\partial x} \right) + \sum_s q_{s_i}(t) \delta(x-s), \quad 1 \leq i \leq m. \quad (5.1)$$

Граничные условия в узлах графа $N \in G$ определяются на основании анализа совокупности матриц $M_n, n \in N$ [102]:

$$M_n = \begin{pmatrix} p_{11} & \dots & p_{1k_n} \\ & \dots & \\ p_{k_n1} & \dots & p_{k_n k_n} \end{pmatrix}. \quad (5.2)$$

В результате рассчитывается вектор-функция плотностей АТС $\rho(t,x) = (\rho_1(t,x), \dots, \rho_m(t,x))$, которая является одновременно функцией двух переменных, а именно координат и времени. Структурная функция будет

определяться соотношением $h(t, x) = \left(\frac{\rho_1}{\|\rho\|_{l_1}}, \dots, \frac{\rho_m}{\|\rho\|_{l_m}} \right)$, а вектор интенсивностей потоков $q(t, x) = (\rho_1 F_1(\rho), \dots, \rho_m F_m(\rho))$ будет также рассчитан для всех типов АТС.

5.5. Общие принципы формирования механизмов управления сетевым планированием транспортной системы города

В рамках дальнейшей формализации данной задачи предполагается использование ситуационной сети и более формальное определение нечеткой цели.

Интеллектуальные задачи всегда связаны с формальными моделями нечеткости при описании объекта управления, и им присущ ряд характерных свойств, а именно: отсутствие формализованной цели и оптимальности в классическом понимании; динамичность; уникальность; неполнота описания системы [89, 110].

В целом общие принципы СПУД и модели поддержки принятия решений, построенные на основе нечетких ситуационных сетей, позволяют сформировать конструктивную методику планирования производственной деятельности организации.

Методика включает совокупность моделей сетевого планирования, распределения ресурсов и других, необходимых для поддержки управленческой деятельности. Предполагается, что все модели имеют соответствующую программную реализацию, согласованный универсальный интерфейс и образуют базу моделей (БМ). Предложенная методика включает следующие этапы [94, 95].

1. Основой построения расчетных схем анализа являются реальные данные из учетной системы, которая хранит как оперативные, так и статистические данные о производственной деятельности.

2. На этапе формальной постановки задачи определяются главная цель (возможно, в нечеткой формализации) и частные задачи, направленные

на моделирование и визуализацию оперативных данных относительно состояния системы.

3. При решении частных и стратегических задач после их приведения к формальной постановке выполняется проверка наличия аналогичных в БМ. В результате поиска и сравнения возможны варианты адаптации имеющейся модели либо разработка новой модели.

4. Адаптация модели реализуется на основе полученных оценок текущей ситуации и согласования параметров данной задачи с множеством задач, представляющих поставленную проблему.

5. Наполнение базы моделей выполняется в соответствии с разработанными интерфейсными решениями для СПУД. Далее осуществляются занесение в БМ новой формализованной формулировки проблемы и заказ на разработку соответствующей модели.

6. Рассматривается полнота всех адаптированных задач для решения данной проблемы и выполняется переход либо на формальную постановку очередной задачи, либо параметризации полученной системы моделей.

7. Параметризация общей постановки задачи приводится в соответствие поставленным текущим целям.

8. После корректной параметризации моделей решаются задачи нижнего уровня в иерархии построения моделей с выдачей соответствующих результатов и рекомендаций по управлению производством.

9. В зависимости от того, устраивает результат или нет, возможно либо завершение этого этапа, либо корректировка параметров задач и, соответственно, моделей.

10. Выполняется проверка решенности всех задач нижнего уровня. Если все задачи решены, то реализуется переход на этап интерпретации результата.

11. Выполняется интерпретация результатов, полученных для решения задачи верхнего уровня. Создаются отработанные формы решения задач.

12. Если результат устраивает, то выполняется переход на подготовку выходных документов. Если нет, то заново повторяется весь цикл этапов.

13. Формирование выходных документов предполагает аналитический обзор проблемы и получение рекомендаций в плане формирования управленческих решений для управления производственными процессами.

5.6. Предложения по совершенствованию (реорганизации) системы управления дорожно-транспортным комплексом города

Если принять за аксиому необходимость перехода органов государственной власти от ведомственной, технологической ориентации к ориентации на нужды и задачи граждан, повышение качества жизни населения в целом, то именно потребности населения становятся основополагающими при формировании системы целей, а, значит, и направленной на достижение данных целей деятельности (процессов) и поддерживающей их реализацию технической, информационной и, наконец, организационной структуры.

Так, статьи законов по БДД определяют, что для повышения БДД необходимо четкое разделение функций между различными органами исполнительной власти. Здесь, в центре внимания стоят интересы участников дорожного движения, которые посредством транспортной системы удовлетворяют свои коммуникативные потребности.

Развивая данный подход, можно предположить, что гражданин, периодически сталкиваясь с разными проблемными (жизненными) ситуациями, рассчитывает на помощь государственных органов в их разрешении. Проблемные ситуации в ряде работ привязываются к определенным фазам жизненной активности, однако и без подобной привязки, очевидно, что каждая проблемная (жизненная) ситуация должна находиться в зоне ответственности некоторой структуры. Мало того, органы власти должны интегрировать свои усилия с целью получения конечного эффекта для населения, а организационная структура должна способствовать такой интеграции, не позволяя межведомственным барьерам создавать препятствия для успешного решения поставленных задач. На данный

момент в г. Красноярске сложилась структура, предполагающая распределение ответственности на самом верхнем уровне обобщения (Рисунок 5.9).

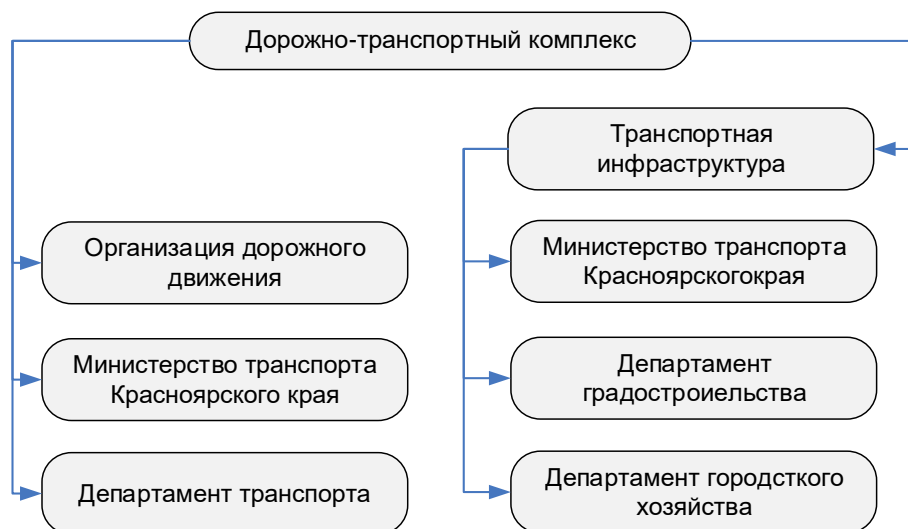


Рисунок 5.9 Схема распределения ответственности по подсферам дорожно-транспортного комплекса

Из данной схемы видно, что организация дорожного движения находится в ведении одного департамента, а обеспечение транспортной инфраструктурой – в ведение двух других департаментов. Интеграция задач ведомств осуществляется только на уровне Министерства транспорта края, что должно позволять балансировать и управлять проектами развития, однако малоэффективно для решения повседневных городских проблем.

В качестве базового предложения по совершенствованию (реорганизации) системы управления дорожно-транспортным комплексом города предлагается рассмотреть возможность создания обобщенной структуры администрации города по транспортному обслуживанию и строительству УДС.

Деятельность этого единого органа должна находиться в тесной увязке с деятельностью Департамента градостроительства, задачи которого заключаются в создании генерального плана развития города, развития УДС на перспективу жилищной застройки, согласования проектирования транспортной и маршрутной сетей города.

Примеры подобных объединений можно найти как в столице России г. Москве (Департамент транспорта и развития дорожно-транспортной инфраструктуры), так и в других городах Российской Федерации, таких как Тольятти, Липецк, Пермь.

В рамках единого департамента не должно возникать структурных конфликтов, в ходе которых перекалывают ответственность за непринятые решения, невыполненные обязательства вместо выполнения нужных городу действий и реализации обязательств перед жителями города (в том числе и предвыборных).

Если главной целью объединенного департамента станет организация дорожной деятельности в рамках решения задач проектирования дорог местного значения и соответствующее транспортное обслуживание населения в границах города, то причины конфликтов исчезнут сами по себе.

Направленность на достижение вышеуказанной цели предусмотрена целевыми программами развития дорожно-транспортного комплекса, однако данные программы ориентированы в первую очередь на успешное воплощение проектов развития, а не на текущую операционную деятельность.

Необходимо отметить, что существуют дополнительные резервы повышения эффективности деятельности в рассматриваемой области помимо предложенного объединения.

Поиск этих резервов связан с точным моделированием и реинжинирингом процессов в данной области. Например, ключевым постулатом реинжиниринга, выдвинутым еще его идеологами, является перестройка прежде всего организации деятельности, а потом уже организационной структуры. При этом организация процессов должна исключать возможные противоречия при их исполнении. Если бы даже противоречия возникали, то были бы проработаны и запущены механизмы их автоматического устранения. Однако реинжиниринг процессов требует не просто их идентификации на всех уровнях, он обязывает к максимально точному описанию, предварительному проектированию (моделированию) процесса, а также проектированию средств их информационной поддержки на основе новых

возможностей ИТ (информационных технологий). В ходе реинжиниринга предполагается перестройка организационной структуры с целью наделения полномочиями те структуры, которые используют его результат. Такая перестройка может проводиться поэтапно в процессе реализации проекта реинжиниринга.

Проведение таких преобразований требует высокой организационной культуры, понимания всеми участниками необратимости и важности изменений, нацеленности их на достижение результата для потребителей.

В существующих же условиях, когда речь идет об органах государственной власти, где невозможно сразу и быстро добиться смены ценностной парадигмы (приоритета «удовлетворенности» гражданина над «удовлетворенностью» вышестоящих инстанций), более эффективным способом является принудительное изменение структуры, подразумевающее (но, впрочем, не гарантирующее) также изменение деятельности. Здесь уместнее говорить о подходе, популярном в 50 - 60 гг. прошлого века – «управлении по целям», краткая суть которого сводится к постановке сотрудникам подразделений задач по установлению критериев оценки их деятельности и предоставлению требуемых ресурсов, но механизмы решения задач и достижения целей не определяются и оставляются на усмотрение ответственных исполнителей.

Таким образом, технологии организационного инжиниринга позволят системно и точно определить состав необходимых задач (процессов), установить требования к этим процессам, показатели эффективности процессов и закрепить за исполнителями не только показатели, но и предварительно максимально точно спроектированные процессы. Без подобных мероприятий любые изменения организационной структуры не гарантируют быстрого достижения требуемой эффективности деятельности.

Основными зонами ответственности предлагаемого органа администрации являются:

- организация транспортного обслуживания;

- информирование по возможным решениям в сфере транспортного планирования;
- формирование этапов сетевого плана в сроках принятия бюджета;
- ведение документооборота на строительство и содержание объектов транспортной инфраструктуры;
- формирование глобальных проектов организации движения;
- выступать заказчиком на всех этапах строительства и содержания УДС;
- информационная поддержка в плане организации дорожного движения;
- проектирование и модернизация маршрутной сети общественного транспорта;
- и другие функции.

Фактически большая часть процессов, идентифицированная при создании модели «как есть», должна оказаться в ведении нового департамента. И, следовательно, не менее важным является вопрос распределения задач внутри единого Департамента дорог и транспорта.

Естественно, что следует исходить из подхода к распределению функционала между подразделениями, основанного на лучшей практике организационного проектирования:

Помимо «основных процессов», непосредственно связанных с реализацией целевого назначения дорожно-транспортного комплекса и ориентированных на внешних потребителей его услуг, выделяются «процессы обеспечения (сервисные)», поставляющие внутренние ресурсы и услуги основным процессам. Под «внутренними ресурсами и услугами» понимаются материально-техническое, финансовое, информационное обеспечение, обеспечение человеческими ресурсами и ресурсами отношений. Закрепление обеспечивающей деятельности производится за так называемыми сервисными службами, сформированными по технологическому принципу.

При этом сервисные службы [113, 115]:

- несут ответственность перед функциональными подразделениями (подразделениями, исполняющими основные процессы) и оцениваются по критериям, связанным с их удовлетворенностью предоставляемыми услугами;
- не работают с письмами граждан и не отвечают напрямую за целевую результативность работы функциональных подразделений;
- распоряжаются средствами, которые выделяются функциональным подразделениям из бюджета;
- укомплектованы необходимыми (техническими) специалистами.

Ниже приведены примеры сервисных подразделений департаментов Администрации г. Красноярска (Рисунок 5.10). На рисунке сервисные службы департамента заштрихованы.

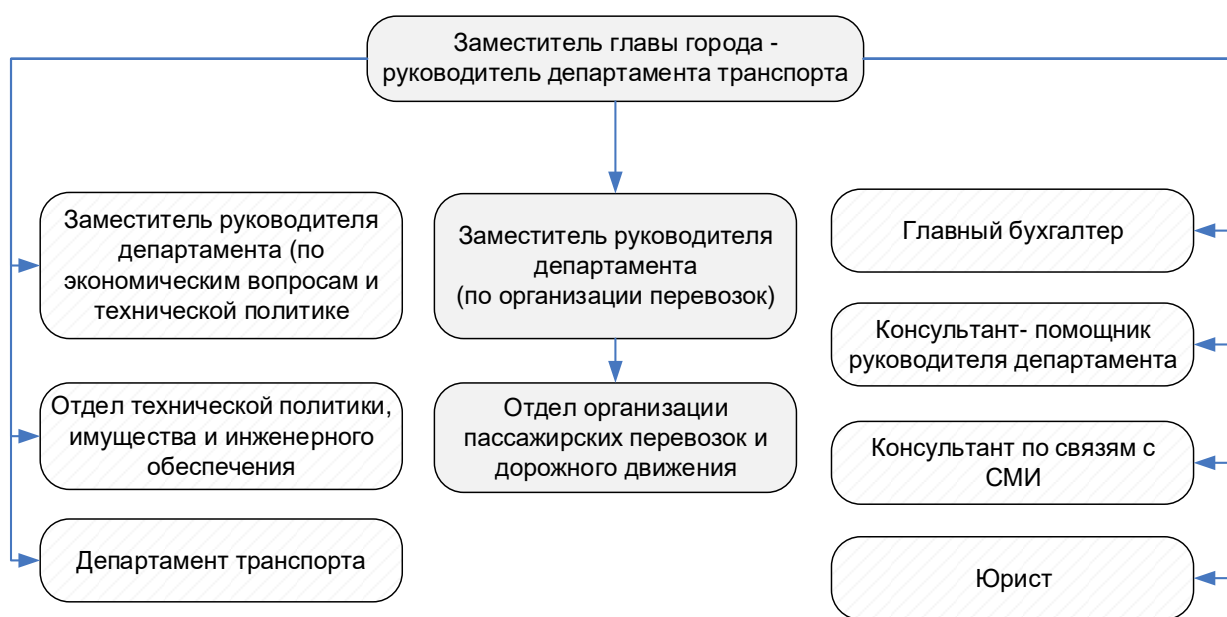


Рисунок 5.10 Сервисные подразделения департаментов
Администрации г. Красноярска

Примечательно, что на 5 сервисных подразделений приходится одно «основное». Сервисные службы Департамента городского хозяйства на рисунке (Рисунок 5.11) заштрихованы.

Из данного рисунка (в сравнении с предыдущим) видно, что в структуре Администрации г. Красноярска отсутствует единообразие в выделении сервисных

служб. В соответствии с лучшей практикой главным принципом их выделения должна быть специализация по видам предоставляемых сервисов и ресурсов.

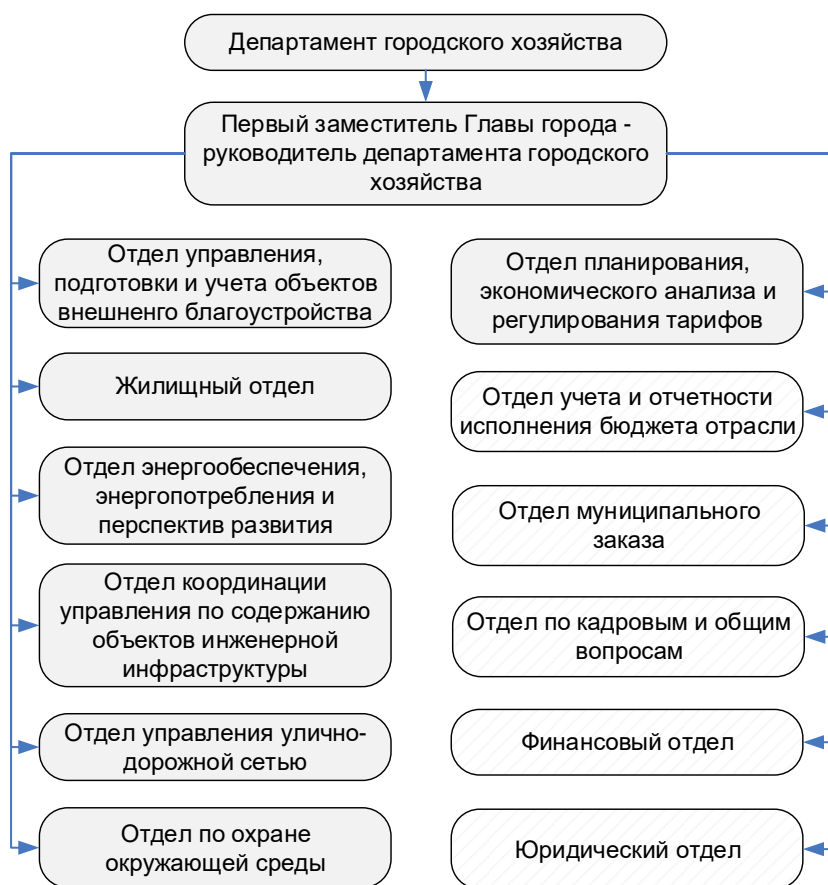


Рисунок 5.11 Сервисные службы Департамента городского хозяйства

При распределении полномочий по подразделениям предлагается отталкиваться от традиционного выделения следующих уровней управления, а именно: стратегического, тактического и оперативного.

Прежде всего, это касается основной деятельности. Но важно, что внутри сервисных служб (или сервисных систем) также присутствуют все обозначенные ранее уровни управления, начиная от стратегического (например, стратегия обеспечения человеческими ресурсами) и заканчивая оперативным (оперативное руководство подбором персонала и закрытием вакансий).

На стратегическом уровне определяются приоритеты и направления развития: операционный уровень – это планирование достижения требуемых значений показателей результативности, состава работ и требуемых ресурсов

на горизонте от года до недели; оперативный – это непосредственное управление исполнением основных процессов, их администрирование и диспетчирование.

5.7. Развитие инфраструктуры интеллектуальных транспортных систем в рамках функционирования общественного транспорта общего пользования

Планируемые транспортно-пересадочные узлы (ТПУ) регионального значения приняты в соответствии с Генеральным планом г. Красноярска. Первоочередные ТПУ и остановочные пункты городского значения расположены в узловых точках сети скоростного автобусного транспорта.

В соответствии с Генеральным планом Красноярска строительство ТПУ планируется в нескольких точках: ТПУ «Западный», ТПУ «Красноярск – Пассажирский», ТПУ «Северное шоссе», ТПУ «Восточный», ТПУ «Южный».

В соответствии с существующими планами ООО «КрасПригород» строительство ТПУ планируется на станции Мясокомбинат (нынешняя станция «Бугач», ТПУ «Западный») – 2-й этап реконструкции, «Северной шоссе» – 2-й этап реконструкции, «Красноярск – Северный» – 1-й этап реконструкции, «Шинный завод» (ТПУ «Восточный») – 2-й этап реконструкции, «Злобино» (1-й этап реконструкции), «Бобровый лог» (2-й этап реконструкции), «Красноярск – Пассажирский».

В соответствии с Дорожной картой по реализации мероприятий региональной программы «Благоустройство и инфраструктурное развитие г. Красноярска планируется строительство ТПУ «Красноярск – Пассажирский», «Красноярск – Северный», «Восточный», а также строительство ТПУ «Тихие Зори» и «Северное шоссе».

