

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ДГТУ)»

На правах рукописи



ЦЗЯНГ Хайянь

**РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ
УПРАВЛЕНИЯ ДОРОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ
НА СЕТЕВОМ УРОВНЕ**

Специальность 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
Доктор технических наук, профессор
Зырянов Владимир Васильевич

Ростов-на-Дону – 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
Глава 1. Обработка транспортных данных при управлении дорожным движением на сетевом уровне.....	12
1.1. Развитие современного мониторинга дорожного движения с использованием технологий интеллектуальных транспортных систем.....	12
1.2. Принцип работы современной системы мониторинга дорожного движения с использованием интеллектуального видеонаблюдения.....	17
1.3. Состав и структура данных системы мониторинга дорожного движения.....	21
1.4. Методы использования полученных транспортных данных интеллектуального видеонаблюдения при управлении дорожным движением на улично-дорожной сети.....	26
1.5. Анализ применения транспортных данных при системе мониторинга дорожного движения с использованием интеллектуального видеонаблюдения на сетевом уровне.....	37
Вывод по главе 1.....	42
Глава 2. Сетевые макромоделю дорожного движения.....	43
2.1. Модели американского бюро автомобильных дорог.....	43
2.2. Макромоделю дорожного движения на основе двухкомпонентных макромоделей кинетической теории транспортного потока.....	50
2.3. Основная обстановка на рассматриваемом фрагменте улично-дорожной сети центральной части г. Цзинань КНР.....	60
2.4. Сбор экспериментальных данных – зависимости между характеристиками транспортных потоков в главных участках рассматриваемой улично-дорожной сети.....	66
Вывод по главе 2.....	87
Глава 3. Макроскопическая фундаментальная диаграмма транспортного потока.....	88

3.1. Теория макроскопической фундаментальной диаграммы транспортного потока.....	88
3.2. Построение макроскопической фундаментальной диаграммы транспортного потока на сетевом уровне.....	92
3.3. Анализ исследований о влияниях на форму макроскопической фундаментальной диаграммы транспортного потока при управлении дорожным движением.....	99
3.4. Исследование влияний структуры улично-дорожной сети и настройки светофоров на форму макроскопической фундаментальной диаграммы транспортного потока.....	104
Вывод по главе 3.....	115
Глава 4. Оптимизация дорожного движения на основе макроскопической фундаментальной диаграммы транспортного потока.....	116
4.1. Построение кусочной двухзональной системы на основе макроскопической фундаментальной диаграммы транспортного потока.....	116
4.2. Анализ состояния транспортного потока при теории оптимизации дорожного движения.....	120
4.3. Построение зон притяжения и стабильных зон в кусочной двухзональной системе.....	128
4.4. Построение стабильных зон и их характеристики при изменениях параметров эндогенного и экзогенного потока в кусочной два-районной системе.....	140
4.5. Конкретная стратегия оптимизации дорожного движения на основе макроскопической фундаментальной диаграммы транспортного потока.....	145
Вывод по главе 4.....	148
Заключение.....	150
Список литературы.....	152
Приложение А.....	165
Приложение Б.....	167

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В настоящее время происходят существенные изменения в методах и средствах сбора и обработки данных о параметрах транспортных потоков, управления дорожным движением особенно в приложении к улично-дорожной сети больших размеров в крупных городах. Важнейшим стимулом для таких тенденций являются сложные условия движения вследствие высокого уровня автомобилизации, перегруженности улично-дорожной сети, транспортных заторов. Поэтому постоянно идут процессы развития теории транспортных потоков и ее приложений для решения практических задач управления дорожным движением и появления соответствующих технологий и технических средств для реализации новых теоретических положений.

На новый уровень эти процессы вышли при развитии интеллектуальных транспортных систем. Информационное обеспечение систем управления дорожным движением вышло на новый уровень благодаря высокой степени насыщения дорожной сети транспортными детекторами всех типов, использования данных навигационных систем и средств мобильной связи. Вследствие этого особую актуальность приобретает использование моделирования дорожного движения, поскольку доступность данных об изменении параметров транспортных потоков в реальном режиме времени позволяет расширить масштабы практического применения моделирования. Особенно важной является роль моделирования в функциональной области, связанной с обеспечением систем поддержки принятия решений в связи со все большим применением сетевых методов управления и значительной вариативностью имеющихся алгоритмов управления

Однако в настоящее время все-таки преобладают локальные методы управления дорожным движением или координированное управление на магистральном уровне, имеется большой опыт применения таких алгоритмов и их эффективность достаточно легко доказать для локального объекта управления. Ситуация кардинально меняется при переходе к сетевым методам управления дорожным движением. Необходимо наличие моделей, обеспечивающих системы

управления расчетными данными в реальном режиме времени, а для этого требуется обеспечить баланс между уровнем детализации моделей, адекватностью и оперативностью вычислительных процедур. При сетевых методах на эффективность управления оказывает влияние выбор зоны управления с однородными характеристиками транспортных потоков и топологией сети, что обычно остается за пределами внимания.

С этой точки зрения на основе функциональных возможностей ИТС возрос интерес к использованию сетевых макромоделей и сетевой основной диаграммы транспортного потока [3, 11, 20, 21, 22, 39]. Эти макромоделю позволяют определить функции стабильного состояния, описывающая определенные зависимости между накоплением транспортных средств в определенной зоне и специфическими параметрами – производительностью, эффективностью сети наряду со средней скоростью, интенсивностью, плотностью. Преимущество макроскопической основной диаграммы транспортного потока проявляется в том, что не требуются многие входные данные и имеется низкая восприимчивость для динамических матриц корреспонденций на улично-дорожной сети города. Основным принципом этой теории является применение методов управления дорожным движением на основе нахождения оптимального значения накопления автомобилей для обеспечения максимального значения параметров макроскопической основной диаграммы транспортного потока.