На основе Генерального плана и Проекта планировки территории жилого района «Тихие Зори», ТПУ «Южный» строится на базе проектируемой железнодорожной станции «Тихие Зори». Основной функцией прочих ТПУ, принятых в Генеральном плане Красноярска, – ТПУ «Северное шоссе» и ТПУ

«Западный» – является разгрузка автовокзала на улице Взлетная, в том числе, обеспечение сообщения с аэропортом Емельяново. Помимо этого, ТПУ «Западный» обеспечивает связь ул. Калинина с железнодорожной станцией Бугач.

Связь северо-западного въезда в город (ул. Калинина – ул. Маерчака) будет осуществляться при помощи остановочного пункта «Путепровод», где будет осуществляться пересадка на «городскую электричку» и пригородные электропоезда, обслуживающие агломерацию Красноярска, и скоростной автобусный транспорт.

Таким образом, обслуживание клиентских групп может быть осуществлено без строительства ТПУ «Северное шоссе» и «Западный».

Первоочередными ТПУ на период проведения Универсиады приняты ТПУ «Центральный вокзал», ТПУ «Северный», ТПУ «Восточный» (включающий реконструкцию станции «Шинный завод»).

Помимо ТПУ, совершенствование транспортного обеспечения осуществляется путем создания остановочных пунктов городского значения.

Для выбора мест будущих остановочных пунктов было выбрано несколько условий:

- пересечение нескольких видов транспорта (для обеспечения мультимодальности в Красноярске было выделено несколько мест пересечения популярных маршрутов городского транспорта (в т.ч. скоростного автобуса) друг с другом и с городской электричкой в непосредственной близости существующих платформ);

- наличие технической возможности для переноса остановок общественного транспорта и городской электрички с целью организации быстрой пересадки (до 5-10 минут);

- наличие свободных территорий в непосредственной близости от пересадочного узла для организации перехватывающих парковок и торговых павильонов.

Планируется создание следующих остановочных пунктов городского значения, связанных с проектом «Городская электричка» (по Генеральному плану – остановочные пункты) (Рисунок 5.12):

- «Студенческая»,
- «Путепровод»,
- «Бобровый лог».

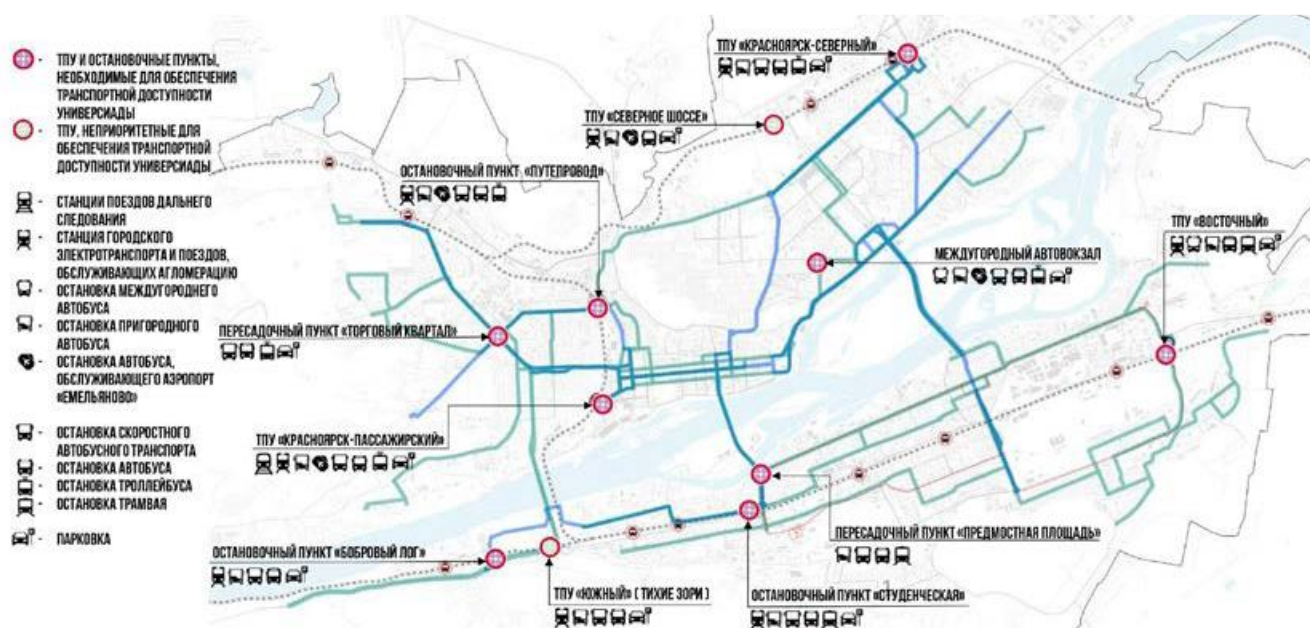


Рисунок 5.12 Остановочные пункты городского значения, связанные с проектом «Городская электричка»

К пересадочным пунктам Красноярска (ТПУ и остановочным пунктам городского скоростного значения) предъявляются общие требования [99]:

- высокая скорость пересадки (расположение павильонов и остановочных пунктов в непосредственной близости друг друга, расположение пешеходных переходов и дорожек на пути движения основных потоков пассажиров);
- возможность быстрого доступа к перехватывающим парковкам (если таковые имеются);
- защита от атмосферных осадков;
- наличие пандусов, поручней; при перепадах рельефа более 2 м – устройство электрических подъемников для инвалидов кресел;

- повышенный бортовой камень в местах подъезда общественного транспорта к остановочному пункту для обеспечения посадки пассажиров на одном уровне с полом транспортного средства;

- ветрозащита открытых павильонов;
- постоянная уборка снега в зимнее время.

В рамках реконструкции ТПУ «Восточный» необходимо предусмотреть реконструкцию станции «Шинный завод» с созданием удобной транспортной связи между автовокзалом и станцией. Помимо этого, необходимо создать описанную выше сеть остановочных пунктов городского значения.

Строительство ТПУ «Северное шоссе» является неприоритетным, т.к. функция этого ТПУ во многом дублирует функции ТПУ «Красноярск – Северный». Строительство ТПУ «Южный» также не является приоритетным, поскольку его функция дублирует функции остановочного пункта «Бобровый лог», через который будет осуществляться обслуживание Фанпарка «Бобровый лог» и Ледового дворца спорта с помощью линии скоростного автобусного транспорта.

Проведено исследование территорий города Красноярска с целью определения оптимальных мест расположения транспортно-пересадочных узлов (Рисунки 5.13 и 5.14).

Территории расположения перспективных транспортно-пересадочных узлов были проанализированы с точки зрения их возможностей вместить комплекс сооружений ТПУ и дополнительные точки притяжения.

В описании ТПУ приведены краткие предложения по развитию перспективных территорий.

В соответствии с Генеральным планом Красноярска, со стороны Николаевки параллельно железной дороге планируется создание ул. Челюскинцев, в створе переулка Заливного планируется строительство путепровода через Ж/Д пути, идущего к югу от Красноярского вокзала. Существующий надземный пешеходный переход и подходы к нему в Генеральном плане не отражены.

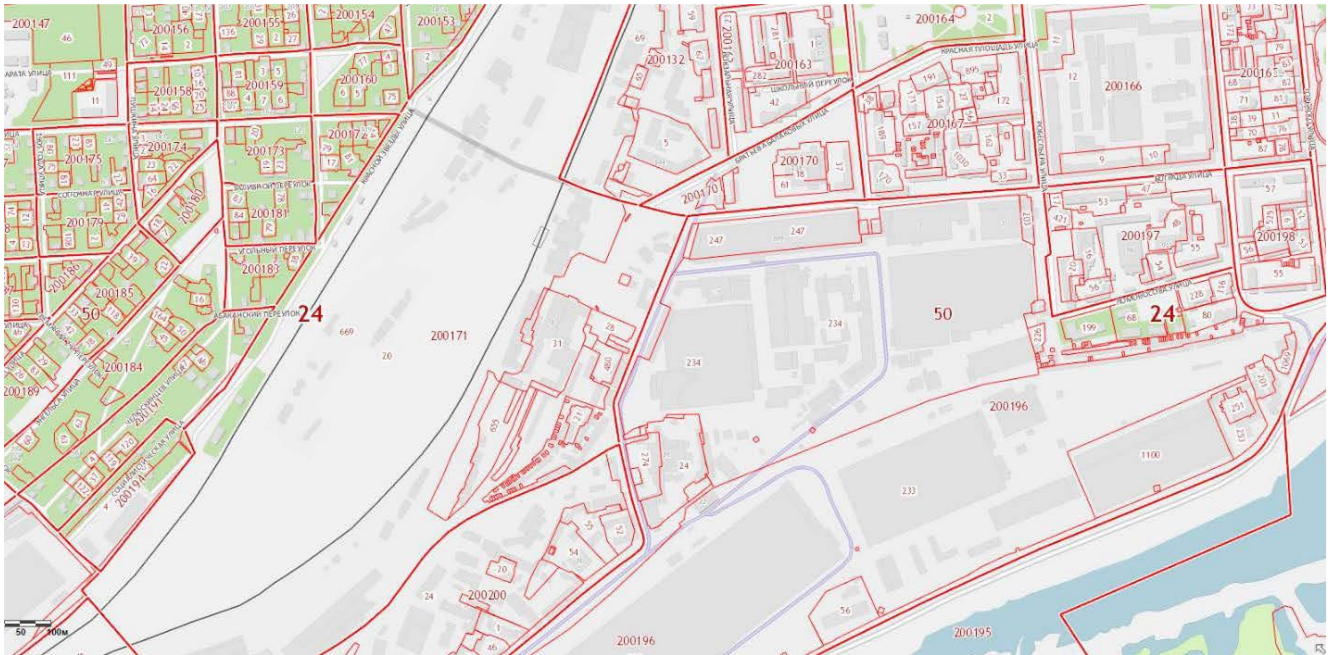


Рисунок 5.13 Выдержка из Публичной кадастровой карты



Рисунок 5.14 Выдержка из Генерального плана города Красноярск

В рамках развития предполагается реконструкция Привокзальной площади [97].

Площадь перед вокзалом – место расположения будущего ТПУ – в настоящее время используется как остановка общественного транспорта с парковкой перед вокзалом. В будущем необходимо создание остановочных павильонов скоростного автобусного транспорта с организацией пешеходной среды (строительством двух пешеходных переходов с противоположных сторон павильонов) (Рисунок 5.15).

Для организации подъезда к переходу рекомендуется создание остановки кольцевого автобусного маршрута, следующего в районе ул. Ладо Кецховели – Новосибирской – пр. Свободного, следующего с ул. Карла Либкнехта на ул. Богграда. Указанный маршрут обеспечит уменьшение пассажиропотока через ул. Копылова и Путепровод.

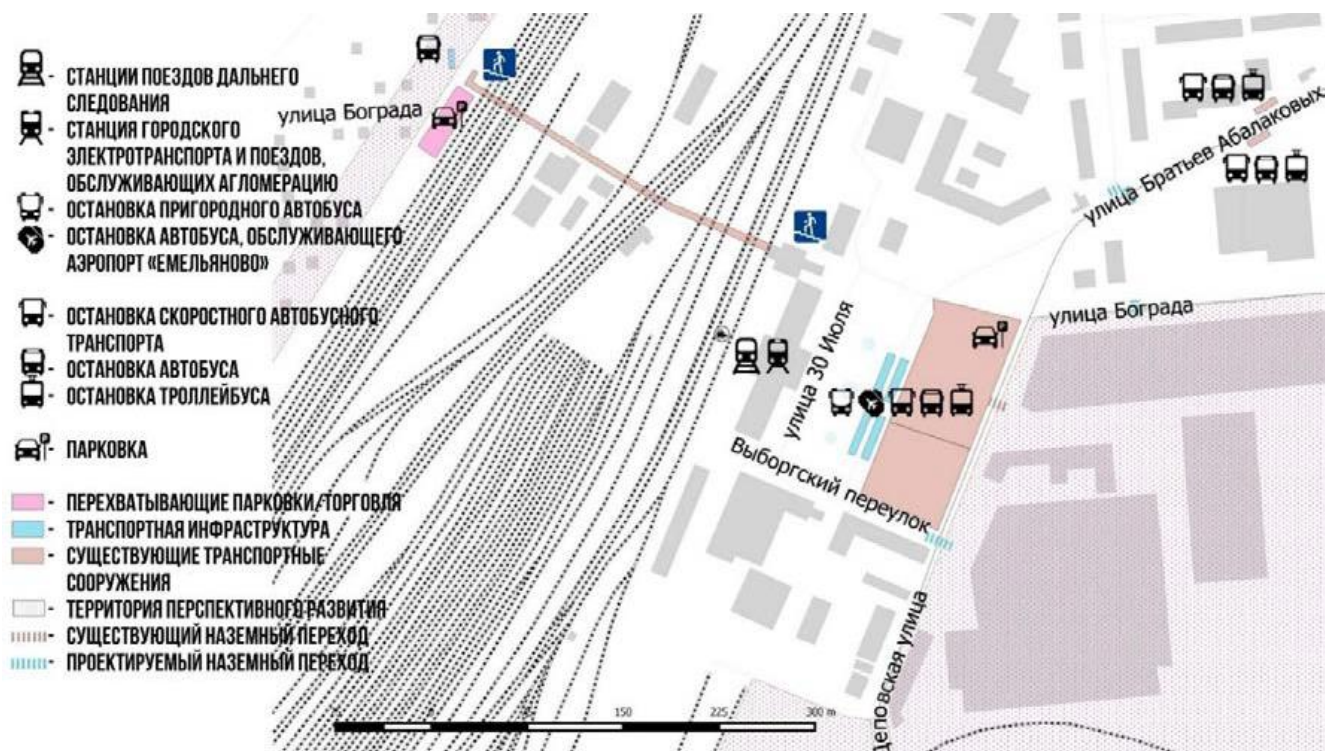


Рисунок 5.15 Концептуальное предложение по зонированию территории

Планируемый ТПУ «Восточный» включает реконструкцию автовокзала «Восточный» и организацию пересадки между транспортом автовокзала и городской электричкой (остановочным пунктом «Шинный завод»), расположенной в 600 м к югу. ТПУ «Южный» – важный пересадочный узел для пассажиропотока, идущего с востока Красноярской агломерации. Транспортно-пересадочный узел связывает остановочные пункты автобуса, пригородного автобуса, междугороднего автобуса, трамвая, городской электрички, а также электропоездов, обслуживающих Красноярскую агломерацию.

В непосредственной близости остановочного пункта «Шинный завод» планируется расположить перехватывающую парковку.

Необходимо также предусмотреть реконструкцию вокзала с организацией павильонов ожидания трамвая, а также модернизацию остановочного пункта «Шинный завод» с разворотной площадкой для остановок общественного транспорта и перехватывающей парковкой.

Автовокзал «Восточный» Красноярска обслуживает восточное направление пригородного и междугороднего сообщения города. В 150 – 200 м к югу расположены платформы станции «Шинный завод».

Автовокзал «Восточный» – конечный – остановочный пункт маршрутных такси, следующих в направлении посёлка Зыково с интервалом около 30 минут.

В непосредственной близости автовокзала располагаются автобусные остановки на ул. Глинки и вокруг торгового комплекса «Восток».

Территорию между ул. Семафорной и автовокзалом занимают железнодорожная инфраструктура Красноярского завода деталей трубопроводов и зона озеленения. Благоустроенная пешеходная связь между платформой и автовокзалом отсутствует.

На территории между ул. Семафорной и платформой «Шинный завод» в настоящий момент располагается лесоторговая база. В соответствии с Публичной кадастровой картой, участок под базу не выделен.

Ул. Тамбовская, расположенная к востоку от платформы «Шинный завод», пересекает железнодорожные пути Красноярской железной дороги и завода деталей трубопроводов по путепроводу.

К юго-западу от платформы расположен завод «Стройтехника». Между заводом и железной дорогой проходит ул. Томская.

К юго-востоку от платформы расположен Шинный завод. На съезде с путепровода на Тамбовской улице в 200 м. от железнодорожной станции располагается автобусная остановка «Шинный завод» (рисунок 5.16).



Рисунок 5.16 Выдержка из Публичной кадастровой карты

В соответствии с Генеральным планом Красноярска территории в непосредственной близости платформы «Шинный завод» относятся к зоне железнодорожного транспорта (Рисунок 5.17).



Рисунок 5.17 Выдержка из Генерального плана Красноярска

Кроме того, необходимо проведение реконструкции автовокзала «Восточный» и создание остановки общественного транспорта на территории между железной дорогой и улицей Семафорной.

Существующий автовокзал используется в качестве конечного пункта пригородных автобусов и автобусов дальнего следования с площадками для отстоя транспорта.

В непосредственной близости автовокзала через ул. Глинки в районе остановочных пунктов общественного транспорта необходимо организовать наземный пешеходный переход.

Около железнодорожной станции «Шинный завод» необходимо создание разворотной площадки общественного транспорта. На эту площадку следует перенести конечные остановки части городских автобусных маршрутов с автовокзала «Восточный». Предлагается предусмотреть заезд автобусов данных маршрутов к автовокзалу «Восточный» по пути следования к центру города, что позволит создать дополнительную интеграцию с пригородными маршрутами и трамвайной сетью.

Разворотную площадку в непосредственной близости станции необходимо оборудовать крытыми павильонами ожидания, к западу от разворотной площадки необходимо организовать перехватывающую парковку с обустройством заезда с улицы Семафорной. Дополнительную перехватывающую парковку следует разместить к югу от железнодорожной станции, с обустройством заезда с улицы Томской. Необходимо также создать возможность безопасного перехода ж/д путей между платформами станции «Шинный завод».

Перспективное развитие ТПУ возможно на территориях, примыкающих к перехватывающим парковкам на улицах Семафорной и Томской с запада: следует рассмотреть возможность расширения парковки и строительства обслуживающей инфраструктуры ТПУ (Рисунок 5.18).

По улице Тамбовской планируется строительство ветки трамвая. В рамках организации ТПУ необходимо создание остановочных пунктов трамвая вблизи существующих автобусных остановочных пунктов «Восточный автовокзал» и

«Шинный завод», что обеспечит быструю скорость пересадки между трамваем и прочими видами транспорта.

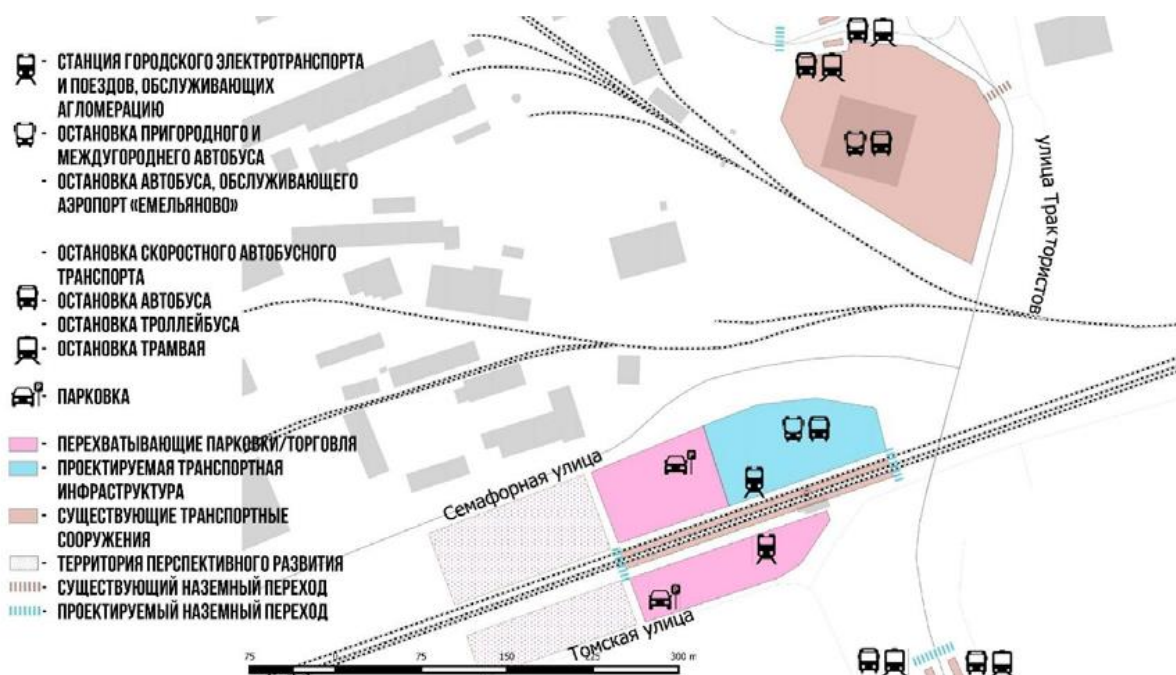


Рисунок 5.18 Концептуальное предложение по зонированию территории

В районе остановочных пунктов на улице Тамбовской необходимо создание пешеходного перехода. Между остановкой автобуса и планируемой остановкой трамвая «Шинный завод» и платформами станции «Шинный завод» необходимо организовать благоустроенный маршрут движения пешеходов (Рисунок 5.19).



Рисунок 5.19 Визуализация предложенной концепции

Меры по модернизации ТПУ.

1. Создание разворотной площадки общественного транспорта с остановочными павильонами на территории между железной дорогой и улицей Семафорной.
2. Реконструкция посадочных платформ и павильонов билетных касс, установка видеонаблюдения, оборудование станции с пожароохранной сигнализацией с выводом на пульт МЧС.
3. Реконструкция платформы «Шинный завод» и пересадочных пунктов в соответствии с требованиями для МГН, организация защиты от атмосферных осадков, организация безопасного перехода через ж/д пути.
4. Организация перехватывающих парковок в непосредственной близости станции «Шинный завод».
5. Строительство крытых павильонов ожидания автовокзала «Восточный».
6. Ремонт асфальтобетонного покрытия вокруг автовокзала «Восточный».
7. Реконструкция основного павильона ожидания автовокзала «Восточный».
8. Демонтаж нелегальных торговых павильонов в районе автовокзала.
9. Строительство павильонов ожидания трамвая, создание пешеходного маршрута между павильонами и автовокзалом «Восточный», в том числе организация пешеходного перехода через ул. Глинки.
10. Строительство и оборудование периметра зон транспортной безопасности, зон досмотра пассажиров, создание подразделений транспортной безопасности.
11. Создание пешеходной связи проектируемой трамвайной остановки на улице Тамбовской и платформ станции «Шинный завод», организация пешеходного перехода через улицу Тамбовскую в районе остановочных пунктов.
12. Благоустройство территории на основных путях следования пассажиров с установкой указателей по ходу движения и навигационных материалов на всех остановочных пунктах.

Реализация мероприятий в рамках цифровизации транспортной системы города Красноярска может быть представлена поэтапно.

В 2018 году внедрен первый этап АСУДД 24.

Выполнены работы по внедрению новой платформы АСУДД 24, установлено 10 детекторов, все светофорные объекты переведены в АСУДД 24.

Внедрены основные модули АСУДД 24:

- «Светофорного регулирования»;
- «Координированного управления».

Произведена интеграция с системой мониторинга общественного транспорта и камер видеонаблюдения провайдеров (Красмикс, Орион, 24Око), КГКУ «Крудор».

Благодаря круглосуточному наблюдению за улично-дорожной сетью ведётся автоматический сбор и накопление статистических данных, характеризующих транспортные потоки (скорость, загруженность, интенсивность, длины заторов).

В 2019 году внедрен 2 этап АСУДД 24.

Расширены возможности АСУДД 24. Установлено дополнительно 55 детекторов движения транспорта, серверное оборудование, средство коллективного отображения информации, бесперебойное электропитание центра мониторинга, организовано резервирование информации АСУДД 24.

Внедрена программа микромоделирования PTV Vissim 11.01, позволяющая моделировать режимы работы на 20 светофорных объектах, размер моделируемой улично-дорожной сети 10x10 км.

Внедрение системы АСУДД 24 позволило:

- увеличить пропускную способность улично-дорожной сети;
- централизованно управлять дорожным трафиком;
- оперативно получать информацию о загрузке и состоянии УДС.

В 2020 году внедрен 3 этап АСУДД 24.

На 6 светофорных объектах установлены контроллеры нового поколения «Поток» и интеллектуальное табло вызывное – пешеходное. На улично-дорожной сети установлено 23 детектора транспорта.

Разработано программное обеспечение по автоматизации оперативного реагирования и обратной связи подрядных организаций, осуществляющих работы по обслуживанию объектов АСУДД, ТСРДД, УДС и ОВБ г. Красноярска.

В структуру ПО включены следующие модули:

- рабочее место администратора системы;
- рабочее место оператора;
- интеграции с внешними системами;
- аналитика;
- инструкция;
- оповещения пользователей;
- приложения инфопанель;
- хранения и описания данных системы;
- резервного копирования данных.

Установлено дополнительное серверное оборудование для данного ПО. Расширено ПО модуль моделирования VISSIM, позволяющее моделировать режимы работы на 50 светофорных объектах, при этом размер моделируемой улично-дорожной сети 100x100 км.

Сбор статистической информации о параметрах транспортного потока (средняя скорость, количество транспорта – общее и по каждой полосе, плотность (занятость полос) транспортного потока) на участках улично-дорожной сети. На основании полученной информация на светофорном объекте ул. Березина-ул. Шахтеров в декабре 2020 года введен режим адаптивного управления.

Согласно Постановлению Правительства Российской Федерации от 21.12.2019 № 1762 «Об утверждении Правил предоставления и распределения в 2020 – 2024 годах иных межбюджетных трансфертов из федерального бюджета бюджетам субъектов Российской Федерации в целях внедрения интеллектуальных транспортных систем, предусматривающих автоматизацию процессов управления дорожным движением в городских агломерациях, включающих города с населением свыше 300 тысяч человек, в рамках федерального проекта «Общесистемные меры развития дорожного хозяйства» государственной

программы Российской Федерации «Развитие транспортной системы» разработан проект «Внедрение интеллектуальных транспортных систем» (далее – ИТС), предусматривающих автоматизацию процессов управления дорожным движением в городских агломерациях, включающих города с населением свыше 300 тысяч человек» в г. Красноярске, который включает в себя три этапа (2020, 2021, 2022 год).

В 2020 году, согласно подготовленному контракту, выполнены работы по внедрению 1-го этапа проекта ИТС:

- установлено 130 детекторов;
- создана платформа ЕПУТС (Единая платформа управления транспортными системами);
- ПО Модуль координированного управления движением;
- ПО Модуль конфигурации сценарных планов управления движением;
- ПО Модуль контроля эффективности ИТС;
- ПО Модуль Геоинформационная система сбора, хранения, анализа и графической визуализации данных;
- ПО Модуль Подсистема мониторинга параметров транспортного потока;
- ПО для интеграции «АСУДД24» в Единую платформу управления транспортными системами.

Получаемая информация отображается в онлайн-режиме не только на рабочем месте инженера, но и на видеостене, на мобильных устройствах руководителей профильных служб.

В настоящее время в г. Красноярске функционируют следующие технические средства организации дорожного движения:

- 240 детекторов транспорта;
- 506 светофорных объектов, которые переведены в ИТС;
- на 8 светофорных объектах – контроллеры нового поколения «Поток», позволяющие ввести режим адаптивного управления.

5.8. Эффективность мероприятий совершенствования транспортной системы города Красноярска

Результаты настоящего исследования нашли свое отражение в мероприятиях по совершенствованию организации транспортного обслуживания населения в городе Красноярске. Так, с 2018 по 2021 год на основе выполненных оптимизационных расчетов поэтапно была сформирована структура парка подвижного состава, наиболее рационально подходящая под потребности перспективного развития города.

В структуру парка вошли автобусы, троллейбусы и трамваи, представленные транспортными средствами малого, среднего, большого классов вместимости (Таблица 5.1) [105].

Таблица 5.1 Изменение количества парка подвижного состава пассажирского транспорта города Красноярска

Год	Количество подвижного состава, ед.			Итого
	Автобусы	Троллейбусы	Трамваи	
2018	1143	102	58	1303
2019	1157	102	58	1317
2020	1127	97	58	1282
2021	1064	129	66	1259

Реализация мероприятий настоящего исследования позволила сократить потребность в маршрутных транспортных средствах с 1303 до 1259 единиц без потери качества транспортного обслуживания населения. Во многом это стало достижимо за счет увеличения вместимости парка подвижного состава и сокращения автобусов малой категории вместимости на маршрутах Красноярска (Таблица 5.2) [105]. Такой подход позволяет наиболее рационально организовывать транспортное обслуживание населения, так как более вместительный подвижной состав увеличивает интервалы движения на маршрутах

до максимально допустимых значений и снижает потребность в подвижном составе, что положительно сказывается на проблемах с транспортными заторами. Более того, вместительный подвижной состав лучше выдерживает нормы наполнения салона транспортных средств, что повышает комфортность поездок и привлекательность общественного транспорта для населения.

Таблица 5.2 Изменение структуры парка подвижного состава пассажирского транспорта города Красноярск

Год	Класс вместимости транспортных средств			Итого
	Малый	Средний	Большой	
2018	55	416	832	1303
2019	50	483	784	1317
2020	49	486	747	1282
2021	27	463	769	1259

Таким образом, за счет оптимизации парка подвижного состава с 2018 по 2021 год удалось уменьшить общее количество транспортных средств на 3,4 % за счет реорганизации парка подвижного состава. Еще одной отличительной чертой изменения структуры парка подвижного состава является то, что старые транспортные средства заменяются на новые. Так, в 2021 году благодаря участию в национальном проекте «Экология» город закупил 50 троллейбусов и 25 трамваев [165]. Новые современные трамваи имеют низкопольную тележку, обладают плавным ходом и способны вместить до 150 человек (Рисунок 5.20 [105]).

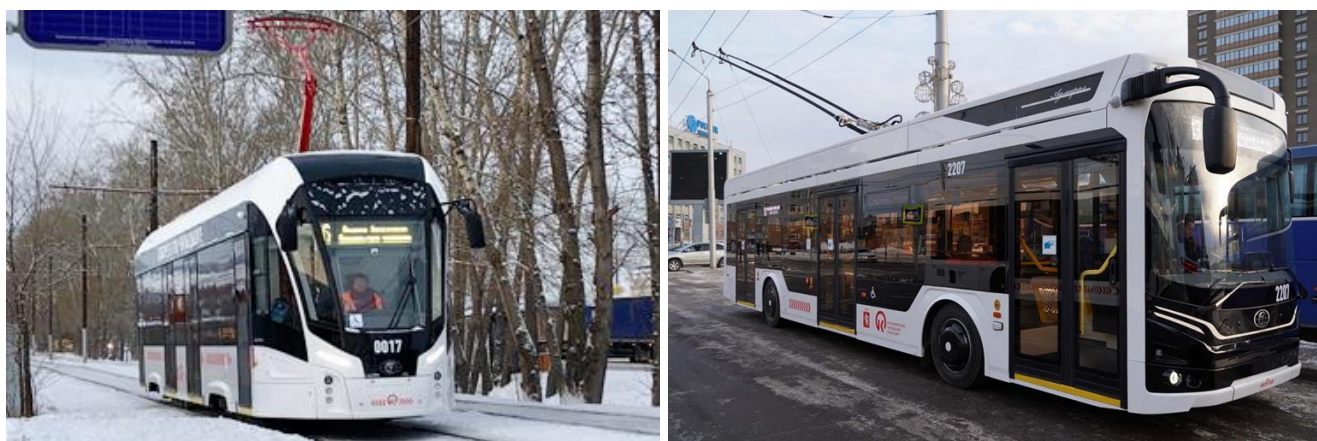


Рисунок 5.20 Замена подвижного состава на маршрутах общественного транспорта города Красноярск

Конструкция вагона адаптирована для маломобильных категорий пассажиров и имеет специальную площадку для размещения детской или инвалидной колясок. В салонах установлены камеры видеонаблюдения, USB-зарядки для гаджетов, а также валидаторы для безналичной оплаты проезда. Новый электротранспорт оборудован тахографом, системами спутникового наблюдения, видеоконтроля зон посадки – высадки пассажиров, мониторинга дорожной ситуации [165].

Всего за последние 4 года муниципальные и коммерческие перевозчики обновили подвижной состав своих парков на 797 единиц, что составляет больше половины от общего количества городского транспорта (Таблица 5.3) [105].

Таблица 5.3 Обновление парка подвижного состава пассажирского транспорта города Красноярск

Год	Обновление подвижного состава, ед.			Итого, ед.
	Автобус	Трамвай	Троллейбус	
2018	166	0	0	166
2019	192	0	1	193
2020	131	0	1	132
2021	207	25	74	306

Из них 103 единицы – это абсолютно новые машины с завода-изготовителя (Рисунок 5.21) [165].



Рисунок 5.21 Замена автобусов на маршрутах общественного транспорта города Красноярск

Оптимизация маршрутов общественного транспорта позволила сократить их общее количество на 17 единиц без потерь транспортной доступности (Таблица 5.4). Суммарная протяженность всех маршрутов при этом уменьшилась на 24 % (с 156,9 км до 119,8 км). Это стало возможно во многом за счет снижения количества дублирующих друг друга и избыточных маршрутов, корректирования пути следования невыгодных протяженных маршрутов и т.д.

Таким образом, с 2018 по 2021 год было отменено 17 маршрутов, изменено 48 маршрутов, внедрено 3 экологических маршрута и внедрено более 55,8 км выделенных полос движения для общественного транспорта. Особое внимание уделено перспективной доступности остановочных пунктов города Красноярска на основе объемов перспективной застройки (Рисунок 5.22) [114].

Таблица 5.4 Изменение количества маршрутов общественного транспорта города Красноярска

Год	Количество маршрутов регулярных перевозок, ед.			Итого
	Автобусных	Троллейбусных	Трамвайных	
2018	72	4	5	81
2019	57	5	4	66
2020	55	5	4	64
2021	54	6	4	64

Реорганизация парка подвижного состава общественного транспорта города Красноярска положительно сказалась на финансовых затратах в его обслуживании и содержании (Таблица 5.5).

Таблица 5.5 Изменение расходов на техническое обслуживание и содержание общественного транспорта города Красноярска

Показатель	Расходы (руб./км)			
	2018	2019	2020	2021
Удельные расходы на топливо	22,6	22,7	19,1	20,9
Удельный расход на ТО и ремонт	6,62	5,44	4,8	4,8
Удельный расход электроэнергии	2,97	2,93	2,96	2,96

За 4 года удалось сократить удельные расходы на использование дизельного топлива на 7,5 % (с 22,6 руб./км до 20,9 руб./км). Имеется также тенденция к снижению удельных расходов на ремонт и техническое обслуживание подвижного состава на 27,5 % (с 6,62 руб./км до 4,8 руб./км) [105].

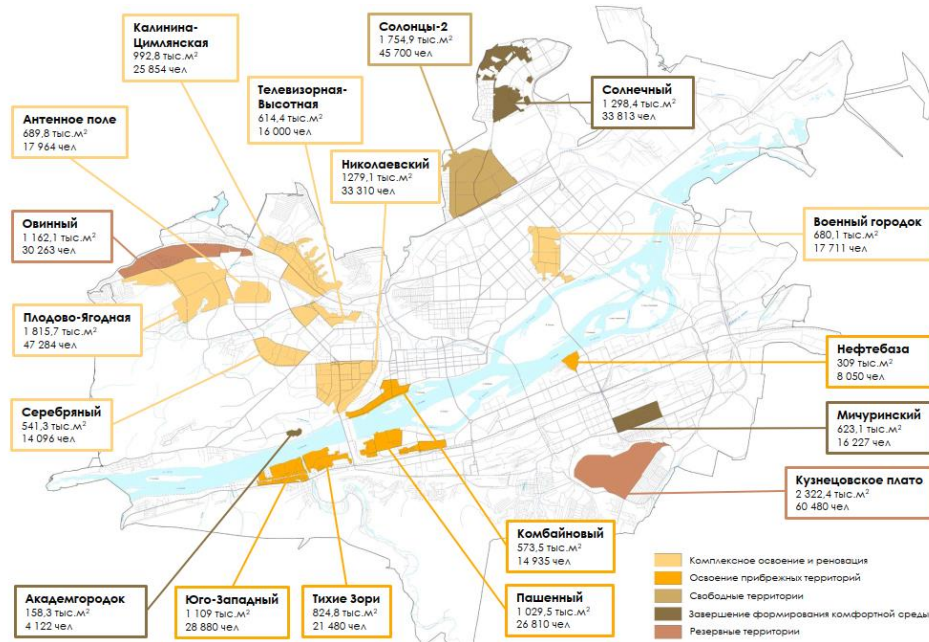


Рисунок 5.22 Перспективная застройка города Красноярска

На основе данного перспективного плана застройки решена проблема транспортной доступности остановочных пунктов для населения города Красноярска (Рисунок 5.23) [13].

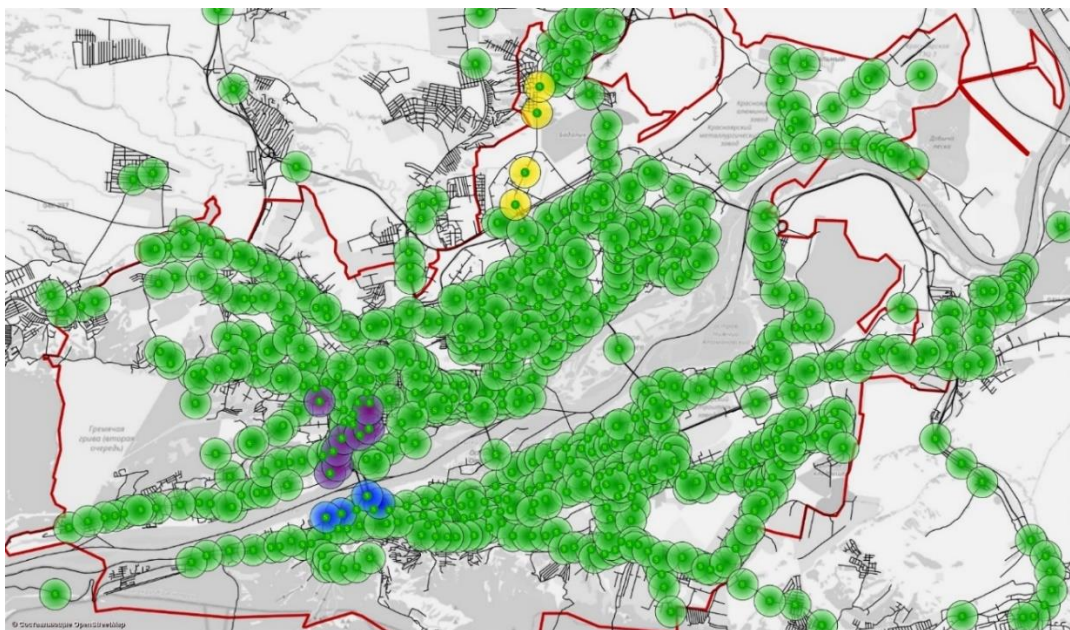


Рисунок 5.23 Перспективная доступность остановочных пунктов города Красноярска

Разработанные мероприятия позволили достичь высоких значений показателей качества транспортного обслуживания населения города Красноярск в 2021 году (Таблица 5.6).

Таблица 5.6 Значение качественных показателей функционирования общественного транспорта города Красноярск на 2021 г.

Показатель	Значение
Доля подвижного состава ОПТ, оборудованного средствами безналичной оплаты проезда с использованием специализированной транспортной карты (электронного проездного билета), либо с использованием банковских карт и(или) мобильных телефонов, %	100
Доля многоквартирных жилых домов на расстоянии нормативной доступности от остановочных пунктов, %	96,77
Доля рейсов, отправившихся от начального остановочного пункта и прибывших в конечный остановочный пункт в соответствии с расписанием либо с задержкой не более 2 минут относительно времени, предусмотренного расписанием, %	73,18
Доля перегонов маршрутной сети, на которых наполнение подвижного состава в час пик составляет не более 4 чел./м ² , %	100
Доля транспортных средств высоких экологических классов, %	67,9
Доля транспортных средств с превышением установленного заводом-производителем срока службы транспортного средства, %	0
Протяженность линий трамвая и троллейбуса на 1000 человек населения, км/чел.	0,12
Средняя скорость движения общественного транспорта, км/ч	19,7

Разработанные в ходе моделирования мероприятия были реализованы на улично-дорожной сети города Красноярск с последующим сравнительным анализом, который подтвердил эффективность принятых решений (Рисунок 5.24).