Однако практика управления дорожным движением показывает, что оптимальная стратегия управления дорожным движением не может быть реализована в целом для городской транспортной системы [8, 18, 19, 24, 36, 51]. Ввиду неравномерности загрузки улично-дорожной сети в разных зонах, различных топологических характеристик сети, найденные решения являются обобщенными. Поэтому актуальным является применение макроскопической основной диаграммы для управления дорожным движением на многозональном уровне для связанных зон улично-дорожной сети с различными стратегиями управления для этих зон.

Степень ее разработанности.

При анализе работ, посвященных методам применения макромоделей в системах поддержки принятия решений и системах управления дорожным движением установлено, что основное внимание уделяется таким аспектам как оценка параметров транспортных потоков и условий дорожного движения в какой-либо точке или локальном объекте. В результате этих исследований определены требования к сбору исходных данных, разработаны методы оценки условий движения для приведенных выше объектов, обоснованы методы применения макромоделей при определении параметров светофорного регулирования [1, 5, 10, 26, 28, 32, 37, 38, 43, 44].

Ситуация кардинально меняется при переходе к сетевым методам управления дорожным движением. Необходимо наличие моделей, обеспечивающих системы управления расчетными данными в реальном режиме времени, а для этого требуется обеспечить баланс между уровнем детализации моделей, адекватностью и оперативностью вычислительных процедур. При сетевых методах на эффективность управления оказывает влияние выбор зоны управления с однородными характеристиками транспортных потоков и топологией сети, что обычно остается за пределами внимания.

Важной является проблема применения макромоделей для управления дорожным движением на сетевом уровне. Существующие подходы на сетевом уровне основаны на упрощенных моделях, которые тем не менее требуют большого количества входных параметров и не могут быть использованы в режиме реального времени, являются фрагментарными и недостаточно определенными в отношении целевой функции оптимизации на уровне сети. Сложность задачи также обусловлена тем, что в каждом конкретном случае улично-дорожная сеть имеет свои особенности, нуждается в декомпозиции для дифференциации стратегии управления [4].

Одним из современных направлений для разрешения этих проблемных задач является применение сетевой макроскопической основной диаграммы транспортного потока с параметрами, адаптированными под оценку сетевой

эффективности и возможностью применения для многозональной стратегии управления дорожным движением.

Целью диссертационной работы является создание путем теоретического и практического обобщения макромоделей транспортного потока, развития методологии анализа и моделирования состояния транспортных потоков, определения вариантов оптимизации дорожного движения на сетевом уровне с использованием данных интеллектуального видеонаблюдения для мониторинга дорожного движения в городской системе.

Основные задачи диссертационной работы:

1. Провести анализ теоретических положений создания макромоделей транспортных потоков, их методической и прикладной реализации в процессе развития методов управления дорожным движением на сетевом уровне.

2. Разработать методику определения параметров сетевой основной диаграммы транспортного потока на основе системы мониторинга дорожного движения с использованием интеллектуального видеонаблюдения.

3. Провести экспериментальные исследования по сбору и обработке данных о параметрах транспортных потоков применительно к реализации зональных схем управления в крупных городах.

4. Разработать модели определения оптимальных значений параметров сетевой основной диаграммы транспортного потока в различных зонах с контролем транспортного потока на границах зон при многозональном управлении.

5. На основе разработанных моделей и фактических данных определить варианты оптимизации дорожного движения с учетом регулирования нагрузки на границах различных зон внутри города.

Объект исследования: транспортные потоки на улично-дорожной сети города.

Предмет исследования: процессы управления дорожным движением.

Рабочая гипотеза: применение сетевой макроскопической диаграммы транспортного потока, методов регулирования на границах зон города и

накопления автомобилей в этих зонах обеспечивает повышение эффективности управления дорожным движением.

Методология и методы исследования. Диссертационная работа выполнена на основе теоретических и методологических работ ведущих ученых в области организации и управления дорожным движением, интеллектуальных транспортных систем, статистического анализа больших данных, моделирования дорожного движения на сетевом уровне. Совокупность натуральных данных получена при самостоятельных экспериментальных исследованиях, анализе статистических данных Государственного статистического управления Китайской Народной Республики, Центра исследования дорожно-транспортной безопасности Министерства общественной безопасности Китайской Народной Республики, научных и информационных публикаций в журнальных статьях, научных докладах и отчетах, материалах научных конференций.

В процессе обработки транспортных данных экспериментальных исследований, моделирования и оптимизации дорожного движения использовались база данных SQL2014, Excel 2019, AutoCAD 2020, математико-моделирующий комплекс MATLAB 2019a.

Научная новизна работы:

1. Сформированы основные принципы применения макромоделей и сетевой основной диаграммы транспортного потока при управлении дорожным движением, разработаны требования к определению параметров этих моделей для применения многозональных методов управления дорожным движением.

2. Разработаны математические модели определения оптимального накопления автомобилей в различных зонах для повышения эффективности управления дорожным движением;

3. На основе математического моделирования установлены возможные состояния транспортного потока в связанных зонах для принятия решений по управлению дорожным движением.

На защиту выносятся следующие научные результаты:

1. Положение построения макромоделей с проведением анализа полученных транспортных данных в системе мониторинга дорожного движения.
2. Математические макромоделю, методы и алгоритмы для моделирования состояния транспортных потоков и определения вариантов оптимизации дорожного движения.

Теоретическая значимость работы определяется методикой получения и анализа параметров сетевой основной диаграммы транспортного потока, математическими моделями оценки стабильных и неустойчивых состояний транспортного потока в связанных зонах улично-дорожной сети города, методом оптимизации условий функционирования сети на основе накопления транспортных средств в зонах управления.