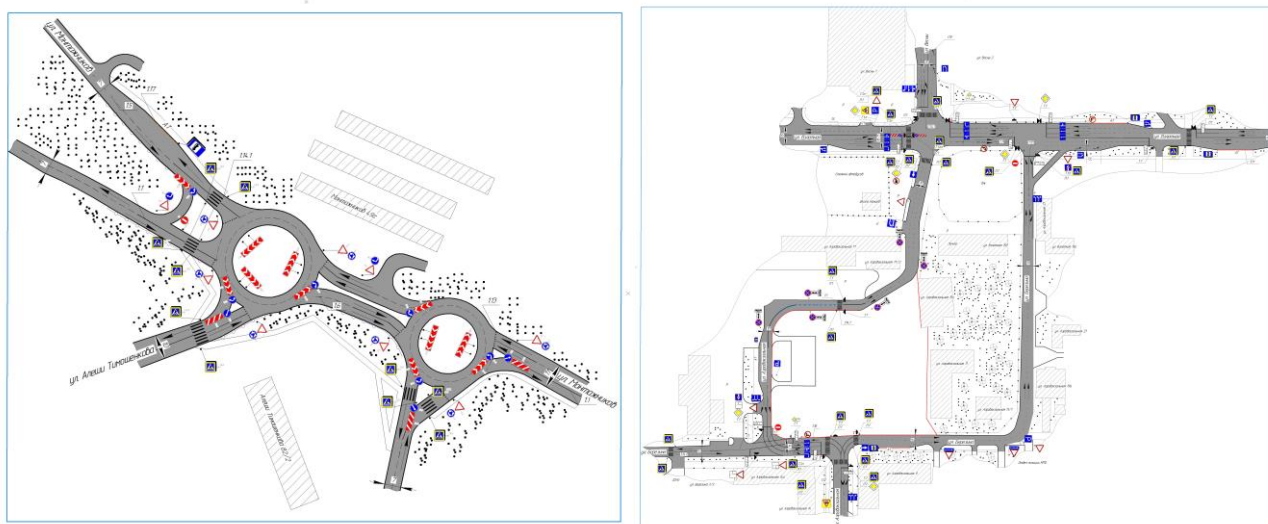


Рисунок 5.24 Примеры реконструированных участков УДС г. Красноярск

По результату сравнительного анализа 2018 года с 2019 годом можно сделать вывод, что наблюдается снижение длины заторовых ситуаций в утренний и вечерний часы пик с 14902 м до 13861 м утром (– 8 %) и с 19618 м до 18588 м вечером (– 6 %); сокращается продолжительность заторовой ситуации в утренний час пик (ранее с 7:30 до 9:30, сейчас с 7:30 до 9:00), в вечерний час пик (ранее с 17:00 до 19:00, сейчас с 17:30 до 19:00). В свою очередь, в результате сравнительного анализа 2019 года с 2020 годом можно сделать вывод о том, что наблюдается снижение длины заторовых ситуаций в утренний и вечерний часы пик с 13861 м до 12890 м утром (– 7 %) и с 18588 м до 17659 м вечером (– 5 %); сохраняется продолжительность заторовой ситуации в утренний час пик (с 7:30 до 9:00), сокращение продолжительности вечернего часа пик (ранее с 17:30 до 19:00, сейчас с 17:30 до 18:30).

Выводы по главе 5

1. В рамках задачи интеграции моделей предложено использование механизмов гибридных автоматов, которые объединяют как непрерывные, так и дискретные модели.

2. Показана возможность использования теоретических аспектов ситуационных сетей, являющихся ключевым элементом для создания СППР

на основе структурированной базы знаний. Подробно описаны преимущества реализации теоретических аспектов ситуационных сетей, которые как базовые технологии создания СППР предполагает существование базы знаний со структурой, соответствующей их описанию в сформированной модели.

3. Выработаны предложения по реорганизации структуры управления транспортным комплексом города Красноярска.

4. За счет оптимизации парка подвижного состава с 2018 по 2021 год удалось уменьшить общее количество транспортных средств на 3,4 % путем осуществления замены старых транспортных средств меньшей вместимости на новые, более комфортные транспортные средства большей вместимости, что положительно сказывается на качестве транспортного обслуживания. Всего за четыре года было закуплено 797 ед. подвижного состава, т.е. парк обновился более чем на 50 %. Реорганизация парка подвижного состава общественного транспорта города Красноярска положительно сказалась на финансовых затратах в его обслуживании и содержании. За 4 года удалось сократить удельные расходы на использование дизельного топлива на 7,5 % (с 22,6 руб./км до 20,9 руб./км). Имеется также тенденция к снижению удельных расходов на ремонт и техническое обслуживание подвижного состава на 27,5 % (с 6,62 руб./км до 4,8 руб./км).

5. На основании полученных результатов с 2018 по 2021 год в городе Красноярске было реализовано 41 мероприятие по реконструкции улично-дорожной сети с целью повышения эффективности дорожного движения, введено в эксплуатацию более 100 светофорных объектов, выявлено снижение количества дорожно-транспортных происшествий более чем на 8 %. В сфере городского пассажирского транспорта с 2018 по 2021 год без ухудшения качества транспортного обслуживания населения уменьшено количество маршрутов с 82 до 64 единиц, снижена потребность в подвижном составе на 3,4 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе выполненного исследования решена научная проблема, имеющая важное социально-экономическое и хозяйственное значение, а также изложены новые научно обоснованные технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие транспортной отрасли страны: предложены новые научно-обоснованные методы, математические модели, схемы и технологические решения для организации перевозок пассажиров городским общественным транспортом в условиях перспективного территориального развития города.

Основные научно-практические результаты состоят в следующем.

1. При проектировании транспортной системы необходимо использовать механизмы интегрированного транспортного планирования, построенные на многоуровневой стратегической основе, подразумевающей комплексный подход к решению существующих проблем города и региона. В России наблюдается недостаточность проработки методологии развития транспортных систем регионов и городов в аспекте регламентирования процессов планирования.

2. Предложенная методика нечеткого вывода позволяет получить количественные оценки спроса на жилье в перспективных районах застройки, что дает возможность коррекции динамики матрицы корреспонденций пассажиров. В результате такого подхода возможен прогноз численности населения в отдельных районах города, что позволяет заблаговременно скорректировать матрицу корреспонденций пассажиров и запланировать необходимые мероприятия по совершенствованию транспортного обслуживания населения.

3. Для реализации реконструкции участков улично-дорожной сети разработана факторная модель максимизации пропускной способности участка улично-дорожной сети, основанная на выделении значимых факторов, т. е. интенсивностей потоков по различным направлениям. Разработанные в ходе моделирования мероприятия были реализованы на улично-дорожной сети города Красноярска с последующим сравнительным анализом, который подтвердил эффективность принятых решений. По результатам сравнительного анализа 2018 года с 2019 годом сделан вывод, что наблюдается снижение длины заторовых

ситуаций в утренний и вечерний часы пик с 14902 м до 13861 м утром (– 8%), и с 19618 м до 18588 м вечером (– 6 %); сокращается продолжительность заторовой ситуации в утренний час пик (ранее с 7:30 до 9:30, сейчас с 7:30 до 9:00), в вечерний час пик (ранее с 17:00 до 19:00, сейчас с 17:30 до 19:00). В свою очередь, по результатам сравнительного анализа 2019 года с 2020 годом сделан вывод о том, что наблюдается снижение длины заторовых ситуаций в утренний и вечерний часы пик с 13861 м до 12890 м утром (– 7 %), и с 18588 м до 17659 м вечером (– 5 %); сохраняется продолжительность заторовой ситуации в утренний час пик (с 7:30 до 9:00), сокращение продолжительности вечернего часа пик (ранее с 17:30 до 19:00, сейчас с 17:30 до 18:30).

4. Выполнен детальный статистический анализ пассажиропотоков на остановочных пунктах различных маршрутов автобусов. Получены характеристики неравномерности пассажиропотоков по времени и направлению. Спектральный анализ выявил три пика сезонности пассажиропотока. Корреляционный и кросскорреляционный анализ показали наличие сильных взаимосвязей межостановочных пассажиропотоков. Факторный анализ доказал, что всего одна главная компонента дает 65 % информации о всех пассажиропотоках на всех остановочных пунктах маршрута, а при использовании двух главных компонент можно получить информацию по всем пассажиропотокам с потерей точности 8 %. Полученные результаты статистического анализа поставили задачу включения в имитационную модель обслуживания маршрута алгоритмов генерации нестационарных и взаимосвязанных по кросскорреляции временных рядов пассажиропотоков. Анализ пассажиропотоков позволил также установить стабильное увеличение пассажиропотока в городе Красноярске: с 2018 по 2021 год количество перевезенных пассажиров общественным транспортом увеличилось с 47 699 тыс. человек до 51 341 тыс. человек, т.е. на 7 %.

5. Предложено аппроксимировать модели стоков и истоков взвешенной смесью нормальных распределений. Истоки формируются на основе статистики валидаций и определяют входные пассажиропотоки, которые моделируются на основе предложенного алгоритма. Стоки формируются на основе анализа

инфраструктуры города, учитывая крупные промышленные предприятия, места общественного отдыха, крупные торговые центры и т.д. На основе этого аналогично истокам рассчитывается вероятность выхода на соответствующем остановочном пункте. Сделан вывод, что выбор конечной остановки пассажиром выполняется на основе наложения последней функции на эллипс рассеяния, связанный с точкой отправления, т.е. определяется нормальное распределение с большой осью, направленной на центр города. По результатам обработки данных получены распределения пассажирских корреспонденций с группировкой изучаемых остановочных пунктов на левый и правый берега города Красноярск. Большинство пассажиров осуществляют свое передвижение внутри берега отправления. Так, по данным пассажирских корреспонденций левого берега 84,7 % пассажиров (9328 поездок из 11019 общего количества) осуществляют свое сообщение по левому берегу, 15,3 % – на правый берег (1691 поездок из 11019 общего количества). По данным пассажирских корреспонденций правого берега 65,5 % (5096 поездок из 7780 общего количества) осуществляют свое сообщение по правому берегу, 34,5 % – на левый берег (2684 поездок из 7780 общего количества).

6. Решена задача оптимизации состава парка для обслуживания маршрутов, которая формально представлена в виде многокритериального выбора между расходами на содержание парка и затратами времени пассажиров на поездки. Реализовано совместное использование аналитической и имитационной модели. За счет оптимизации парка подвижного состава с 2018 по 2021 год удалось уменьшить общее количество транспортных средств на 3,4 %, осуществив замену старых транспортных средств меньшей вместимости на новые, более комфортные транспортные средства большей вместимости, что положительно сказывается на качестве транспортного обслуживания. Всего за четыре года было закуплено 797 ед. подвижного состава, т.е. парк обновился более чем на 50 %. Реорганизация парка подвижного состава общественного транспорта города Красноярск положительно сказалась на финансовых затратах в его обслуживании и содержании. За 4 года удалось сократить удельные расходы на использование

дизельного топлива на 7,5 % (с 22,6 руб./км до 20,9 руб./км). Имеется также тенденция к снижению удельных расходов на ремонт и техническое обслуживание подвижного состава на 27,5 % (с 6,62 руб./км до 4,8 руб./км).

7. Разработана методика многокритериальной оценки факторов обеспечения безопасности дорожного движения на основе новой зависимости

$$ДТП = a \cdot \left(\frac{Час}{s}\right) \cdot e^{-\frac{q^2}{2s}} \cdot \left(1 - \left(\frac{Мес - 6}{b}\right)^2\right)$$
 между количеством ДТП и временным

фактором в виде мультипликативной функции двух переменных: месяца и часа, – которая дает адекватные результаты с уровнем значимости 95 %. Предложенную зависимость между количеством ДТП и мультипликативной временной функцией можно использовать как для прогноза, так и для сравнительного анализа аварийности в Красноярске.

8. На основании полученных результатов с 2018 по 2021 год в городе Красноярске было реализовано 41 мероприятие по реконструкции улично-дорожной сети с целью повышения эффективности дорожного движения, введено в эксплуатацию более 100 светофорных объектов, выявлено снижение количества дорожно-транспортных происшествий более чем на 8 %. В сфере городского пассажирского транспорта с 2018 по 2021 год без потерь в качестве транспортного обслуживания населения уменьшено количество маршрутов с 82 до 64 единиц, снижена потребность в подвижном составе на 3,4 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Belokurov, V. P. Determining passenger traffic as important factor in urban public transport system / V. P. Belokurov, R. A. Spodarev, S. V. Belokurov // *Transportation research Procedia: XIV International Conference on Organization and Traffic Safety Management in Large Cities (OTS-2020)*. – Saint-Petersburg: Institute for Road Safety SPbGASU, 2020. – P. 52-58.
2. Ben-Dor, G. Assessing the Impacts of Dedicated Bus Lanes on Urban Traffic Congestion and Modal Split with an Agent-Based Model / G. Ben-Dor, I. Benenson, E. Ben-Elia // *Procedia Computer Science : 9th, Porto*. – Porto, 2018. – P. 824–829.
3. Bhaduri, E. How sustainable is the growth of mass transit system in developing countries – An Indian perspective / E. Bhaduri, A. K. Goswami, R. Moeckel // *Transportation Research Procedia, Mumbai*. – Mumbai, 2020. – P. 2706–2724.
4. Burko, D. Establishing Patterns of the Urban Transport Flows Functioning on Urban Network Parameters / D. Burko, O. Lobashov, O. Prasolenko [et al.] // *Transportation Research Procedia, Mumbai*. – Mumbai, 2020. – P. 793–800.
5. Černický, Ľ. Signal controlled junctions calculations in traffic-capacity assessment - aimsun, Omnitrans, Webster and TP 10/2010 results comparison / Ľ. Černický, A. Kalašová, J. Kapusta // *Transport Problems*. – 2016. – Vol. 11. – No 1. – P. 121–130.
6. Ciuffo, B. Theory to practice: Global sensitivity analysis of the Aimsun meso model / B. Ciuffo, V. Punzo, J. Casas [et al.] // *Traffic Engineering and Control*. – 2014. – Vol. 55. – No 1. – P. 9–17.
7. Drabicki, A. Modelling the public transport capacity constraints' impact on passenger path choices in transit assignment models / A. Drabicki, R. Kucharski, A. Szarata // *Archives of Transport*. – 2017. – Vol. 43. – No 3. – P. 7–28.
8. Dvoracek, R. Proposals for optimizing a selected traffic hub in the city Brno / R. Dvoracek, K. Vichova // *19th International Conference on Modeling and Applied Simulation, MAS 2020*. – Virtual, Online, 2020. – P. 93–98.
9. Eremin, S. Application of Fuzzy Situational Networks in Decision Support Systems in the Transport Industry / A. Shevtsova, A. N. Novikov, S. V. Eremin // *IOP*

Conference Series: Earth and Environmental Science, Vladivostok, 06–09 октября 2020 года. – Vladivostok, 2021. – P. 032015. – DOI 10.1088/1755-1315/666/3/032015.

10. Eremin, S. Design concept of hierarchical system for assessing traffic safety in regions / D. Lomakin, A. Novikov, S. Eremin, // *Transportation Research Procedia*. – 2020. – Vol. 50. – No 1. – P. 373–380.

11. Eremin, S. Development of a methodology for optimizing the urban route in the metropolitan area / A. N. Novikov, S. V. Eremin, A. G. Shevtsova // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : 2019 International Conference on Digital Solutions for Automotive Industry, Roadway Maintenance and Traffic Control, DS ART 2019, Cholpon-Ata, 01 ноября 2019 года*. – BRISTOL: Institute of Physics Publishing, 2020. – P. 012096. – DOI 10.1088/1757-899X/832/1/012096.

12. Eremin, S. Formation of recommendations for the selection of types of connections for different types of crossroads based on the generalized imitation model / Aleksandr Novikov, Sergey Eremin, Andrei Kulev // *MATEC Web of Conferences*. – 2019. – Vol. 298. – P. 00047.

13. Eremin, S. Methodology of passenger public transport organization within the context of long-term territorial development of a city / A. Novikov, S. Eremin, A. Kulev // *MATEC Web of Conferences*. – 2021. – Vol. 341. – P. 00064.

14. Eremin, S. Patterns of passenger traffic formation in urban public transport / A. Novikov, S. Eremin, // *Transportation Research Procedia*. – 2020. – Vol. 50. – P. 483–490.

15. Eremin, S. Quality Ratios for Public Transport Services / A.N. Novikov, S.V. Eremin, A.G. Shevtsova, D.O. Lomakin, A.V. Kulev // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2021. – Vol. 1118. – P. 012019.

16. Fischer, T. B. Strategic environmental assessment performance criteria – the SAME requirements for every assessment? / T. B. Fischer // *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*. – 2002. – Vol. 4. – No 1. – P. 83–99.

17. Fouladvand, M. E. Optimized traffic flow at a single intersection: traffic responsive signalization / M.E. Fouladvand, Z. Sadjadi, M.R. Shaebani // *Journal of Physics A: Mathematical and General*. – 2004. – Vol. 37. – No 3. – P. 561–576.

18. Groß, P. O. Exploiting travel time information for reliable routing in city logistics / P. O. Groß, M. W. Ulmer, D. C. Mattfeld, J. F. Ehmke // *Transportation Research Procedia*, 2015. – P. 652–661.
19. Kučera, T. Design of the city logistics simulation model using PTV VISSIM software / T. Kučera, J. Chocholáč // *Transportation Research Procedia*, Zilina, 22–23 сентября 2021 года. – Zilina, 2021. – P. 258–265.
20. Makarova, I. Analysis of the city transport system's development strategy design principles with account of risks and specific features of spatial development / I. Makarova, K. Shubenkova, L. Gabsalikhova // *Transport Problems*. – 2017. – Vol. 12. – No 1. – P. 125-138. – DOI 10.20858/tp.2017.12.1.12.
21. Makarova, I. Improving safety on the crosswalks with the use of fuzzy logic / I. Makarova, K. Shubenkova, V. Mavrin, P. Buyvol // *Transport Problems*. – 2018. – Vol. 13. – No 1. – P. 97–109.
22. Mollier, S. Two-dimensional macroscopic model for large scale traffic networks / S. Mollier, C. Canudas-De-wit, M.L. Delle Monache, B. Seibold // *Transportation Research Part B: Methodological*. – 2019. – Vol. 122. – P. 309-326. – DOI 10.1016/j.trb.2019.02.016.
23. Marunich, V. S. Passenger transportation: reliable information support / V.S. Marunich, O.I. Melnichenko, V.S. Kharuta // *Web of Scholar*. – 2017. – Vol. 1. – No 9(18). – P. 31–35.
24. Lauffenburger, J. Ph. Driver-aid system using path-planning for lateral vehicle control / J. Ph. Lauffenburger, M. Basset, F. Coffin, G. L. Gissinger // *Control Engineering Practice*. – 2003. – Vol. 11. – No 2. – P. 217–231.
25. Loukaitou-Sideris, A. Death on the Crosswalk. A Study of Pedestrian-Automobile Collisions in Los Angeles / A. Loukaitou-Sideris, R. Liggett, H. G. Sung // *Journal of Planning Education and Research*. – 2007. – Vol. 26. – No 3. – P. 338–351.
26. Novikov, A. Method of calculations under traffic lights coordination plan using parameters of passenger cars / A. Novikov, A. Shevtsova // *Transportation Research Procedia* : 14. – Saint Petersburg, 2020. – P. 499–506.

27. Novikov, A. N. Optimization of city passenger transport routes in the regional centers of Russia / A. N. Novikov, A. A. Katunin, M. V. Kulev, A. V. Kulev // *Journal of Engineering and Applied Sciences*. – 2017. – Vol. 12. – No 13. – P. 3407– 3412.
28. Olojede, O. A. Transport decarbonisation in South Africa: A case for active transport / O. A. Olojede // *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria Transport*. – 2021. – Vol. 110. – P. 125–142.
29. Peña, D. Multiobjective vehicle type and size scheduling problem in urban public transport using MOCcell / D. Peña, A. Tchernykh, S. Nesmachnow [et al.] // *Proceedings – 2016 International Conference on Engineering and Telecommunication, EnT 2016*. – Moscow, 2016. – P. 110–113.
30. Piątkowski, B. Comparison of traffic assignment in Visum and transport simulation in MATSIM / B. Piątkowski, M. Maciejewski // *Transport Problems*. – 2013. – Vol. 8. – No 2. – P. 113–120.
31. Piecha, Ja. The transportation network rough description for an adaptive traffic control algorithms by means of videodetection technique / Ja. Piecha, P. Gnyla // *Transport Problems*. – 2013. – Vol. 8. – No 3. – P. 15–24.
32. Ryabokon, Y. The Method of Determining the Number of Phases in the Traffic Light Cycle on the Allowable Intensity of Conflicting Flows / Y. Ryabokon // *Transportation Research Procedia : 12th International Conference «Organization and Traffic Safety Management in Large Cities», SPbOTSIC 2016*. – Saint-Petersburg: Elsevier B.V., 2017. – P. 571–577.
33. Schliephake, K. Personenverkehr in Deutschland Verkehrssysteme im Wettstreit / K. Schliephake // *Standort – Zeitschrift für angewandte Geographie*. – 2001. – Vol. 25. – No 1. – P. 19–28.
34. Serafini, S. Sustainable crowdshipping using public transport: A case study evaluation in Rome / S. Serafini, M. Nigro, V. Gatta, E. Marcucci // *Transportation Research Procedia, Padova, 07–09 марта 2018 года*. – Padova, 2018. – P. 101–110.