Практическая значимость работы заключается в формировании подхода для системы принятия решений по управлению дорожным движением. Полученные результаты имеют прикладной характер и используются для решения практических задач управления дорожным движением путем в г. Цзынань (КНР).

Также результаты работы используются в учебной процессе при подготовке кадров по направлению 23.03.01 «Технология транспортных процессов» в Донском государственном техническом университете и Шаньдунском транспортном университете (КНР).

Методология и методы исследования представлены теоретическими и экспериментальными исследованиями, включающими получение данных с помощью современных средств регистрации параметров транспортных потоков, обработку и анализ полученных данных с использованием методов математической статистики, применением математического моделирования.

Положения, выносимые на защиту:

1. Построение сетевых макроскопических основных диаграмм транспортных потоков с проведением анализа полученных данных в системе мониторинга дорожного движения.

2. Математические макромодели, методы и алгоритмы для моделирования состояния транспортных потоков и определения вариантов оптимизации дорожного движения.

3. Результаты математического анализа результатов оценки функционирования состояния дорожного движения в связанных зонах улично-дорожной сети.

Степень достоверности и апробация результатов.

Обоснованность и достоверность выносимых на защиту научных результатов обеспечиваются применением методики исследования на основе современных математических методов, апробацией результатов исследования на международных конференциях.

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на научно-практических конференциях: 14-ой международной научно-практической конференции «Прогрессивные технологии в транспортных системах» 20-22 ноября 2019 г. (г. Оренбург), 2-ом всероссийском научным конкурсе по техническим направлениям среди иностранных обучающихся в высших учебных заведениях России - 24 декабря 2020 г. (г. Москва), 7-ой международной научно-практической конференции «Информационные технологии и инновации на транспорте» 18-19 мая 2021 г. (г. Орел), 10-ой Всероссийской научно-практической конференции по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика (ИММОД-2021)» 20-22 октября 2021 г. (г. Санкт-Петербург), 8-ой международной научно-практической конференции «Информационные технологии и инновации на транспорте» 16-19 мая 2022 г. (г. Орел).

Личный вклад автора. Все основные результаты исследования и варианты определения оптимизации дорожного движения получены автором самостоятельно.

Соответствие диссертационной работы паспорту специальности.

Выполненные исследования соответствуют формуле паспорта научной специальности 2.9.5 – Эксплуатация автомобильного транспорта по пунктам:

«Исследования в области безопасности движения с учетом технического состояния автомобиля, дорожной сети, организации движения автомобилей, качеств водителей, проведение дорожно-транспортной экспертизы, разработка мероприятий по снижению аварийности».

Публикации. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 6 научных работах общим объемом п.л., в том числе три в ведущих рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации, одна, входящая в международную реферативную базу Scopus.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, основных результатов и выводов, содержит 168 страниц, 32 таблицы, 62 рисунка. Библиографический список включает 125 наименования.

Глава 1.

Обработка транспортных данных при управлении дорожным движением на сетевом уровне

1.1. Развитие современного мониторинга дорожного движения с использованием технологий интеллектуальных транспортных систем

Первые системы видеонаблюдения с технологией автоматического распознавания номерных знаков появились в 1976 г. в отделении научных разработок полиции в Великобритании. С учетом повышения быстродействия компьютеров и развития прогрессивных алгоритмов широкое распространение интеллектуальное видеонаблюдения получило после 1990 г. в различных странах мира. Например, в Китайской Народной Республике системы дорожно-транспортного видеонаблюдения начали применяться с 2001 года, в Российской Федерации подобные камеры появились в рамках выполнения федеральной целевой программы по безопасности дорожного движения в 2008 году. В настоящее время системы видеонаблюдения используются при выполнении широкого перечня функций: мониторинг параметров транспортных потоков, выявления инцидентов, нарушений Правил дорожного движения, контроля за движением транспорта и т.д.

Данные видеоаналитики становятся основным информационным ресурсом интеллектуальной транспортной системы (ИТС), соединяющей инновационные разработки в моделировании дорожного движения и управлении транспортными потоками. Это обеспечивает высокую эффективность применения информационно-коммуникационных технологий и деятельности в режиме реального времени при управлении дорожным движением. Для использования этой совокупности больших данных необходимы мощные Центры управления ИТС, которые интегрируют эти данные, обрабатывают их и в виде управляющих

воздействий, прогнозов или данных для поддержки принятия решений передают всей пользователям ИТС [121].

На современном этапе это связано с развитием искусственного интеллекта (Artificial Intelligence, AI), применением машинного обучения (Machine Learning) и методов глубокого обучения (Deep Learning) для всех областей деятельности ИТС. Машинное обучение – эта область искусственного интеллекта, охватывающая глубокое обучение. С середины 1950-х года началось изучение построения человеческого интеллекта на вычислительной машине. В 1980-х году одним из самых популярных направлений в области искусственного интеллекта являются методы построения искусственных нейронных сетей (Artificial Neural Network). В 2006 году эффективный метод для тренировки многослойной нейронной сети – глубокое обучение был предложен Д. Хинтоном. Глубокое обучение – целенаправленный искусственный интеллект, действующий в определённой области для того, чтобы принимать решения, прогнозировать и классифицировать сложные ситуации в автоматическом режиме.

В 2016 году план «мозг города» был предложен компанией Alibaba для применения алгоритмы глубокого обучения при управлении дорожным движением. Эти важные попытки, применяющие технология распознавания объекта и алгоритмы прогнозов об изменении дорожно-транспортной ситуации, принимались для регулирования сигналов светофоров в г. Ханчжоу. В итоге только частная скорость транспортных потоков повышались на 10%. Поэтому усовершенствование алгоритмов глубокого обучения с использованием таких комплексных данных ещё не завершаются для сложных систем управления дорожным движением в крупных городах.

Однако система видеонаблюдения с вышесказанными алгоритмами активно соответствует своему служебному положению в определенной области для мониторинга дорожного движения на улично-дорожной сети. Технология распознавания номерного знака автомобилей (Vehicle License Plate Recognition, VLPR), совмещающаяся с технологией компьютерного зрения и методам модульного распознавания, является одной из самых важных способами развития

ИТС. В работе системы мониторинга дорожного движения с помощью данных технологий обычно выявляется различная информация о параметрах дорожного движения: как номерной знак, направление движения, скорость, время прохождения и другие.

В целом комплекс интеллектуального видеонаблюдения для улично-дорожной сети города включают в себя следующие средства:

- видеокамеры;
- транспортные детекторы различных типов;
- оборудование связи;
- дорожные контроллеры.

Основная структура современной системы мониторинга транспортного состояния и управления дорожным движением приведена на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 - Структура современной системы мониторинга транспортных потоков и управления дорожным движением

На основе таких данных сформировались различные направления теоретических и экспериментальных исследований дорожного движения.

Методы предположения динамических матриц корреспонденций, связывающиеся с транспортными потоками участков сети, были предложены Н. Ван дер Зейпом путем технологии распознавания автомобилей [101, 102, 103]. Модель предположения динамических матриц корреспонденций и распределения транспортных потоков была проектирована с использованием данных о плавающих автомобилях и распознавании номерного знака автомобилей. Однако положительные результаты не были получены из-за низкой точности транспортных детекторов и аппаратов распознавания номерного знака автомобилей.

Модели прогнозирования матриц корреспонденций на основе данных о системе распознавания номерного знака автомобилей были построены Ю. Асакуа для повышения эффективности дорожного движения на улично-дорожной сети [55, 56]. Данные модели с использованием метода наименьших квадратов оказались линейной зависимостью между частными матрицами корреспонденций в непосредственном наблюдении. Однако их применения ограничились только в городских магистралях.

Интеллектуальный алгоритм, заключающийся в получении изображения, разъединения и распознавания номерного знака автомобилей, был предложен С. Озбай и Э. Эрсебеки, которые исследовали данные о чередовании аудио и видео (Audio Video Interleave, AVI) [105].

Информационная система для путешественников в реальном времени (Real-time Traveler Information System, RTIS) была построена М. Тэмом и У. Ламом на основе технологии автоматического распознавания транспортных средств [112]. Задачи прогнозирования мгновенного и текущего времени поездки выполнены данной системой при разных выборах маршрутов водителей на улично-дорожной сети г. Гонконга.

Данные о распознавании номерного знака автомобилей ещё использовались как дополнительные информации для проверки эффективности модели прогнозирования матриц корреспонденций в работе Л. Муссона [97].

В работах Мэй Дунчэнь и Чэнь Сийи были проведены исследования о восстановлении матриц корреспонденций и маршрутов движения транспортных средств на основе данных дорожно-транспортного видеонаблюдения [60, 98].

В работе Чжоу Хоукуй были развиты моделирования для анализа водительских поведений под мониторингом дорожно-транспортного видеонаблюдения [86].

Для оценки состояния транспортного потока и безопасности дорожного движения на скоростной магистрали была отработана система мониторинга интеллектуального видеонаблюдения в работе Ли Сиин [92].

Вследствие развития интеллектуальной обработки данных систем мониторинга повысилось качество получаемой информации о параметрах транспортных потоков, тем не менее остаются некоторые сложности, которые требуют решения. Основными проблемами по сравнению с традиционными транспортными детекторами являются следующие:

- снижение надежности регистрации данных в сложных погодных условиях;
- большое влияние изменения географического местоположения на методы сбора транспортных данных;
- высокая стоимость для установления и эксплуатации инфраструктуры интеллектуального видеонаблюдения.

Тем не менее, достаточно складываются транспортные данные полной улично-дорожной сети, собирающие информации каждого пересечения с комплексом интеллектуального видеонаблюдения. Аналогичные эксперименты и применения этого направления были реализованы для оценки характеристик транспортных потоков и моделирования дорожного движения. Поэтому существует большой потенциал для эффективного применения интеллектуального видеонаблюдения для получения транспортных данных (Traffic data mining) на улично-дорожной сети ввиду сложности, как самой сети, так и неопределенности в выборе маршрутов водителями, недостаточного развития адаптивных систем управления дорожным движением.

1.2. Принцип работы современной системы мониторинга дорожного движения с использованием интеллектуального видеонаблюдения

В настоящее время система мониторинга дорожного движения с использованием интеллектуального видеонаблюдения является самым распространенным применением, соединяющимся между транспортными детекторами и системой распознавания номерного знака автомобилей на городской улично-дорожной сети. Путём индукции и распознавания транспортных средств обычно выявляется различная информация о параметрах дорожного движения: как номерной знак, направление движения, скорость, время прохождения и другие. Эти полученные информации отправляются центру обработки транспортных данных электронными вычислительными машинами для обеспечения поиска информации и статистического анализа с целью управления дорожным движением [94].

На основе технологий распознавания номерного знака автомобилей современная система мониторинга дорожного движения с использованием интеллектуального видеонаблюдения необходимо имеет следующие характеристики:

- реактивность в реальном времени. Ужесточение требований к достоверности прогнозов об изменении дорожно-транспортной ситуации в реальном времени вызывает реагирования операции системы мониторинга дорожного движения с возможно маленькой компенсацией времени при эффективности безопасности дорожным движением.