35. Shaviraa, Ch. D. Optimization methodology of intraurban transport routes of automobile passenger transport / Ch. D. Shaviraa, B. S. Kara-Sal // International Research Journal. – 2018. – No 6–2(72). – P. 64–66.
36. Shvalov, P. G. The problems of Krasnoyarsk passenger transport logistic infrastructure development during the winter Universiade 2019 / P. G. Shvalov, A. Yu. Konovalova // Инновационные тенденции развития российской науки: материалы X Международной научно-практической конференция молодых ученых, посвященной Году экологии и 65-летию Красноярского ГАУ, Красноярск, 22–23 марта 2017 года. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2017. – P. 172–174.
37. Slávik, R. Assessing the Impact of the Implementation of Regulatory Measures in Transport on the Transport Service of the City Center / R. Slávik // Transportation Research Procedia : 20, Ceske Budejovice. – Ceske Budejovice, 2020. – P. 182–188.
38. Song, W. Statistical metamodeling of dynamic network loading / W. Song, Y. Wang, T. Friesz [et al.] // Transportation Research Procedia, 2017. – P. 263–282.
39. User, Y. Performance evaluation of a hybrid roundabout using a microscopic simulation / Y. User, S. Ilyas, G. Tinaztepe // The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering. – 2021. – Vol. 16. – No 3. – P. 47-81. – DOI 10.7250/bjrbe.2021–16.532.
40. Wimbadi, R. W. Urban experiments with public transport for low carbon mobility transitions in cities: A systematic literature review (1990–2020) / R.W. Wimbadi, R. Djalante, A. Mori // Sustainable Cities and Society. – 2021. – Vol. 72. – P. 103023. – DOI 10.1016/j.scs.2021.103023.
41. Zhuge, C. Agent-Based Modelling of Locating Public Transport Facilities for Conventional and Electric Vehicles / C. Zhuge, C. Shao // Networks and Spatial Economics. – 2018. – Vol. 18. – No 4. – P. 875-908. – DOI 10.1007/s11067-018-9412–3.
42. Агуреев, И.Е. Исследование алгоритмов светофорного регулирования перекрестка при различных параметрах транспортного потока / И.Е. Агуреев,

А.Ю. Кретов, И.Ю. Мацур // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2013. – № 7–2. – С. 54–61.

43. Агуреев, И.Е. Математическое описание динамики пассажирских транспортных систем / И.Е. Агуреев, М.В. Денисов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2010. – № 4–2. – С. 143–153.

44. Алейникова, А.В. Использование программы Anylogic при моделировании транспортных потоков / А.В. Алейникова, М.И. Денисова, В.В. Цинько, О.В. Иванов // Интеграция современных научных исследований в развитие общества: сборник материалов III Международной научно-практической конференции, Кемерово, 29 сентября 2017 года. – Кемерово: Общество с ограниченной ответственностью «Западно-Сибирский научный центр», 2017. – С. 269–271.

45. Андреев, А.Ю. Алгоритмы маршрутизации в дорожно-транспортной системе / А.Ю. Андреев, В.Д. Егоров, А.В. Терентьев // Вестник гражданских инженеров. – 2021. – № 2 (85). – С. 181–188.

46. Андреева, Е.А. Управление транспортными потоками в городах: Монография / Е.А. Андреева, К. Беттгер, Е.В. Белкова [и др.]; под общ. ред. А.Н. Бурмистрова, А.И. Солодкого. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2019. – 207 с.

47. Бадалян, А.М. Оценка уровня безопасности движения на двухполосных автомобильных дорогах методом имитационного моделирования конфликтных ситуаций: дис. ... канд. тех. наук: 05.22.10 / Бадалян Артур Мишаевич. – Москва, 2002. – 325 с.

48. Балабанов, А.А. Система поддержки принятия решений при автоматизированном оперативно-диспетчерском управлении объектами добычи и транспорта газа: дис. ... канд. тех. наук: 05.13.06 / Балабанов Александр Анатольевич. – Москва, 2008. – 190 с.

49. Балдин, А.В. Научные основы автоматизации и моделирования процессов управления на основе гибридных систем поддержки принятия решений

с открытой структурой: дис. ... д-ра тех. наук: 05.13.06 / Балдин Александр Викторович. – Москва, 2006. – 338 с.

50. Балдин, К.В. Теория вероятностей и математическая статистика: учебник / К.В. Балдин. – Москва : Дашков и К, 2010. – 259 с.

51. Баязитов, Г. Моделирование транспортных решений в среде Anylogic / Г. Баязитов, А.Р. Гибадуллин // ИТиС 2017: Сборник трудов 41-й междисциплинарной школы-конференции ИППИ РАН «Информационные технологии и системы 2017», Уфа, 14–17 сентября 2017 года. – Уфа: Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН, 2017. – С. 287–290.

52. Бенькович, Е.С. Практическое моделирование динамических систем / Е.С. Бенькович, Ю.Б. Колесов, Ю.Б. Сениченков. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2002. – 464 с. – ISBN 5-94157-099-6.

53. Блатнов, М.Д. Пассажирские автомобильные перевозки: учебник для автотранспортных техникумов / М.Д. Блатнов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1981. – 222 с.

54. Блинкин, М.Я. Качество планирования городских транспортных сетей в зеркале классических моделей теории транспортного потока / М.Я. Блинкин // Городские исследования и практики. – 2015. – С. 55–66.

55. Богомолов, А.А. Оптимизация маршрутов городского пассажирского транспорта в средних городах: дис. ... канд. тех. наук: 05.22.10 / Богомолов Андрей Александрович. – Вологда, 2002. – 274 с.

56. Бойко, Г.В. Методика оптимизации структуры транспорта для обслуживания городских пассажирских перевозок: дис. ... канд. тех. наук: 05.22.10 / Бойко Григорий Владимирович. – Волгоград, 2006. – 162 с.

57. Борисов, В.В. Реализация ситуационного подхода на основе нечеткой иерархической ситуационно-событийной сети / В. В. Борисов, М. М. Зернов // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2009. – № 1. – С. 17–30.

58. Боровик, В.С. Задачи нормативного обеспечения инновационного развития дорожной отрасли / В.С. Боровик // Малоэтажное строительство в рамках Национального проекта «Доступное и комфортное жилье гражданам России:

технологии и материалы, проблемы и перспективы развития в Волгоградской области»: материалы Международной научно-практической конференции, Волгоград, 15–16 декабря 2009 года. – Волгоград: Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, 2009. – С. 443–446.

59. Брызгина, Е.О. Градостроительство и транспортное планирование: проблемы координации / Е.О. Брызгина // Мир дорог. – 2020. – № 125. – С. 94–97.

60. Бунина, А.В. Обзор современных средств имитационного моделирования в области транспорта / А.В. Бунина, Д.А. Сивицкий // Интеллектуальный потенциал Сибири : материалы 28-ой Региональной научной студенческой конференции: в 3 частях, Новосибирск, 13–22 мая 2020 года / под ред. Д.О. Соколовой. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2020. – С. 288–290.

61. Бутакова, М.А. Модели информационных потоков в системах массового обслуживания на транспорте: монография / М.А. Бутакова; Ростовский государственный университет. – Ростов-на-Дону: Ростовский университет, 2006. – 228 с.

62. Васильева, Е.Ю. Транспортное планирование и моделирование в крупном городе / Е.Ю. Васильева, И.С. Полякова // Транспортное дело России. – 2019. – № 3. – С. 46–47.

63. Вовк, С.П. Ситуационное управление и нечеткие игры в моделировании организационных систем / С.П. Вовк. – Таганрог: Таганрогский государственный радиотехнический университет, 2002. – 147 с.

64. Волков, В.С. Расчёт вероятностных оценок опасности конфликтных точек на дорожных пересечениях / В.С. Волков, Д.Ю. Кастырин, Ю.А. Никитина // Мир транспорта и технологических машин. – 2016. – № 4 (55). – С. 105–110.

65. Володькин, П.П. Методология формирования и управления муниципальной автотранспортной системой: монография / П.П. Володькин. – Владивосток: Дальнаука, 2011. – 442 с.

66. Володькин, П.П. Оптимизация транспортного обслуживания населения муниципальных образований с учетом социальных факторов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.10 / Володькин Павел Павлович. – Хабаровск, 2011. – 459 с.
67. Волченко, С.В. Повышение пропускной способности УДС на основе оценки взаимодействия транспортных потоков с городскими магистралями : дис. ... канд. техн. наук: 05.23.11 / Волченко Светлана Викторовна. – Волгоград, 2014. – 179 с.
68. Воронцова, С.Д. Зарубежный опыт разработки и реализации программ развития дорожной сети / С.Д. Воронцова // Экономика и управление. – 2010. – № 1 (51). – С. 50–53.
69. Вучик, В. Транспорт в городах, удобных для жизни. Монография / В. Вучик. – Москва: ИД Территория будущего, 2011. – 576 с. – ISBN 978-5-91129-058-0.
70. Герами, В.Д. Методология формирования системы городского пассажирского общественного транспорта: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.01 / Герами Виктория Дарабовна. – Москва, 2001. – 328 с.
71. Голенков, В.А. Оптимизация организации движения на основе имитационного моделирования / В.А. Голенков, А.Н. Новиков, А.А. Катунин [и др.] // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2015. – № 3 (73). – С. 5–7.
72. Головнин, О.К. Методы и средства управления транспортными процессами на основе атрибутно-ориентированных моделей: дис. ... канд. техн. наук: специальность 05.13.01 / Головнин Олег Константинович. – Самара, 2016. – 235 с.
73. Горев, А.Э. К вопросу об экономической эффективности городского пассажирского транспорта / А.Э. Горев // Транспорт Российской Федерации. – 2012. – № 3-4 (40-41). – С. 34–36.
74. Горев, А.Э. Методология объектно-ориентированного подхода в управлении логистическими системами: дис. ... д-ра техн. наук: 08.00.05 / Горев Андрей Эдливич. – Санкт-Петербург, 2004. – 332 с.

75. Горяев, Н.К. Определение наполняемости автобусов по косвенным показателям / Н.К. Горяев, О.Н. Ларин, Е.Н. Вавилова, И.А. Горяева // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2016. – № 1. – С. 49–53.

76. ГОСТ Р 51004 – 96 Услуги транспортные. Пассажирские перевозки. Номенклатура показателей качества. – М.: Госстандарт России, 1996. – 15 с.

77. ГОСТ Р 52282-2004 Технические средства организации дорожного движения. Светофоры дорожные. Типы и основные параметры. Общие технические требования. Методы испытаний – М.: Стандартинформ, 2004. – 19 с.

78. Графкин, А.В. Прикладной анализ случайных процессов: монография / А.В. Графкин, В.В. Графкин, О.А. Дегтярева [и др.]; под редакцией С.А. Прохорова. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2007. – 582 с.

79. Губенков, О.Е. Организация дорожного движения: учебное пособие / О.Е. Губенков, О.В. Зиборов, Ф.Н. Зейналов; О.Е. Губенков, О.В. Зиборов, Ф.Н. Зейналов. – Орел: ОрЮОИ МВД России, 2011. – 156 с.

80. Гудков, В.А. Пассажирские автомобильные перевозки: учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности 240100.01 «Организация перевозок и управление на транспорте (Автомобильный транспорт)» направления подготовки дипломированных специалистов 653400 «Организация перевозок и управление на транспорте» / В.А. Гудков, Л.Б. Миротин, А.В. Вельможин, С.А. Ширяев. – Москва: Научно-техническое издательство «Горячая линия-Телеком», 2004. – 446 с.

81. Демидова, Л.А. Принятие решений в условиях неопределенности / Л.А. Демидова, В.В. Кираковский, А.Н. Пылькин. – Москва: Научно-техническое издательство «Горячая линия-Телеком», 2012. – 288 с.

82. Дивеев, А.И. Управляемые сети и их приложения / А.И. Дивеев // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2008. – Т. 48. – № 8. – С. 1510–1525.

83. Донченко, В.В. Анализ подходов к оценке экономических издержек, связанных с временными параметрами функционирования городских

транспортных систем / В.В. Донченко, Р.В. Филиппова // Вестник университета. – 2020. – № 3. – С. 64–68.

84. Дорохин, Ю.С. Автоперевозки и организация работы автотранспорта: учебник / Ю.С. Дорохин, А.Н. Сергеев, Н.Н. Сергеев [и др.]. – Тула: Тульский государственный университет, 2019. – 160 с.

85. Езерский, М.Ю. Синтез технологических систем угольных шахт при обосновании проектных решений: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.21 / Езерский Михаил Юрьевич. – Москва, 2008. – 143 с.

86. Емельянов, В.В. Система планирования транспортных перевозок в условиях города / В.В. Емельянов, О.В. Соболев, А.В. Урусов // Известия ТРТУ. – 2001. – № 4 (22). – С. 217–232.

87. Епифанов, В.В. Управление пассажирскими автотранспортными системами на основе процессного подхода / В.В. Епифанов, М.Ю. Обшивалкин, К.А. Луконькина // Мир транспорта и технологических машин. – 2019. – № 2 (65). – С. 96–103.

88. Еремин, С.В. Альтернативный способ коммуникации в автомобильных сетях / Г.Г. Ягудаев, И.Э. Саакян, Э. Хамриуи [и др.] // Информационные технологии в управлении и моделировании мехатронных систем: материалы 1-й научно-практической международной конференции, Тамбов, 25–26 октября 2017 года. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2017. – С. 243–250.

89. Еремин, С.В. Анализ алгоритмов управления инцидентами в интеллектуальных транспортных системах / А.Б. Николаев, Г.Г. Ягудаев, Ю.С. Сапего [и др.] // Интернет-журнал «Науковедение». – 2017. – Т. 9. – № 4. – С. 60.

90. Еремин, С.В. Анализ подходов к планированию и прогнозированию ремонтных работ на автомобильных дорогах / С.В. Еремин // Автотранспортное предприятие. – 2013. – № 1. – С. 33–34.

91. Еремин, С.В. Внедрение системы показателей оценки качества транспортного обслуживания / А.Н. Новиков, А.Г. Шевцова, С.В. Еремин [и др.] //

Современные проблемы машиностроения : Сборник трудов XIII Международной научно-технической конференции, Томск, 26–30 октября 2020 года. – Томск: Томский политехнический университет, 2020. – С. 214–215.

92. Еремин, С.В. Гибридная среда сборки разнородных приложений моделирования транспортных систем / А.Н. Новиков, С.В. Еремин, И.Д. Ерошок, А. В. Балдин // Мир транспорта и технологических машин. – 2020. – № 2 (69). – С. 47-55. – DOI 10.33979/2073-7432-2020-69-2-47-55.

93. Еремин, С.В. Интегрированное транспортное планирование в условиях перспективного территориального развития города / С.В. Еремин // Мир транспорта и технологических машин. – 2021. – № 3 (74). – С. 109-114. – DOI 10.33979/2073-7432-2021-74-3-109-114.

94. Еремин, С.В. Интеллектуальная система для стратегического управления пассажирским комплексом Красноярска и агломерации / С.В. Еремин, А.А. Теселкин, К.В. Хабарова, В.И. Хабаров // Бюллетень транспортной информации. – 2013. – № 2 (212). – С. 009–013.

95. Еремин, С.В. Интеллектуальная система управления дорожной отраслью Красноярского края / С.Ф. Зяблов, С.П. Ереско, С.В. Еремин // Решетневские чтения. – 2010. – Т. 1. – С. 222–223.

96. Еремин, С.В. Интеллектуальная транспортная система города Красноярска / А.Н. Новиков, С.В. Еремин // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации: сборник материалов IV Международной научно-практической конференции, Омск, 28–29 ноября 2019 года. – Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2019. – С. 493–496.

97. Еремин, С.В. К вопросу повышения эффективности управления дорожным комплексом с учетом муниципальной специфики (на примере Красноярского края) / С.В. Еремин // Бюллетень транспортной информации. – 2013. – № 5 (215). – С. 003–005.

98. Еремин, С.В. Концепция имитационного моделирования, оптимизации и проектирования транспортной инфраструктуры в условиях стохастической и

лингвистической неопределенности / А.Н. Новиков, С.В. Еремин // Мир транспорта и технологических машин. – 2019. – № 2(65). – С. 42–50.

99. Еремин, С.В. Крупные инфраструктурные проекты как стимул и рычаг развития реальной экономики / С.В. Еремин, В.В. Цышук // Транспортные системы Сибири. Развитие транспортной системы как катализатор роста экономики государства: Международная научно-практическая конференция, Красноярск, 07–08 апреля 2016 года. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2016. – С. 5–12.

100. Еремин, С.В. Методика оценивания пассажиропотоков городской сети общественного транспорта и конкретных параметров маршрутной сети с почасовым объемом перевозок / А.Н. Новиков, С.В. Еремин // Мир транспорта и технологических машин. – 2019. – № 4 (67). – С. 50–56.

101. Еремин, С.В. Модель мультимодальных перевозок на основе управляемых сетей / Г.Г. Ягудаев, И.Э. Саакян, П.Г. Трегубов [и др.] // Наука и бизнес: пути развития. – 2017. – № 9 (75). – С. 20–25.

102. Еремин, С.В. Оптимизация дорожного движения в городе Красноярске / С.В. Еремин // Мир транспорта и технологических машин. – 2021. – № 2 (73). – С. 57–62. – DOI 10.33979/2073-7432-2021-73-2-57-62.

103. Еремин, С.В. Оптимизация режимов движения автобусов на городском маршруте / А.Н. Новиков, С.В. Еремин, И.Д. Ерошок // Мир транспорта и технологических машин. – 2020. – № 1 (68). – С. 87–93. – DOI 10.33979/2073-7432-2020-68-1-87-93.

104. Еремин, С.В. Оптимизация состава автобусного парка для обслуживания городского маршрута / А.Н. Новиков, С.В. Еремин // Мир транспорта и технологических машин. – 2019. – № 3 (66). – С. 84–90.

105. Еремин, С.В. Оптимизация структуры парка подвижного состава городского пассажирского транспорта в общей многокритериальной постановке / С.В. Еремин // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – № 1 (76). – С. 62–68.

106. Еремин, С.В. Основные принципы расчета программы светофорного регулирования на основе управляемых сетей и потока насыщения / А.Н. Новиков, С.В. Еремин, А.Г. Шевцова // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2019. – Т. 16. – № 6 (70). – С. 680-691. – DOI 10.26518/2071-7296-2019-6-680-691.

107. Еремин, С.В. Оценка комплексных решений в области БДД на примере г. Красноярск / А.Н. Новиков, С.В. Еремин, А.В. Кулев, Д.О. Ломакин // Международный форум KAZAN DIGITAL WEEK – 2020: сборник материалов международного форума, Казань, 21–24 сентября 2020 года / Академия наук Республики Татарстан. – Казань: Научный центр безопасности жизнедеятельности, 2020. – С. 48–56.

108. Еремин, С.В. Оценка уровня безопасности дорожного движения на региональном уровне / А.Н. Новиков, С.В. Еремин, Д.О. Ломакин // Мир транспорта и технологических машин. – 2020. – № 3 (70). – С. 72–79.

109. Еремин, С.В. Планирование развития транспортной системы региона на основе системы поддержки управленческой деятельности / А.Н. Новиков, С.В. Еремин // Мир транспорта и технологических машин. – 2020. – № 4 (71). – С. 111–117.

110. Еремин, С.В. Проблемы внедрения интеллектуальных транспортных систем в регионах / А.Н. Новиков, С.В. Еремин, А.В. Кулев, Д.О. Ломакин // Мир транспорта и технологических машин. – 2021. – № 1 (72). – С. 47-54. – DOI 10.33979/2073-7432-2021-72-1-47-54.

111. Еремин, С.В. Региональная информационная система оценки аварийных ситуаций на автодорогах (на примере Красноярского края): дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01 / Еремин Сергей Васильевич. – Красноярск, 2001. – 155 с.