- согласованность в обработке транспортных данных. Задачи собрании информации о транспортных средствах фактически выполняются многочленной импорт-экспортной системой, касающейся возможно множественными зонами мониторинга на каждых пересечениях улично-дорожной сети. Поэтому нужно поддержать взаимодействие между этими системами для обработка транспортных данных.

- способность обработки больших данных. В процессе обработки транспортных данных проводится вычисление и сравнение между множественными

зонами мониторинга на всей улично-дорожной сети. На примере информационной платформы транспортных потоков г. Шэньчжэнь обычно выявляется более 2 миллион данные распознавании номерного знака автомобилей в рабочий день [93].

Основной принцип работы современной системы мониторинга дорожного движения с использованием интеллектуального видеонаблюдения содержит сбор информации о транспортных средствах, обработки больших данных, их передача и сохранение. Основная схема механизма работы системой мониторинга дорожного движения приведена на рисунке 1.2.

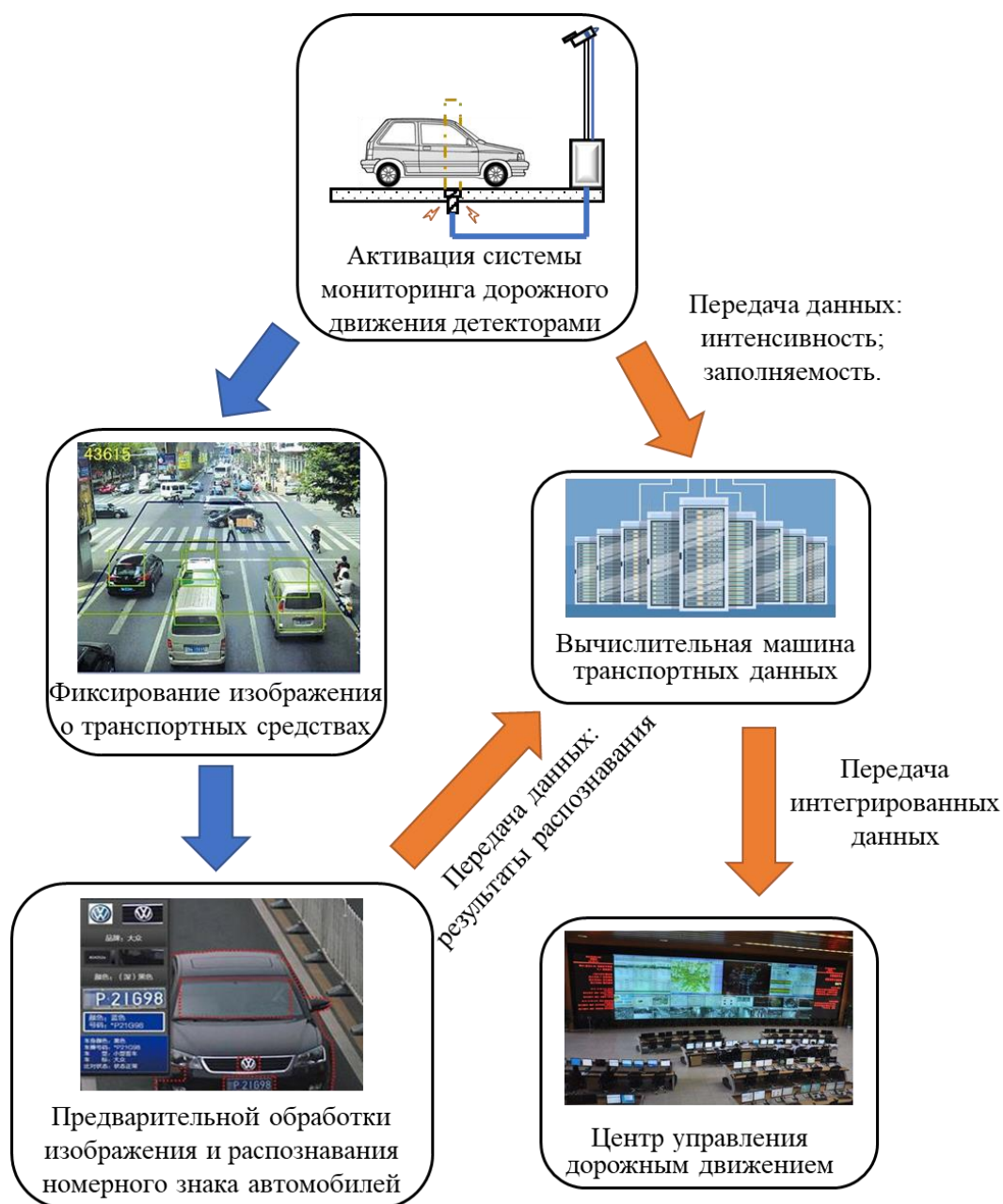


Рисунок 1.2 – Схема механизма работы системой мониторинга дорожного движения с использованием интеллектуального видеонаблюдения

В стороне собирания информации о транспортных средствах нужно координировать с традиционными детекторами наземной индукционной катушки (Loop coil vehicle detector), которые широко распространены по всей улично-дорожной сети. Традиционными детекторами наземной индукционной катушки предоставляются основные параметры о транспортных потоках: как интенсивность дорожного движения и заполняемость по времени. Транспортные детекторы откликаются на проходящие автомобили, находящиеся в наземной индукционной катушке, поскольку уменьшения индуктивности петли. В то же время система интеллектуального видеонаблюдения активируется снимать изображения о данных транспортных средствах и их находящих обстановках как основа обработки больших данных и анализа ситуации дорожного движения.

В процессе обработки больших данных полученные изображения о транспортных средствах и их находящих обстановках выполняются алгоритмами искусственного интеллекта под многомодульной структурой системы распознавания номерного знака автомобилей. Система распознавания номерного знака автомобилей заключается в следующих главных модулях:

- Модуль предварительной обработки изображения. Данный модуль специально подготавливается для фиксирования изображения о номерных знаках автомобилей, и обеспечивается их детализированность и целостность.