112. Еремин, С.В. Система поддержки принятия решений при планировании работ по содержанию и ремонту автомобильных дорог Красноярского края / С.В. Еремин // Бюллетень транспортной информации. – 2012. – № 12 (210). – С. 003–005.

113. Еремин, С.В. Система стратегического управления пассажирским комплексом г. Красноярска и его агломерации / С.В. Еремин // Транспортные системы Сибири. Проблемы безопасности: сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Красноярск, 17–19 октября 2013 года. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2013. – С. 8–14.

114. Еремин, С.В. Стратегическая ставка города Красноярска как ответ на глобальные вызовы развития / С.В. Еремин // Борисовские чтения : Материалы III Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, Красноярск, 23–24 сентября 2021 года / отв. за выпуск Е.С. Воеводин. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2021. – С. 315–318.

115. Еремин, С.В. Управление информационными потоками в транспортно-дорожном комплексе (региональный аспект) / С. В. Еремин // Информационно-управляющие системы. – 2012. – № 6 (61). – С. 94–96.

116. Ерошок, И.Д. Управление стохастическими потоками объектов в сети с кусочно-линейными траекториями с использованием интегральных контейнеров: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01 / Ерошок Иван Дмитриевич. – Москва, 2020. – 148 с.

117. Ефименко, Д.Б. Методологические основы построения навигационных систем диспетчерского управления перевозочным процессом на автомобильном транспорте (на примере городского пассажирского транспорта): дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.08 / Ефименко Дмитрий Борисович. – Москва, 2012. – 479 с.

118. Ефимова, О.Ю. Об использовании комплексного подхода при оценке качества городских пассажирских перевозок / О.Ю. Ефимова // Экономика и социум. – 2014. – № 1-1 (10). – С. 561–568.

119. Ефремов, И.С. Теория городских пассажирских перевозок: Учеб. пособие для вузов / И.С. Ефремов, В.М. Кобозев, В.А. Юдин – М.: Высш. школа, 1980. – 535 с.

120. Жанказиев, С.В. Оптимизация скоростных режимов в условиях города / С.В. Жанказиев, А.И. Воробьев, М.В. Гаврилюк, В.В. Новизенцев // Вестник

Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2021. – № 4 (67). – С. 99–103.

121. Жук, А.Е. Эволюция подходов к управлению системами городского общественного пассажирского транспорта / А.Е. Жук // Экономика и предпринимательство. – 2020. – № 11 (124). – С. 1361–1365.

122. Загидуллин, Р.Р. Индекс транспортной мобильности больших городов России / Р.Р. Загидуллин, Д.А. Дрючин // Мир транспорта и технологических машин. – 2021. – № 2 (73). – С. 40–48.

123. Зайцев, Д.В. Моделирование процессов транспортного обслуживания в режиме квантования времени / Д.В. Зайцев // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2015. – № 4 (43). – С. 75–80.

124. Зедгенизов, А.В. Генерация корреспонденций как основная количественная характеристика, определяющая привлекательность территории / центра массового тяготения / А.В. Зедгенизов // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2016. – № 4 (111). – С. 187–192.

125. Зедгенизов, А.В. Оценка транспортного спроса к субурбанизированным территориям / А.В. Зедгенизов, И.А. Ефременко // Вестник гражданских инженеров. – 2020. – № 3 (80). – С. 178–182.

126. Зырянов, В.В. Методика оценки и выбора варианта организации движения транспорта при проведении масштабных массовых мероприятий / В.В. Зырянов, Р.Р. Загидуллин // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2017. – № 2. – С. 43–47.

127. Зырянов, В.В. Моделирование транспортных потоков как метод логистического управления транспортными процессами мегаполисов и способ рационального планирования дорожной сети в городах / В.В. Зырянов, П.Г. Кериди, Л.Б. Миротин, Ю.В. Голеницкий // Вестник транспорта. – 2008. – № 1. – С. 37–44.

128. Йулдашев, К.К. Исследование организации безопасности движения на пересечениях с круговым движением / К.К. Йулдашев // Вестник науки. – 2020. – Т. 4. – № 5 (26). – С. 191–194.
129. Ковалев, Р.Н. Экономика и управление пассажирскими перевозками на автомобильном транспорте / Р.Н. Ковалев, С.Н. Боярский. – Екатеринбург, 2015. – 137 с.
130. Колемаев, В.А. Теория вероятностей и математическая статистика: учебник / В.А. Колемаев, В.Н. Калинина. – Москва: ЮНИТИ-ДАНА, 2010. – 352 с.
131. Колышкина, Д.В. Обзор программ имитационного моделирования движения транспортных потоков / Д.В. Колышкина, Я.А. Дрогачева, А.Г. Шевцова // Воронежский научно-технический Вестник. – 2019. – Т. 3. – № 3 (29). – С. 111–117.
132. Корчагин, В.А. Прогнозирование показателей аварийности методами анализа временных рядов / В.А. Корчагин, В. Клявин, В.А. Суворов // Мир транспорта и технологических машин. – 2017. – № 2 (57). – С. 92–97.
133. Корягин, М.Е. Оптимизация управления городскими пассажирскими перевозками на основе конфликтно-устойчивых решений: дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.10 / Корягин Марк Евгеньевич. – Новокузнецк, 2011. – 303 с.
134. Кочегаров, Д.В. Интеллектуализация управления стохастическими объектами на основе нечеткой ситуационной сети принятия решений: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01 / Кочегаров Дмитрий Владимирович. – Воронеж, 2013. – 198 с.
135. Кочнев, Л.С. Развитие системы управления транспортной системы крупного города (на примере города Москвы) / Л.С. Кочнев // Риск-ориентированное управление в государственном и корпоративном секторе экономики города Москвы: сборник статей / под ред. А.А. Шестемирова, М.В. Ефимовой. – Москва: Издательство «КноРус», 2020. – С. 159–166.
136. Кравченко, Л.А. Глобальные тренды трансформации транспортной отрасли в цифровой экономике: международный опыт / Л.А. Кравченко, Е.А. Фурсова // Журнал экономических исследований. – 2020. – Т. 6. – № 3. – С. 47–56.

137. Крицкая, В.П. Методы и средства моделирования экспертных социально-экономических систем и систем поддержки принятия решений / В.П. Крицкая // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. – 2016. – Т. 2. – С. 92–95.

138. Куракина, Е.В. Оценка взаимодействия объектов дорожно-транспортного комплекса в целях обеспечения «нулевой смертности» / Е.В. Куракина // Мир транспорта и технологических машин. – 2021. – № 3 (74). – С. 57–64.

139. Кущенко, Л.Е. Уменьшение потерь времени транспортными средствами, находящимися в заторе / Л.Е. Кущенко, С.В. Кущенко, И.А. Новиков // Информационные технологии и инновации на транспорте: материалы 5-ой Международной научно-практической конференции, Орёл, 22–23 мая 2019 года / под общей редакцией А.Н. Новикова. – Орёл: Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, 2020. – С. 105–107.

140. Ларионова, И.А. Статистика. Анализ временных рядов: учеб. пособие / И.А. Ларионова. – Москва: Учеба, 2004. – 53 с.

141. Левашев, А.Г. Принципы выделения специальных расчетных транспортных районов в городском транспортном планировании / А.Г. Левашев // Градостроительство и архитектура. – 2016. – № 3 (24). – С. 126–128.

142. Леонтьев, Е.В. Оценка влияния доступности общественного транспорта на стоимость городской жилой недвижимости / Е.В. Леонтьев, И.А. Майбуров // Journal of Applied Economic Research. – 2021. – Т. 20. – № 1. – С. 62–83.

143. Липов, Р.А. Использование комплексных оценок качества услуг по перевозке пассажиров автомобильным транспортом в деятельности пассажирских автотранспортных предприятий / Р.А. Липов, В.В. Мирошников // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2011. – № 3 (31). – С. 56–60.

144. Литвин, В.В. Имитационное моделирование транспортных потоков с помощью программного обеспечения PTV vision VISSIM / В.В. Литвин,

А.Н. Мирошниченко // Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта. – 2014. – № 1 (1). – С. 251–260.

145. Литвинов, А.В. Метод оценки распределения транспортного спроса между способами передвижения на основе дезагрегированных моделей / А.В. Литвинов // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2020. – № 4 (63). – С. 105–112.

146. Лобанов, Е.М. Транспортные проблемы современных больших городов / Е.М. Лобанов // Транспорт Российской Федерации. – 2005. – № 1 (1). – С. 29–31.

147. Лукашук, П.И. Автоматизация процессов управления предприятиями промышленности и транспортного комплекса на основе вероятностных сетевых моделей планирования: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / Лукашук Петр Иванович. – Москва, 2006. – 162 с.

148. Лянденбургский, В.В. Перспективы развития экологически чистых транспортных средств / В.В. Лянденбургский // Прогрессивные технологии в транспортных системах: сборник докладов VII Российской научно-практической конференции, Оренбург, 01-02 декабря 2005 года / отв. редактор В.И. Рассоха, отв. секретарь Р.Ф. Калимуллин. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2005. – С. 172–175.

149. Мамонова, В.Г. Ситуационный анализ транспортной системы города как социо-эколого-экономической системы / В.Г. Мамонова // Актуальные вопросы современной науки. – 2010. – № 16. – С. 230–238.

150. Меркулова, О. Логистическая индустрия в Германии / О. Меркулова // Теория и практика германистов: состояние и перспективы: материалы VI Межвузовской междисциплинарной научно-практической конференции: сборник статей студентов и аспирантов, Москва, 24 марта 2018 года. – Москва: Всероссийская академия внешней торговли Министерства экономического развития Российской Федерации, 2018. – С. 100–108.

151. Нгуен Дао Зунг. Повышение безопасности движения на пересечениях автомобильных дорог в разных уровнях в условиях Вьетнама: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01 / Нгуен Дао Зунг. – Москва, 2010. – 188 с.

152. Нгуен Тхи Бих Ханг. Повышение эффективности функционирования пассажирских автобусных перевозок в крупнейших городах Социалистической Республики Вьетнам (на примере города Хошимина): дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08 / Нгуен Тхи Бих Ханг. – Москва, 2005. – 176 с.

153. Новиков, А.Н. Анализ существующих методов оценки вероятности возникновения ДТП на участках улично-дорожной сети города / А.Н. Новиков, Л.Е. Кущенко, С.В. Кущенко, И.А. Новиков // Вестник гражданских инженеров. – 2021.

154. Новиков, А.Н. Методика организации маршрутной сети городского пассажирского транспорта общего пользования / А.Н. Новиков, А.В. Кулев, М.В. Кулев, Н.С. Кулева // Мир транспорта и технологических машин. – 2015. – № 1 (48). – С. 85–92.

155. Новиков, А.Н. Построение модели функционирования маршрута троллейбуса / А.Н. Новиков, А.Л. Севостьянов, А.А. Катунин, А.В. Кулев // Мир транспорта и технологических машин. – 2012. – № 4 (39). – С. 80–87.

156. Новиков, А.Н. Современная оценка проблемы безопасности дорожного движения / А.Н. Новиков, И.А. Новиков, А.Г. Шевцова. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. – 108 с.

157. Новиков, И.А. К вопросу создания единой имитационной модели транспортной инфраструктуры городской агломерации / И.А. Новиков, А.Е. Боровской, О.Ю. Боровская, Н.А. Буряченко // Региональная научно-техническая конференция по итогам конкурса ориентированных фундаментальных исследований по междисциплинарным темам, проводимого Российским фондом фундаментальных исследований и Правительством Белгородской области, Белгород, 20–21 апреля 2017 года / – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2017. – С. 217–227.

158. Об утверждении социального стандарта транспортного обслуживания населения при осуществлении перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом. Распоряжение Министерства транспорта РФ от 31 января 2017 г. №НА-19-р.

159. ОДМ 218.2.020-2012 Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог, Федеральное дорожное агентство (Росавтодор), Москва, 2012.

160. ОДМ 218.2.071-2016 Методические рекомендации по проектированию кольцевых пересечений при строительстве и реконструкции автомобильных дорог / введены в действие Распоряжением Росавтодора (Федерального дорожного агентства) от 4 апр. 2017 г. № 589-р. URL: <http://rosavtodor.ru/storage/app/media/uploaded-files/odmkolbtsaapr2017.pdf>.

161. ОДМ 218.4.004-2009 Руководство по устранению и профилактике возникновения участков концентрации ДТП при эксплуатации автомобильных дорог. – М.: Информавтодор, 2009. – 94 с.

162. ОДМ 218.4.005-2010 Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах. – М.: ФГУП Информавтодор, 2011. – 269 с.

163. ОДМ 218.6.015-2015 Рекомендации по учету и анализу дорожно-транспортных происшествий на автомобильных дорогах Российской Федерации. – М.: Росавтодор, 2015. – 81 с.

164. Осипов, Л.А. Имитационное моделирование систем массового обслуживания с ограниченной очередью / Л.А. Осипов // Наука и техника транспорта. – 2010. – № 4. – С. 30–36.

165. Официальный сайт администрации города Красноярск [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.admkrsk.ru>.

166. Петров, А.И. Государственное регулирование в сфере автодорожного надзора за рынком пассажирских перевозок: учебное пособие / А.И. Петров, Л.Г. Резник. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2011. – 112 с.

167. Пильгейкина, И.А. Влияние эффекта координации на задержку транспортных средств / И.А. Пильгейкина // Мир транспорта и технологических машин. – 2020. – № 1 (68). – С. 59–64.

168. Плескунин, В.И. Теоретические основы организации и анализа выборочных данных в эксперименте: Учеб. пособие. – Ленинград: Изд-во ЛГУ, 1979. – 232 с.

169. Плотников, А.М. Расчетная оценка безопасности движения на одноуровневых пересечениях дорог / А.М. Плотников, Д.О. Баландин // Транспорт Российской Федерации. – 2019. – № 2 (81). – С. 36–39.

170. Пугачев, И.Н. Организация дорожного движения: учебное пособие для учреждений высшего профессионального образования / И.Н. Пугачев, А.Э. Горев, А.И. Солодкий, А. В. Белов. – Москва: Академия, 2013. – 240 с.

171. Пугачев, И.Н. Особенности разработки документов территориально-транспортного планирования / И.Н. Пугачев, А.В. Боброва, В.И. Щеглов, Н.Д. Смирнова // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. – 2020. – Т. 1. – № 1. – С. 170–172.

172. Ращупкина, О.С. Анализ временных рядов с помощью системы STATISTICA / О.С. Ращупкина // Фундаментальные и прикладные исследования в области управления, экономики и торговли: сборник трудов научно-практической и учебной конференции, Санкт-Петербург, 04-06 июня 2019 года. – Санкт-Петербург: Издательство Политехнического университета, 2019. – С. 58–61.

173. Раюшкина, А.А. Проблемы развития транспортной инфраструктуры / А.А. Раюшкина, Е.В. Гофман, Н.В. Редкокашина // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2018. – № 6 (216). – С. 41–45.

174. Ризниченко, Г.Ю. Теория вероятностей и математическая статистика. Математические модели: Учебник / Г.Ю. Ризниченко, А.Т. Терехин, В.Д. Мятлев, Л.А. Панченко. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2018. – 321 с.

175. Самуйлов, С.В. Объектно-ориентированное моделирование на основе UML: учебное пособие / С.В. Самуйлов. – Саратов: Вузовское образование, 2016. – 37 с.

176. Сафронов, К.Э. Моделирование пассажирских и транспортных потоков в городской агломерации / К.Э. Сафронов, Э.А. Сафронов // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2019. – № 3 (58). – С. 75–82.

177. Сатышев, С.Н. Автоматизация оперативного управления материальными потоками в подсистеме материально-технического снабжения производственного объединения: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / Сатышев Сергей Николаевич. – Москва, 2009. – 154 с.

178. Сеньченков, В.И. Совершенствование процессов обучения в диагностических моделях сложных технических систем / В.И. Сеньченков, Е.В. Шишкин // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2017. – № 4. – С. 33–44.

179. Сениченков, Ю.Б. Численное моделирование гибридных систем / Ю.Б. Сениченков. – Санкт-Петербург: Издательство Политехнического университета, 2004. – 206 с.

180. Сильянов, В.В. Пути повышения эффективности управления дорожным движением в мегаполисах / В.В. Сильянов // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2013. – № 3 (66). – С. 1–4.

181. Сирота, А.А. Моделирование конфликтного взаимодействия систем с использованием формализма гибридных автоматов / А.А. Сирота, Н.И. Гончаров // Информационные технологии. – 2018. – Т. 24. – № 1. – С. 17–27.

182. Советов, Б.Я. Гравитационная и энтропийная модели потоков при территориальном планировании развития транспортной системы / Б.Я. Советов, А.В. Сикерин // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. – 2016. – № 8. – С. 21–25.

183. Соколова, Л.В. Автоматизированная система обработки информации и управления предприятием по сервисному обслуживанию дорожно-строительной техники: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / Соколова Лина Викторовна. – Москва, 2005. – 148 с.

184. Сорокин, А.А. Математическое моделирование пассажирских корреспонденций городской транспортной системы / А.А. Сорокин // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. – 2020. – № 2 (77). – С. 138–142.
185. СП 42.13330.2016. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений актуализированная редакция СНиП 2.07.01–89. – М.: Минстрой России, 2016. – 94 с.
186. Спирин, И.В. Планирование устойчивого развития регулярных перевозок пассажиров в городах России / И.В. Спирин, О.Ю. Матанцева, Ю.М. Гришаева, М.И. Савосина // Безопасность колёсных транспортных средств в условиях эксплуатации: материалы 106-й Международной научно-технической конференции, Иркутск, 23-26 апреля 2019 года. – Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2019. – С. 629–636.
187. Стрельбицкий, М.В. Автоматизация и управление технологическими и транспортными машинами при строительстве на грунтах со слабой несущей способностью: дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.06 / Стрельбицкий Максим Владимирович. – Москва, 2002. – 310 с.
188. Сухов, Д.Ю. Аналитический обзор моделей случайных графов для моделирования социальных сетей / Д.Ю. Сухов // Евразийский научный журнал. – 2017. – № 3. – С. 185–186.
189. Тарасов, В.Н. Теория вероятностей, математическая статистика и случайные процессы: учебное пособие / В.Н. Тарасов, Н.Ф. Бахарева. – Самара: Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2017. – 283 с.
190. Тарханов, О.А. Транспортно-логистический каркас стратегического пространственного развития России / О.А. Тарханов, В.Р. Саттаров // Проблемы современной экономики. – 2019. – № 3 (71). – С. 85–87.
191. Ткаченко, С.Н. Оптимизация сетей общественного транспорта городов / С.Н. Ткаченко, А.В. Паршков, А.А. Кураксин [и др.] // Транспорт Российской Федерации. – 2017. – № 2 (69). – С. 59–62.

192. Такмакова, Ю.В. Комплексная схема организации дорожного движения как перспективный метод обеспечения его безопасности / Ю.В. Такмакова // Вестник Восточно-Сибирского института Министерства внутренних дел России. – 2020. – № 3 (94). – С. 264–270.

193. Трофименко, Ю.В. Транспортное планирование: формирование эффективных транспортных систем крупных городов: монография / Ю.В. Трофименко, М.Р. Якимов. – Москва: Издательский дом «Логос Пресс», 2013. – 464 с.

194. Трофимов, С.В. Транспортная стратегия России и развитие конкурентных отношений на транспорте / С.В. Трофимов // Конкурентное право. – 2018. – № 3. – С. 14–16.

195. Феофилова, А.А. Изучение параметров моделей для динамической маршрутизации транспортных потоков / А.А. Феофилова, В.В. Фиалкин // Интернет-журнал «Науковедение». – 2012. – № 4 (13). – С. 217.

196. Цибулька, Я. Качество пассажирских перевозок в городах / пер. с чеш. / Я. Цибулька. – М.: Транспорт, 1987. – 239 с.

197. Шаров, М.И. Развитие критериев оценки качества обслуживания на городском пассажирском транспорте / М.И. Шаров, А.Г. Левашев // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2015. – № 7 (102). – С. 174–178.

198. Шевцова, А.Г. Математический анализ определенных показателей безопасности дорожного движения в Российской Федерации / А.Г. Шевцова // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2021. – Т. 18. – № 6 (82). – С. 700–711.

199. Шибанов, А.П. Управленческий анализ содержания «Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года»: выявление региональных проблем / А.П. Шибанов, Г.И. Верницкий // ГосРег: государственное регулирование общественных отношений. – 2021. – № 4 (38). – С. 17–25.

200. Якимов, М.Р. Научная методология формирования эффективной транспортной системы крупного города: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.01 / Якимов Михаил Ростиславович. – Москва, 2011. – 418 с.