- Модуль распознавания номерного знака автомобилей. В работе данного модуля первоначально разъединяются изображения о номерных знаках автомобилей. Затем делённые изображения о номерных знаках проводятся обработки распознавания с помощью интеллектуальных алгоритмов. Полученные результаты распознавания номерных знаках автомобилей проинтегрируют с параметрами транспортных потоков от детекторов наземной индукционной катушки.

В следующим этапе наборы интегрированных информации о транспортных средствах и их находящих обстановках отправляется и сохраняется оптическими приёмопередатчиками в вычислительной машине транспортных данных и центре управления дорожным движением.

Сохранение интегрированных информации выполняется программным обеспечением центральной системы вычислительной машины транспортных данных, которое делится на следующие части:

- пользовательский слой. В рамках интерфейса приложения выполняется взаимодействие с пользователями.
- средний прикладной слой. В среднем прикладном слое передачи и обработки передних данных реализуется между другими рабочими слоями.
- слой управления данными. В этом слое архивирование полученных данных соответственно осуществляется к обслуживающему модулю.

В современном этапе с учетом широкого применения и быстрого развития системы мониторинга дорожного движения с использованием интеллектуального видеонаблюдения позволяет накопление ресурсов транспортных данных и обеспечивает их принципа разнообразия. Однако эти большие данные не может прямо использоваться для планирования транспортных инфраструктур и управления дорожным движением, поскольку отсутствия программной компенсации и коррекции. Для городской улично-дорожного сети, со сложной структурой сети, неопределённостью маршрутизации транспортных потоков и многообразием методов управления дорожным движением, проблемы неотвратимо появились, как отклонение оборудования, повреждение проводок, ошибка обработки и другие [14, 16, 46].

Для вышеизложенных проблем теория обеспечения качества данных транспортных потоков была предложена в рамках системы мониторинга дорожного движения с многоуровневыми детекторами. Изучение этой области для компенсации и коррекции транспортных данных заключается в следующих главных методов:

- метод компенсации и коррекции исторических данных транспортных потоков. В этом методе использовались средние значения транспортных данных, которые регистрировались в аналогичной дате и времени с текущим годом, для компенсации и коррекции полученных данных на улично-дорожной сети.

- метод компенсации и коррекции теории транспортных потоков. В этом методе использовались математические моделирования, описывающие зависимости между интенсивностью, плотностью и скоростью дорожного движения, для компенсации и коррекции полученных данных на рассматриваемой улично-дорожной сети.

До сих пор точность и целостность транспортных данных имеет большое значение для управления дорожным движением и прогнозирования улично-дорожной состояния, и обеспечивает осуществляется перераспределение транспортной нагрузки, оптимизация дорожного движения и избежание блокированного затора на городской улично-дорожной сети.

1.3. Состав и структура данных системы мониторинга дорожного движения

Какие составы и структуры полученных транспортных данных под существующей системой, влияющие на примененные методы исследования их сохранения, затребования и статистики, являются одним из главных тем изучения больших транспортных данных в области мониторинга дорожного движения. Качество и свойство применения полученных транспортных данных также прямо зависит от их составов и структур.

Как правило, целый сбор полученных транспортных данных из системы мониторинга дорожного движения с помощью интеллектуальных видеонаблюдений обычно содержится следующими информациями о проходящих транспортных средствах (Все данные обработаны путём системы программы цифрации и засекречивания):

- Идентификационные данные транспортных средств (засекречиваемый номерной знак). Номерной знак транспортных средств превратятся идентификационными данными, воспринимаемыми вычислительной машиной при процессе работы системы программы цифрации и засекречивания;

- Марка транспортных средств. Марка транспортных средств обработаны только путём системы программы цифрации, различные марки появляются кодами цифры 1-99 (99 – другие марки или ошибка распознавания);
- Цвет транспортных средств. Аналогично, что разные цвета появляются кодами цифры 1-10 и 99 (99 – другие цвета или ошибка распознавания);
- Цвет номерного знака. По государственному закону о безопасности дорожного движения КНР номерные знаки отмечаются разными цветами с целью распознавания разной функции транспортных средств [107];
- Номер пункта мониторинга дорожного движения;
- Время регистрации транспортных средств;
- Мгновенная скорость; Мгновенная скорость, до которой достигает проходящие автомобили.
- Номер полосы. Автомобильная полоса, на которой наблюдаемые транспортные средства проедят с зонами мониторинга дорожного движения. Обычно автомобильная полоса начинается последовательно отмечать цифры 1-8 с первой полосой, близящейся к центральной горизонтальной разметке;
- Направление движения. По стандарту мониторинга транспортных потоков направление дорожного движения кодируется следующими цифрами: 1 – с юга на восток, 2 – с востока на запад, 3 – с севера на юг, 4 – с запада на восток;
- Состояние движения автомобилей. В процессе работы мониторинга транспортных потоков состояние движения автомобилей записывается как основа осуществления правила дорожного движения, содержатся следующие конкретные определения: 1 – нормальное состояние, 2 – выезд на красный свет, 3 – превышение скорости, 4 – Движение по одностороннему движению в обратном направлении, 5 – Пересечение сплошной линии разметки, 6 – Нарушение правила смены полосы движения;
- Код места. В данном процессе кодируется адрес места, где находится сбор средства мониторинга дорожного движения и записываются информациями о параметрах транспортных потоков.