201. Якимов, М.Р. Основные подходы к моделированию движения пешеходных потоков / М. Р. Якимов // Мир транспорта. – 2015. – Т. 13. – № 4 (59). – С. 166–173.

202. Якимов, М.Р. Транспортное планирование. Особенности моделирования транспортных потоков в крупных российских городах / М.Р. Якимов, А.А. Арепьева. – Москва: «Издательская группа «Логос», 2016. – 280 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А*(справочное)*
Акты внедрения

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научно-
технологической деятельности и
кадрам научных кадров

Радченко С.Ю.

2022 г.



АКТ

внедрения результатов диссертационного исследования в учебный процесс

Комиссия в составе Новикова А.Н. – директора политехнического института имени Н.Н. Поликарпова, Ломакина Д.О. – доцента кафедры сервиса и ремонта машин, Кулева А.В. – доцента кафедры сервиса и ремонта машин настоящим актом подтверждает внедрение результатов диссертационного исследования на тему «Методология организации перевозок пассажиров городским общественным транспортом в условиях перспективного территориального развития города», автора Еремина С.В. в учебный процесс кафедры сервиса и ремонта машин.

Материалы исследования используются для преподавания дисциплин «Пассажирские перевозки», «Организация и безопасность дорожного движения», «Организация транспортных услуг и безопасность транспортного процесса», «Теория транспортных процессов и систем», «Транспортная логистика», «Единая транспортная система», «Моделирование транспортных систем и процессов» у студентов направлений подготовки 23.03.01 - Технология транспортных процессов, 23.03.03 - Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов и специальности 23.05.01 - Наземные транспортно-технологические средства.

Председатель комиссии

Новиков А.Н.

Члены комиссии:

Ломакин Д.О.

Кулев А.В.

Муниципальное предприятие города Красноярска

«Городской транспорт»

(МП «Гортранс», ОГРН 1022402301690)

660093, г. Красноярск, ул. им. Академика Вавилова, 2, тел. 201-02-32

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
Муниципального предприятия города
Красноярска «Городской транспорт»
Вострикова А.Г.
«20» декабря 2021 г.



АКТ

внедрения результатов диссертационного исследования «Методология организации перевозок пассажиров городским общественным транспортом в условиях перспективного территориального развития города»

Соискатель - Еремин С.В.

Комиссия в составе председателя комиссии Тихомирова И.В. – главный инженер МП «Гортранс», и членов комиссии: Капленко Ю.С. – заместитель директора МП «Гортранс», Климина С. Б – заместитель директора по экономике МП «Гортранс» подтверждает настоящим актом внедрение результатов диссертационного исследования «Методология организации перевозок пассажиров городским общественным транспортом в условиях перспективного территориального развития города» Еремина Сергея Васильевича в работу муниципального предприятия города Красноярска «Городской транспорт».

Материалы исследования используются для контроля и планирования работы подвижного состава на маршрутах городского общественного транспорта города Красноярска, что позволяет повысить качество транспортного обслуживания населения и сократить эксплуатационные расходы на содержание парка подвижного состава.

Председатель комиссии

Тихомиров И.В.

Члены комиссии:

Капленко Ю.С.

Климина С.Б.



МВД России

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ
МИНИСТЕРСТВА ВНУТРЕННИХ ДЕЛ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
по КРАСНОЯРСКОМУ КРАЮ
(ГУ МВД России по Красноярскому краю)

Управление государственной
инспекции безопасности дорожного
движения

ул. Брянская, 23, Красноярск, 660049
т. 290-47-88, ф. 212-20-98

УТВЕРЖДАЮ

Врио начальника УГИБДД
ГУ МВД России
по Красноярскому краю



А.В. Сиротинин
«С» марта 2022 года

№ _____

АКТ

внедрения результатов диссертационного исследования на тему:
«Методология организации перевозок пассажиров городским общественным
транспортом в условиях перспективного территориального развития города»

соискатель – Еремин С.В.

научный консультант – Новиков А.Н.

Комиссия в составе: Родин Александр Александрович – врио заместителя начальника УГИБДД ГУ МВД России по Красноярскому краю¹ – начальник отдела надзора и регистрационно-экзаменационной работы² УГИБДД ГУ МВД; Прыгун Дмитрий Владимирович – начальник отделения технического надзора и регистрационно-экзаменационной работы ОНиРЭР УГИБДД ГУ МВД; Рагимов Александр Салимович – врио заместителя начальника отдела дорожно-патрульной службы и исполнения административного законодательства³ УГИБДД ГУ МВД – начальник отделения исполнения административного законодательства ОДПСИАЗ УГИБДД ГУ МВД, настоящим актом подтверждает применение в работе УГИБДД ГУ МВД результатов диссертационного исследования С.В. Еремина на тему «Методология организации перевозок пассажиров городским общественным транспортом в условиях перспективного территориального развития города».

Теоретические зависимости, полученные С.В. Ереминым, используются в аналитической деятельности УГИБДД ГУ МВД для принятия организационных мер по предупреждению дорожно-транспортных происшествий и снижению тяжести их последствий.

Председатель комиссии

Члены комиссии:

 А.А. Родин
 Д.В. Прыгун
 А.С. Рагимов

¹ Далее – «УГИБДД ГУ МВД»

² Далее – «ОНиРЭР»

³ Далее – «ОДПСИАЗ»

УТВЕРЖДАЮ
Исполняющий обязанности
руководителя департамента
градостроительства
администрации города
Красноярска



М.В. Волков

2022 г.

АКТ

внедрения результатов диссертационной работы «Методология организации перевозок пассажиров городским общественным транспортом в условиях перспективного территориального развития города» соискателя Еремина С.В.

В рамках выполнения научного исследования Ереминым С.В. предложена равновесная модель жилищного и транспортного и транспортного развития города на основе модели нечеткого вывода, представляющая практический интерес с точки зрения градостроительного планирования.

Комиссия в составе: Силкин М.В, заместитель руководителя департамента транспорта администрации города Красноярск, Козловский И.О., начальник строительного отдела департамента градостроительства администрации города Красноярск, Лоскутова С.Е., исполняющий обязанности начальника отдела градостроительной документации управления архитектуры администрации города Красноярск, подтверждает настоящим актом применение результатов диссертационного исследования «Методология организации перевозок пассажиров городским общественным транспортом в условиях перспективного территориального развития города» соискателя Еремина С.В. в разработке и реализации муниципальных целевых программ, разделов городских целевых программ в области градостроительства на территории города Красноярск и программ социально-экономического развития территории города Красноярск.

Председатель комиссии

Силкин М.В.

Члены комиссии:

Козловский И.О.

Лоскутова С.Е.



ДЕПАРТАМЕНТ ТРАНСПОРТА
АДМИНИСТРАЦИИ ГОРОДА КРАСНОЯРСКА

Карла Маркса ул., 93, г. Красноярск, 660049, тел. (8-391) 226-10-28, факс (8-391) 226-11-67
e-mail: trans@admkrsk.ru, www.admkrsk.ru, ИНН/КПП 2466082669/246601001

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель департамента
транспорта администрации города
Красноярска

 Радченко Э.П.
«18 сентября» 2022 г.

АКТ

внедрения результатов диссертационной работы Еремина С.В. «Методология организации перевозок пассажиров городским общественным транспортом в условиях перспективного территориального развития города»

Мы, нижеподписавшиеся, комиссия в составе: заместителя руководителя департамента транспорта – начальника отдела организации перевозок и дорожного движения Манченко И.А., генерального директора МП г. Красноярск «КПАТП № 7» Оськина А.В., индивидуального предпринимателя Кнапнугеля К.А. составили настоящий акт о том, что результаты диссертационного исследования «Методология организации перевозок пассажиров городским общественным транспортом в условиях перспективного территориального развития города», выполненного Ереминым Сергеем Васильевичем, применяются в работе департамента транспорта администрации города Красноярск.

Использование полученных Ереминым С.В. теоретических и практических результатов позволяет повысить качество перевозок пассажиров на регулярных маршрутах общественного транспорта города Красноярск. Результаты исследования используются при разработке следующих документов:

- реестра маршрутов регулярных перевозок города Красноярск;
- плана перевозок пассажиров в городе Красноярске;

- муниципальных программ по устойчивому функционированию и развитию транспортных организаций;
- правовых актов города по вопросам создания условий для предоставления транспортных услуг населению и организации транспортного обслуживания населения в границах города Красноярска.

Председатель комиссии:



Манченко И.А.

Члены комиссии:



Оськин А.В.



Кнапнугель К.А.



**МУНИЦИПАЛЬНОЕ КАЗЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ГОРОДА КРАСНОЯРСКА «КРАСНОЯРСКОГОРТРАНС»**

пер. Медицинский, д 6, пом. 34, г. Красноярск, 660078, e-mail: info@mu-kgt.ru,
ОКПО 88656624, ОГРН 1082468046100, ИНН/КПП 2464211559/246401001



УТВЕРЖДАЮ

Исполняющий

руководителя

казенного учреждения

города Красноярск «Красноярскгортранс»

обязанности

муниципального

города

А.С. Рубан

«20» января 2022 года

АКТ

**практического внедрения разработанного метода многокритериальной
оптимизации парка подвижного состава городского пассажирского
транспорта**

**(на основе результатов диссертационной работы С.В. Еремина
«Методология организации перевозок пассажиров городским
общественным транспортом в условиях перспективного
территориального развития города»)**

Комиссия в составе (Барсукова Сергея Алексеевича заместителя руководителя МКУ "Красноярскгортранс", Ничковской Дарьи Александровны начальника отдела управления учета и контроля за работой пассажирского транспорта МКУ "Красноярскгортранс" и Демина Антона Анатольевича главного специалиста отдела организации пассажирских перевозок МКУ "Красноярскгортранс") подтверждает настоящим актом внедрение результатов диссертационного исследования «Методология организации перевозок пассажиров городским общественным транспортом в условиях перспективного территориального развития города» Еремина Сергея Васильевича в работу муниципального казенного учреждения «Красноярскгортранс».

Анализ практического внедрения проведен за пять лет с 2017 год по 2021 год включительно.

Данные по количеству маршрутов в соответствии с реестром муниципальных маршрутов регулярных перевозок автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом в городе Красноярске представлены в таблице:

Год	Количество маршрутов регулярных перевозок*			Итого
	автобусных	троллейбусных	трамвайных	
2017/ 1 кв 2018г.	72	4	5	82
4 кв. 2018	62	4	4	70
2019	57	5	4	66
2020	55	5	4	64
2021	54	6	4	64

Примечание:

- 2-3 Квартал 2018г. – первый пересмотр маршрутной сети с 2008г.
Закрыто 10 дублирующих автобусных маршрутов.
По тех. Причинам закрыт трамвайный маршрут № 2
- 2019г. Закрыто 5 автобусных маршрутов, пересмотр класса вместимости подвижного состава на основании пассажиропотока.
Открыт новый троллейбусный маршрут № 8 «Северный – ЖД Вокзал»
- 2020г. Закрыто 2 автобусных маршрута. Запущен Первый магистральный троллейбусный маршрут № 15 «РУСАЛ – мкр. Ветлужанка», 3 кв. 2020г. Запущен второй магистральный троллейбусный маршрут №5 «мкр. Северный - Студгородок» (Совмещение троллейбусных маршрутов №8 «Мкр. Северный – ЖД Вокзал» и маршрута №5 «ЖД Вокзал - Студгородок»)
- 2021г. Закрытие 1 автобусного маршрута № 36 «мкр. Пашенный- ЖД Вокзал». Открыт троллейбусный маршрут № 6 «мкр. Пашенный – ЖД Вокзал» через Коммунальный мост с автономным ходом

Среднесуточный выход общественного транспорта на маршруты г. Красноярска

Год	Количество подвижного состава, ед.*			Итого
	автобусы	троллейбусы	трамваи	
1 кв. 2018г.	1055	47	38	1140
2019	887	50	38	975
2020	778	54	36	868
2021	725	70	36	831

За период с 2017 по 2021 годы регулярная перевозка пассажиров и багажа по маршрутам города Красноярска осуществлялась транспортными средствами малого, среднего, большого классов вместимости.

Справочно:

Общее количество общественного транспорта по всем предприятиям
г. Красноярска

Год	Количество подвижного состава, ед.*			Итого
	автобусы	троллейбусы	трамваи	
2018	1143	102	58	1303
2019	1157	102	58	1317
2020	1127	97	58	1282
2021	1064	129	66	1259

*Указывается количество подвижного состава по состоянию на конец года (находящихся в ведении предприятий)

Распределение общественного транспорта по классам вместимости

Год	Класс вместимости транспортных средств*			Итого
	малый	средний	большой	
2018	55	416	832	1303
2019	50	483	784	1317
2020	49	486	747	1282
2021	27	463	769	1259

*Указывается количество ТС соответствующего класса по состоянию на конец года(находящихся в ведении предприятий)

Динамика обновления подвижного состава, в том числе с учетом экологической повестки города

Год	Обновление подвижного состава, ед.			Итого приобретено, ед.
	автобус	трамвай	троллейбус	
2018	166	0	0	166
2019	192	0	1	193
2020	131	0	1	132
2021	207	25	74	306

Количество перевезенных пассажиров, млн. чел.

Год	Перевезено пассажиров, млн. чел			Итого, млн. пасс
	автобус	трамвай	троллейбус	
2018	205,5	4,8	6,3	216,6
2019	201,7	5,6	6,8	214,1
2020	155,3	4,2	5,0	164,5
2021	183,7	5,3	8,9	197,9

Примечание:

В транспортной системе города функционирует проект «Городская электричка», интегрированный в пригородные перевозки железнодорожным транспортом. Объем перевозок в общей структуре носит в настоящее время параметры погрешности (1,8 млн. пассажиров в год). Но вместе с тем данный вид транспортного сообщения рассматривается как системообразующий и перспективный при формировании концептуальных подходов развития.

Главенствующим критерием оценки эффективности проводимых трансформаций маршрутной сети и парка транспортных средств является реакция жителей города. Она напрямую отражает потребительское качество перевозок общественным транспортом. Для этого проводился социологический анализ «Изменения в подходах организации пассажирских перевозок городского общественного транспорта в условиях перспективного развития города за 2017-2020 гг. (на основе данных из СМИ, интернет изданий и обращений граждан)».

Всего было проанализировано обращений:

- 2017г. – 1335 шт.;
- 2018г. – 1436 шт.;
- 2019г. – 805 шт.;
- 2020г. – 1141 шт.

Динамика изменений очень наглядно показывает реакцию общества в моменте на те или иные изменения системы пассажирского обслуживания.

Исторический аспект:

Система городского общественного транспорта на протяжении многих лет работала по накопительному принципу, то есть маршрутная схема прирастала за счет локальных потребностей и возрастающей политической конъюнктуры. В итоге любые оптимизационные меры разбивались о политические рифы. Вследствие не возможности обеспечивать развитие подвижного состава и экономической целесообразности перевозочной деятельности ряд частичных перевозчиков начали заявлять об уходе с рынка, а муниципальное предприятие «КПАТП-2» перешло в категорию банкротных. Количество транспорта доходило до 1200 единиц в сутки при эффективно-расчетных параметрах – 800-900 единиц.

Активная фаза подготовки и реализации комплекса мер по оптимизации маршрутной сети: изменение ее конфигурации с учетом развития города, приоритезации движения общественного транспорта, создание базового магистрального электрокаркаса, совершенствование механизмов расчета в городском общественном транспорте, оптимизация дорожного движения и введение единых стандартов визуального оформления подвижного состава была проведена в 4 кв. 2017 и 2018 году.

Структурный анализ реакционных откликов показывает, что количество сообщений по вопросам изменения маршрутной сети возросло в 2018г. по сравнению с 2017г. с 296 до 553. При этом необходимо учитывать, что решения уже начинали приниматься в конце 2017г.

С учетом этого можно констатировать увеличение социологической активности минимум в 3 раза.

Таким образом, можно сделать вывод – наиболее глубинная оптимизация маршрутной сети за период постсоветского периода проведена в 2018г., что выразилось в мгновенной реакции общества, но повышение ритмичности, замена классов транспортных средств, компенсация дублирующих направлений новыми связями, в том числе в растущих микрорайонах, нивелировало взрывную реакцию и уже негативный тренд в 2019 и 2020гг. сменился на устойчиво-конструктивный.

В 2019г. количество сообщений составило 277шт., что ниже уровня 2017г.

В 2020г. количество обращений возросло до 406. Но устойчиво прослеживается эволюционный настрой, то есть массово запущены процессы формирования магистральных маршрутов электрического транспорта (троллейбусы) вдоль всего левобережья и впервые запущен межбереговой маршрут электротранспорта по Коммунальному мосту.

Решение задачи оптимизации состава парка для обслуживания маршрутов методом многокритериального выбора между расходами на содержание парка и затратами времени пассажиров на реализации поездок показало практическую эффективность. Для решения задачи совместно использовались аналитические и имитационные модели. При этом удалось сделать существенный шаг в поиске компромисса между затратами

перевозчиков и качеством услуг для пассажиров. В результате затраты системно сократились, не отразившись отрицательно на качестве услуг. В этом заключалась ключевая миссия оптимизации парка транспортных средств в городе Красноярске.

Председатель комиссии



Барсуков С.А.

Члены комиссии:



Ничковская Д.А.



Демин А.А.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(справочное)

**Мероприятия по оптимизации дорожного движения
в г. Красноярске 2018-2021 гг.**



**Муниципальное казенное учреждение города Красноярска
«Управление дорог, инфраструктуры и благоустройства»**

Юридический адрес: ул. Можайского, 11, г. Красноярск, 660041,
Фактический адрес: ул. Можайского, 11, г. Красноярск, 660041,
тел. 8 (391) 217-98-20, факс 8 (391) 217-98-23
ОКПО 88663843, ОГРН 1082468051995, ИНН/КПП 2466215012/246301001

**Мероприятия по оптимизации дорожного движения
в г. Красноярске 2018-2021 гг.**

Отдел мониторинга пропускной способности улично-дорожной сети и безопасности дорожного движения МКУ «УДИБ» г. Красноярска выполняет различные функции в том числе, разработка и корректировка режимов работы светофорных объектов, разработка предложений по оптимизации дорожного движения (запрещение левых поворотов, уширение проезжей части, изменение геометрический параметров перекрестков, изменение направления движения на проезжей части, оптимизация парковочного пространства, введение одностороннего движения и т.д.).

С 2018 по 2021 год в г. Красноярске выполнено 41 мероприятие с целью оптимизации дорожного движения (см. Приложение № 1). Наиболее результативными являются:

В 2018 году: запрещен левый поворот с ул. Дубровинского на Коммунальный мост, изменено направление одностороннего движения по ул. Сурикова (в настоящее время организовано с ул. К. Маркса в сторону ул. Дубровинского).

Согласно сервиса «Яндекс пробки» по ул. Вейнбаума наблюдается снижение длины заторовой ситуации с 1550 метров до 1000 метров (-550 м.), также уменьшение вечернего часа «пик» на 1 час (ранее с 17.30 до 19.30, в настоящее время с 18.00 до 19.00). Увеличена скорость движения общественного транспорта по ул. Вейнбаума на участке от ул. Марковского до ул. Карла Маркса (+ 2,2 км/ч). В результате изменения направления одностороннего движения по ул. Сурикова снизилась транспортная нагрузка на ул. П. Коммуны на участке от ул. К. Маркса до ул. Дубровинского при этом увеличилась интенсивность движения в час «пик» с 17.00 до 19.30 по ул. Сурикова с 324 ед./час до 647 ед./час (+323 ед./час). Данное увеличение свидетельствует о востребованности, целесообразности изменения организации дорожного движения.

В 2019 году: организация отнесённых левых поворотов с ул. Шахтеров в микрорайон Покровский с закрытием поворотов налево (разворотов) на 5 перекрестках, организацией одностороннего движения транспорта на 4 улицах.

Согласно информации от департамента транспорта по анализу скорости движения общественного транспорта по ул. Шахтеров после изменения ОДД следует, что скорость движения общественного транспорта увеличилась на 8,36 км/час).

Длина заторовой ситуации в утренний час «пик» до и после изменения организации дорожного движения:

1. по ул. Шахтеров при движении от ул. Д. Мартынова до ул. Мужества уменьшилась с 160 м. до 150 м.

2. по ул. Шахтеров при движении от ул. С. Разина до ул. Молокова уменьшилась с 250 м. до 100 м.