В итоге обработки системы мониторинга дорожного движения полученные транспортные данные и их сохранения, затребования и статистики осуществляется путём программно-информационной базы данных SQL 2014. Пример сбора транспортных данных интеллектуального видеонаблюдения, которые собраны с использованием номера средства «3701022116» с 6:00:00 до 10:00:00, и их процесса сохранения, затребования и статистики в программе базы данных SQL 2014 показаны на рисунке 1.3.

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l
1	ea96b39444a041788abd86fb7175ec2a	08	01	2	3701022116	2016-04-15 06:00:50 030	78	2	2	1	610362500192	2
2	6f55d4abe2d947859e277ab39591b8b3	44	09	2	3701022116	2016-04-15 06:00:00 370	81	2	2	1	610362500192	2
3	dd0e0ae303b45a5deab59f50676b7d6	34	01	2	3701022116	2016-04-15 06:07:24 580	80	3	1	1	610362500194	2
4	f941c96603e51c3c3f6297dc385d4cdc	72	02	4	3701022116	2016-04-15 06:05:32 290	10	2	1	1	610362500194	2
5	77fa4ebb339c8b000c5174758856e406	72	05	2	3701022116	2016-04-15 06:05:48 630	15	2	2	1	610362500192	2
6	b94f8d8d77d29a63e72d7018c8b8ad65	72	01	1	3701022116	2016-04-15 06:07:30 770	43	2	2	1	610362500192	2
7	a94f5f9ac1ebbe0e9229acd6432d786a	21	07	2	3701022116	2016-04-15 06:10:26 960	21	1	2	1	610362500192	2
8	e61f95899518e44c2b1f25000f786d06	21	07	2	3701022116	2016-04-15 06:10:33 520	53	1	2	1	610362500192	2
9	f941c96603e51c3c3f6297dc385d4cdc	76	01	4	3701022116	2016-04-15 06:16:06 780	82	2	2	1	610362500192	2
10	3411282d35d61daf7e28751c5a1a3aed	21	99	2	3701022116	2016-04-15 06:19:39 760	49	2	2	1	610362500192	2
11	f941c96603e51c3c3f6297dc385d4cdc	74	10	4	3701022116	2016-04-15 06:20:26 230	49	1	2	1	610362500192	2
12	e68db9e8c1ba07ab54d69fb4438c3ec7	74	08	2	3701022116	2016-04-15 06:20:31 270	48	1	2	1	610362500192	2
13	f941c96603e51c3c3f6297dc385d4cdc	74	08	4	3701022116	2016-04-15 06:20:32 950	51	1	2	1	610362500192	2
14	08b7ccc088754a4d46cfdbd3d1e4bb8d	72	08	2	3701022116	2016-04-15 06:23:11 400	19	3	1	1	610362500194	2
15	e3e29896d02dfe15414b18c493a9b132	07	10	2	3701022116	2016-04-15 06:23:14 270	1..	3	1	1	610362500194	2
16	f941c96603e51c3c3f6297dc385d4cdc	46	01	4	3701022116	2016-04-15 06:23:14 940	1	4	3	1	610362500195	2
17	08b7ccc088754a4d46cfdbd3d1e4bb8d	74	08	2	3701022116	2016-04-15 06:23:19 250	34	1	2	1	610362500192	2
18	0f0a0a72ef87f7e05bb51663a46eca2b	72	02	1	3701022116	2016-04-15 06:23:21 970	92	2	2	1	610362500192	2
19	b31585b21a64a42adadb5407084ba5d6	93	02	2	3701022116	2016-04-15 06:26:39 710	4	2	1	1	610362500194	2
20	1e1f00847efee9f1f4353899c20bbb27	91	08	2	3701022116	2016-04-15 06:26:58 030	1..	2	2	1	610362500192	2
21	67b928c92e8778ca68068bcbcbfb04b	62	10	1	3701022116	2016-04-15 06:29:50 240	5	3	1	1	610362500194	2
22	67b928c92e8778ca68068bcbcbfb04b	09	10	1	3701022116	2016-04-15 06:29:58 770	17	1	2	1	610362500192	2
23	a181dc9d08791b0c5f9a60613e6361f4	97	01	2	3701022116	2016-04-15 06:31:33 710	89	3	1	1	610362500194	2
24	b2648c94281bcf3558f9f20c91c2cb2e	72	08	2	3701022116	2016-04-15 06:33:03 530	4	3	1	1	610362500194	2
25	3d57cfaa39e57dfb130c363228fea26b	72	01	2	3701022116	2016-04-15 06:33:08 350	9	2	1	1	610362500194	2
26	ba786b27306a2e26f3a810dcfeb54473	16	01	2	3701022116	2016-04-15 06:33:08 620	1..	3	1	1	610362500194	2
27	668f7da24a03f771f6cf24ea928883e7	30	05	2	3701022116	2016-04-15 06:33:10 190	12	1	1	1	610362500194	2
28	bac537e3190d367721e460efbeddb619	16	01	2	3701022116	2016-04-15 06:35:44 500	8	2	1	1	610362500194	2
29	a205fah129422e0dhcda64h8acde39add	04	02	2	3701022116	2016-04-15 06:38:36 510	2	4	3	1	610362500195	2

Рисунок 1.3 – Процесс сохранения, затребования и статистики транспортных данных интеллектуального видеонаблюдения в программе базы данных SQL 2014

Однако необходимо получить все номера средства мониторинга дорожного движения перед исследованиями транспортных данных в рассматриваемой зоне. Поэтому существует большой потенциал для полезного развития и применения алгоритмы базы данных на улично-дорожной сети города. Основная форма полученных транспортных данных интеллектуального видеонаблюдения приведена на таблице 1.1 и таблице 1.2.