3. по ул. Взлетная при движении от ул. Весны до ул. Шахтеров уменьшилась с 420 м. до 220 м.;

4. по ул. Мужества при движении от ул. Чернышевского к ул. Шахтеров уменьшилась с 200 м. до 100 м.;

Уровень заторовой ситуации на ул. Шахтеров в утренний час «пик» сократился с 7 до 6 баллов.

Длина заторовой ситуации в вечерний час «пик» до и после изменения организации дорожного движения:

1. По ул. Шахтеров от ул. Игарская до ул. Молокова уменьшилась с 850 м. до 100 м.;

2. По ул. Березина от ул. Спандаряна до ул. Шахтеров уменьшилась с 360 м. до 380 м.;

3. По ул. Взлетная от ул. Весны до ул. Шахтеров уменьшилась с 400 м. до 100 м.;

4. По ул. Молокова от ул. Батурина до ул. Шахтеров уменьшилась с 820 м. до 100 м.

Уровень заторовой ситуации на ул. Шахтеров в вечерний час «пик» сократился с 8 до 7 баллов.

Дополнительно следует отметить, что по данным ОГИБДД МУ МВД России «Красноярское» в перечень мест концентрации ДТП (до изменения организации дорожного движения по ул. Шахтеров) по итогам 2017 года входил перекресток ул. Шахтеров – ул. Гагарина на котором погиб 1 человек, ранено 2 человека, а по итогам 2019 года входит перекресток ул. Шахтеров – ул. С. Разина - ул. Дудинская, на котором зарегистрировано 3 ДТП (столкновения), получили ранения 3 человека, включая 1 ребенка. После изменения организации дорожного движения аварийно-опасные участки ликвидированы.

Для улучшения транспортной доступности жителей мкрн. «Покровка», мкрн. «Покровский» (проживает в многоквартирных домах 49240 чел., при вводе в эксплуатацию строящихся домов численность населения увеличится до 52141 чел.) администрацией города Красноярска в 2020 году выполнены работы по расширению ул. Березина на участке от ул. Шахтеров до ул. Линейной до трех полос движения (две полосы для въезда в мкрн. «Покровский».)

Данные виды работ позволили снизить уровень заторовой ситуации, увеличить пропускную способность перекрестка ул. Шахтеров – ул. Березина – ул. Спандаряна.

В 2020 году: Устройство светофорных объектов на кольцевом пересечении Коммунальный мост – Предмостная площадь.

До ввода в эксплуатацию светофорного объекта в 2019 г. в вечерние часы «пик» наблюдалась заторовая ситуация по ул. Матросова от ул. Семафорная до кольцевой развязки Предмостной площади (480м). Протяженность затора по

пр. им. Газеты Красноярский Рабочий составляла 1300 м. – 1500м. Движение транспорта по Коммунальному мосту было затруднено.

После включения в рабочий режим светофорного объекта Коммунальный мост - кольцевая развязка Предмостной площади, снизилась протяженность заторовых ситуаций по ул. Вейнбаума, Коммунальному мосту и ул. Матросова. Дорожно-транспортная обстановка по пр. им. Газеты Красноярский Рабочий, в связи с вводом в эксплуатацию данного светофорного объекта, не изменилась.

В 2021 году: Устройство двух кольцевых пересечений на перекрестке ул. Монтажников – ул. А. Тимошенкова.

До оптимизации дорожного движения перекресток ул. Монтажников – ул. А. Тимошенкова имел сложную конфигурацию (пересечение 5 дорог), насчитывал более 20 конфликтных точек пересечения «автомобиль-автомобиль». По ул. А. Тимошенкова проходит 4 маршрута общественного транспорта (6,8,10,55), по ул. Монтажников 3 маршрута (18, 27, 40), в летний период дополнительно 3 маршрута (18с, 40а, 118а). Существующая интенсивность транспорта по ул. Монтажников составляет 1200 ед./час в обоих направлениях, а по ул. А. Тимошенкова 640 ед./час в обоих направлениях.

Дополнительно были обустроены нерегулируемые пешеходные переходы через ул. Монтажников и ул. А. Тимошенкова.

После устройства двух кольцевых пересечений исключены конфликтные точки, повышена безопасность движения как личного и общественного транспорта, так и пешеходов.

По итогам 2020 года ГИБДД выявлено место концентрации ДТП: ул. А. Матросова – ул. Семафорная.

С целью повышения безопасности дорожного движения на данном участке выполнены работы по оптимизации дорожного движения ул. А. Матросова, в части расширения проезжей части до четырех полос на участке от ул. Свердловская – ул. Семафорная.

Интенсивность транспорта в часы «пик» по ул. А. Матросова от ул. 60 лет Октября в сторону пр. Красноярский рабочий составляет:

Наименование показателя	До расширения проезжей части ул. А. Матросова	После расширения проезжей части ул. А. Матросова	Показатели эффективности
Средняя интенсивность в утренний час «пик»	1756 ед/ч	2320 ед/ч	+564 (+32%)
Средняя интенсивность в вечерний час «пик»	1720 ед/ч	1968 ед/ч	+248 ед/ч (+14%)
Средняя скорость движения легкового транспорта утром	22,0 км/ч	23,4 км/ч	+ 1,4 км/ч
Средняя скорость движения легкового транспорта вечером	22,1 км/ч	23,6 км/ч	+ 1,5 км/ч

По итогу выполненных работ следует отметить, что снизился уровень заторовой ситуации в утренний час «пик»:

по ул. А. Матросова на участке от ул. 60 лет Октября до ул. Семафорная с 320 метров до 160 метров;

по ул. Свердловская с 860 метров до 500 метров;

по ул. 60 лет Октября с 320 метров до 50 метров.

По итогу выполненных работ следует отметить, что снизился уровень заторовой ситуации в вечерний час «пик»:

по ул. А. Матросова на участке от ул. 60 лет Октября до ул. Семафорная с 320 метров до 40 метров;

по ул. Свердловская с 260 метров до 200 метров;

по ул. 60 лет Октября с 720 метров до 350 метров.

Данные виды работ позволили снизить уровень заторовых ситуаций и увеличить пропускную способность по ул. А. Матросова, ул. Свердловская и ул. 60 лет Октября.

С целью повышения безопасности дорожного движения на улично-дорожной сети г. Красноярска введены в эксплуатацию новые светофорные объекты:

В 2018 году – 22 шт.;

В 2019 году – 24 шт.;

В 2020 году – 36 шт.;

В 2021 году – 48 шт.

Специалистами отдела мониторинга пропускной способности улично-дорожной сети и безопасности дорожного движения в режим работы светофорных объектов (в настоящее время в г. Красноярске 528 шт.) с целью увеличения пропускной способности вносятся корректировки:

В 2018 году – 1124;

В 2019 году – 748;

В 2020 году – 545;

В 2021 году – 583.

Количество автомобилей в г. Красноярске ежегодно растет:

В 2017 году – 405319 ед.;

В 2018 году – 411779 ед.;

В 2019 году – 423238 ед.;

В 2020 году – 435303 ед.;

В 2021 год – 439599 ед.

Прирост автомобилей за последние пять лет составил 34 280 ед.

На основе представленной информации с учетом ежегодного роста автомобилизации можно сделать вывод, что благодаря внедренной АСУДД24 и ИТС, выполненным мероприятиям по оптимизации дорожного движения уровень заторовой ситуации в утренний час «пик» с 2017 года по настоящее время снизился (было 6-9 баллов, стало 4-6 баллов), а в вечерний час «пик» (было 7-9 баллов, стало 7-8 баллов).

Работы по разработке мероприятий, направленных на оптимизацию дорожного движения, повышение безопасности дорожного движения ведутся ежегодно на постоянной основе.

При обследовании и выборе наиболее рациональных решений по модернизации ключевых участков улично-дорожной сети города Красноярск выполнялось имитационное моделирование. При этом результативность технических решений подтверждается результатами расчетов, выполненных на основании разработанной Ереминым С.В. в рамках диссертационного исследования «Методология организации перевозок пассажиров городским общественным транспортом в условиях перспективного территориального развития города» факторной модели максимизации пропускной способности участка улично-дорожной сети, устанавливающей взаимосвязь интенсивностей транспортных потоков в различных направлениях.

Приложение: на 2 л. в 1 экз.

Руководитель учреждения



С.А. Печёрин

Список мероприятий по оптимизации дорожного движения
в г. Красноярске с 2018 по 2021 гг.:

1. Строительство правоповоротного шлюза на перекрестке ул. 9 Мая – ул. Водопьянова;
2. Организация регулируемого перекрестка ул. П. Коммуны – ул. Дубровинского в комплексе со строительством островков безопасности;
3. Открытие съезда с Октябрьского моста на ул. Крайняя;
4. Уширение проезжей части до четырех полос при съезде с ул. Копылова на ул. Робеспьера;
5. Устройство пешеходной доступности (выделенная пешеходная фаза) на перекрестке ул. Робеспьера – ул. Богграда;
6. Устройство пешеходной доступности (выделенная пешеходная фаза) на перекрестке ул. Деповская – ул. Богграда;
7. Организация съезда с путепровода ул. Авиаторов на ул. Петра Подзолкова;
8. Расширение пр. Свободный до четырех полос (до ул. Пролетарская);
9. Расширение ул. Е. Стасовой до трех полос (до ул. Мирошниченко);
10. Организация одностороннего движения по пер. Ярцевский вдоль школы;
11. Организация кольцевой развязки на ул. Вильского, ул. Лесопарковая;
12. Организация кольцевой развязки ул. Биатлонная;
13. Организация кольцевой развязки ул. Парашютная – ул. Лесопильщиков;
14. Организация одностороннего движения по ул. Борьбы на участке от пр. Свободный до дома № 14 по пр. Свободный;
15. Организация одностороннего движения по ул. Д. Пролетариата в районе дома № 6;
16. Организация одностороннего движения по ул. 9 Января;
17. Организация одностороннего движения по ул. Каратанова;
18. Организация одностороннего движения по ул. К. Маркса на участке от ул. 9 Января до ул. Каратанова;
19. Оптимизация дорожного движения в районе кладбища «Бадалык»;
20. Закрытие разворотов в районе дома № 2 «г», № 40 по ул. 9 Мая;
21. Закрытие левого поворота с ул. Пролетарская на пр. Свободный за счет организации островков безопасности;
22. Запрещение левых поворотов с ул. Высотная на ул. Можайского, ул. 1-ая Хабаровская;
23. Изменение рядности движения на перекрестке ул. Вавилова – ул. Корнетова, на перекрестке ул. 9 Мая – пр. Комсомольский, проезд вдоль «МихМах», ул. Крупской.
24. Организация отнесённых левых поворотов с ул. Шахтеров в микрорайон Покровский по маршрутам ул. Спандаряна – ул. Березина, также ул. Молокова – проезд вдоль гостиницы «Hilton Garden Inn» – ул. Взлетная – ул. Мужества, в комплексе с закрытием поворотов налево (разворотов) на

перекрёстках: ул. Степана Разина – ул. Шахтеров – ул. Дудинская, ул. Шахтеров – ул. Гагарина, ул. Шахтеров – ул. Березина, ул. Мужества – ул. Шахтеров – ул. Взлетная, строительством новых светофорных объектов в мкр. «Покровский» и ул. Шахтёров, а также организацией одностороннего движения транспорта по ул. Спандаряна, по ул. Березина от ул. Спандаряна до ул. Шахтёров, по ул. Линейная от ул. Березина до ул. Мужества, по ул. Чернышевского от ул. Мужества до ул. Березина.

25. Расширение ул. Березина до трех полос;

26. По ул. Дубровинского запрещен левый поворот с ул. Дубровинского на Коммунальный мост, по ул. Сурикова изменено направление одностороннего движения (в настоящее время организовано с ул. К. Маркса в сторону ул. Дубровинского);

27. Организован островок безопасности на перекрестке ул. 60 лет Октября – пер. Медицинский;

28. Устройство кольцевого пересечения на ул. Шевченко, 48

29. Устройство светофорных объектов на кольцевых пересечениях ул. 9 Мая – ул. Шахтеров, Коммунальный мост – Предмостная площадь.

30. Строительство двух кольцевых пересечений ул. Монтажников – ул. Алеши Тимошенкова;

31. Расширение ул. А. Павлова до 4х полос с организацией пешеходной доступности, устройства дополнительных светофорных объектов;

32. Расширение ул. Маерчака до 6ти полос на участке от дома №22 по ул. Маерчака до перекрестка ул. Маерчака – пр. Свободный с обустройством разделительного островка безопасности;

33. Оптимизация дорожного движения на транспортном узле ул. Взлетная – ул. Аэровокзальная – ул. Березина путем введения одностороннего движения на участке от ул. Взлетная – вдоль гостиницы «Полет», строительства правоповоротного шлюза с ул. Березина на ул. Взлетная, организация регулируемых пешеходных переходов, обустройство остановочных пунктов, расширение до 5ти полос участка ул. Взлетная при подъезде к ул. Аэровокзальная;

34. Изменение рядности на перекрестке ул. Воронова – ул. Краснодарская – ул. Армейская при движении со стороны ул. Воронова;

35. Изменение рядности в районе дома №37 по ул. Воронова;

36. Изменение рядности на перекрестке ул. Ады Лебедева – ул. Перенсона при движении со стороны ул. Брянская;

37. Изменение рядности на перекрестке ул. Чайковского – пр. Красноярский рабочий;

38. Изменение рядности на перекрестке ул. Судостроительная – ул. Семафорная при движении со стороны ул. Судостроительная;

39. Организация полосы разгона по ул. Северное шоссе в районе дома № 18 «А» при движении со стороны Енисейского тракта;

40. Оптимизация дорожного движения в районе дома № 9К/1 ул. Северное шоссе (АЗС «Газпромнефть») по ул. Енисейский тракт;

41. Расширение проезжей части ул. А. Матросова до четырех полос на участке от ул. Свердловская – ул. Семафорная;

42. Строительство двух кольцевых пересечений на участке ул. Алеши Тимошенкова – ул. Монтажников.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(справочное)

Данные о системе пассажирского транспорта г. Красноярска

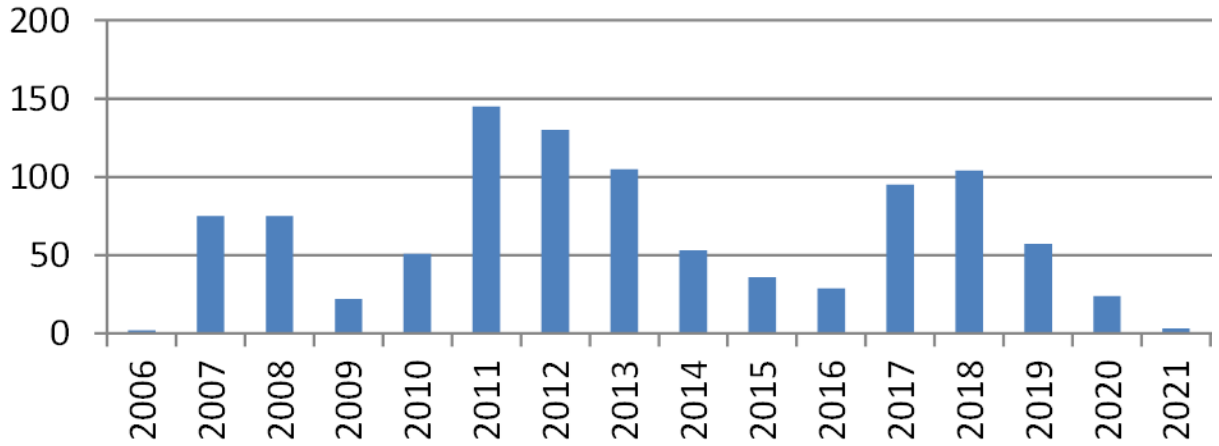


Рисунок Б.1 – Распределение подвижного состава по году выпуска

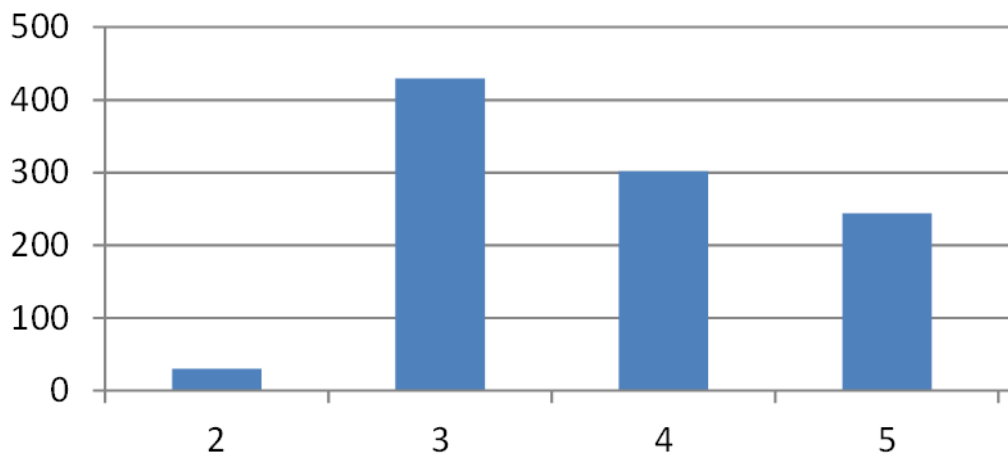


Рисунок Б.2 – Распределение подвижного состава по экологическому классу



Рисунок Б.3 – Распределение подвижного состава по типу топлива

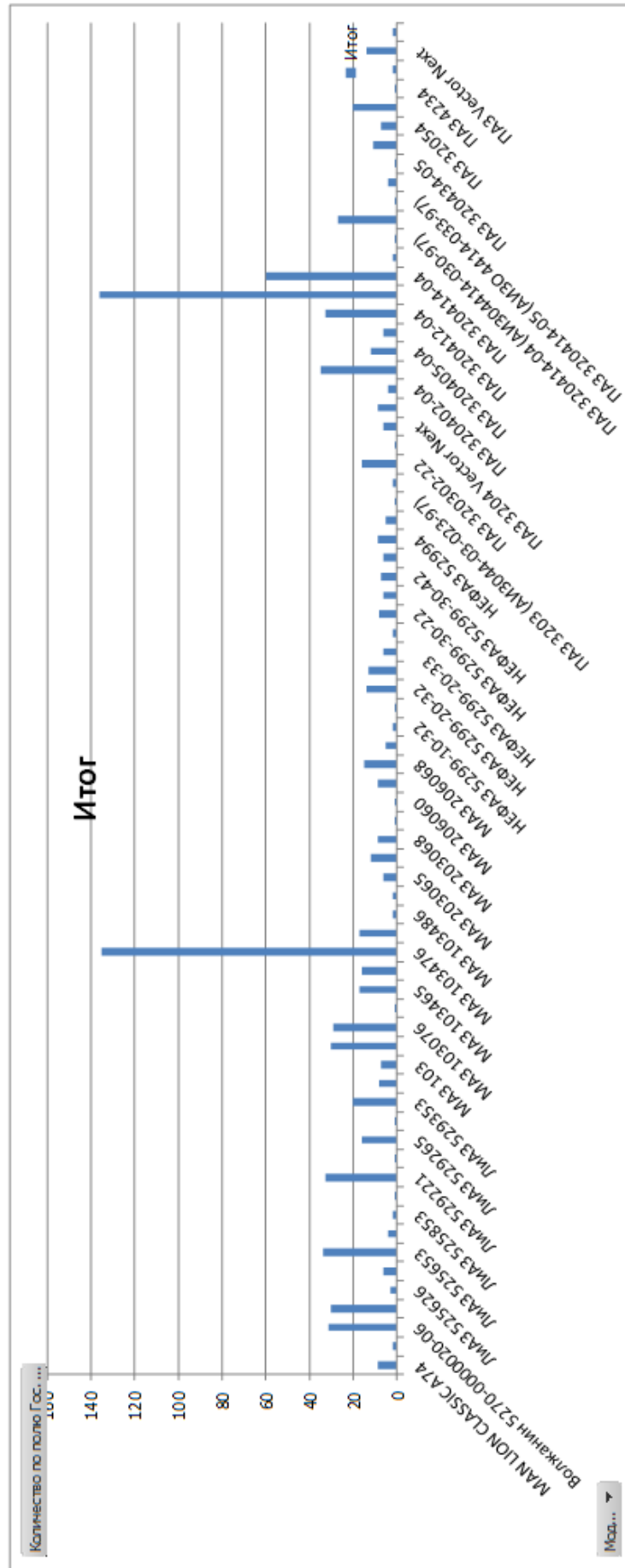


Рисунок Б.3 – Распределение подвижного состава по моделям