Таблица 1.1 – Основная форма полученных транспортных данных интеллектуального видеонаблюдения I

№	Идентификационные данные транспортных средств	Марка	Цвет	Цвет номерного знака	Номер пункта мониторинга
1	ea96b39444a041788abd86fb7175ec2a	8	1	2	3701022116
2	6f55d4abe2d947859e277ab39591b8b3	44	9	2	3701022116
3	d1d0e6ae303b45a5deab59f50676b7d6	34	1	2	3701022116
4	f941c96603e51c3c3f6297dc385d4cdc	72	2	4	3701022116
5	77fa4ebb339c8b000c5174758856e406	72	5	2	3701022116
6	b94f8d8d77d29a63e72d7018c8b8ad65	72	1	1	3701022116
7	a94f5f9ac1ebbe0e9229acd6432d786a	21	7	2	3701022116
8	e61f95899518e44c2b1f25000f786d06	21	7	2	3701022116
9	f941c96603e51c3c3f6297dc385d4cdc	76	1	4	3701022116
10	3411282d35d61daf7e28751c5a1a3aed	21	99	2	3701022116
11	f941c96603e51c3c3f6297dc385d4cdc	74	10	4	3701022116
12	e68db9e8c1ba07ab54d69fb4438c3ec7	74	8	2	3701022116
13	f941c96603e51c3c3f6297dc385d4cdc	74	8	4	3701022116
14	08b7ccc088754a4d46cfdbd3d1e4bb8d	72	8	2	3701022116
15	e3e29898d02dfe15414b18c493a9b132	7	10	2	3701022116
...

Таблица 1.2 – Основная форма полученных транспортных данных интеллектуального видеонаблюдения II (продолжение таблицы 1)

№	Время регистрации	Мгновенная скорость	Номер полосы	Направление движения	Состояние движения
1	2016/4/15 6:00	78	2	2	1
2	2016/4/15 6:00	81	2	2	1
3	2016/4/15 6:07	80	3	1	1
4	2016/4/15 6:05	10	2	1	1
5	2016/4/15 6:05	15	2	2	1
6	2016/4/15 6:07	43	2	2	1
7	2016/4/15 6:10	21	1	2	1
8	2016/4/15 6:10	53	1	2	1
9	2016/4/15 6:16	82	2	2	1
10	2016/4/15 6:19	49	2	2	1
11	2016/4/15 6:20	49	1	2	1
12	2016/4/15 6:20	48	1	2	1
13	2016/4/15 6:20	51	1	2	1
14	2016/4/15 6:23	19	3	1	1
15	2016/4/15 6:23	103	3	1	1
...

1.4. Методы использования полученных транспортных данных интеллектуального видеонаблюдения при управлении дорожным движением на улично-дорожной сети

Появление современных систем мониторинга дорожного движения с учётом развития прогрессивных информационно-коммуникационных технологий и их широкое распространение, обеспечивающих получение многоосновными данными, способствовали активному продвижению для решения конкретных задач, моделирования дорожного движения в процессы управления транспортными потоками и проектирование транспортных систем [7, 9, 23, 40, 52]. До сих пор такие распространения вызывают проблемы о полезных применениях полученных данных и развития их методов использования на улично-дорожной сети города.

В настоящее время наиболее распространёнными методами применения полученных данных интеллектуального видеонаблюдения из современных систем мониторинга дорожного движения являются следующие направления:

Анализ состава транспортных средств

Вследствие возрастания транспортных нагрузки и усложнения структур улично-дорожной сети вызывают необходимость постоянного исследования о полученных данных из применяемой системы мониторинга дорожного движения. Поэтому по результате анализа состава автомобилей рациональное планирование транспортных инфраструктур и распространение транспортных потоков имеет большие значения для управления дорожным движением на улично-дорожной сети города.

В первоначальном этапе задачи опознавания транспортных средств выполняются транспортными детекторами наземной индукционной катушки или виртуальной зоны мониторинга, которые откликаются на проходящие автомобили, и получены протяжения поездки. Параметр длины транспортных средств предварительно вычисляется путём анализа протяжения поездки между транспортными детекторами и транспортными средствами. Основные принципы работы транспортных детекторов наземной индукционной катушки или

виртуальной зоны мониторинга для вычисления длины автомобилей показаны на рисунке 1.4.

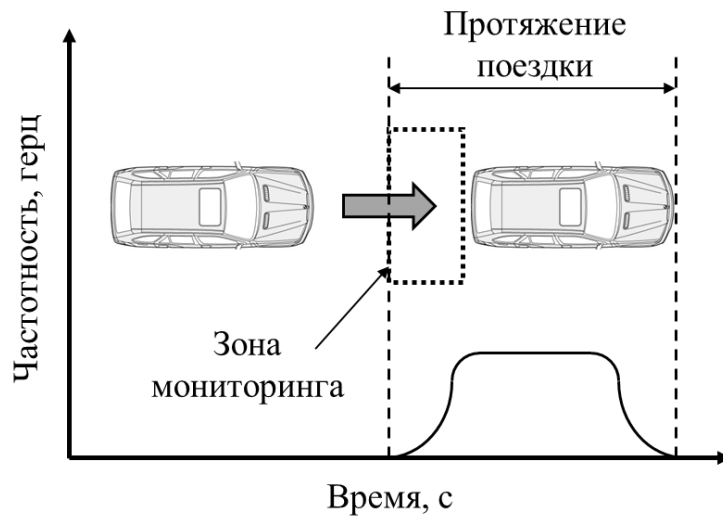


Рисунок 1.4 – Схема работы детекторов наземной индукционной катушки для параметров длин транспортных средств

Затем система интеллектуального видеонаблюдения активируется снимать соответственные изображения и выполняется точные задачи опознавания транспортных средств, как выявление параметров марка регистрационных автомобилей и их цветы номерного знаки для определения категории транспортных средствах.

Результаты анализа состава транспортных средств с использованием транспортных детекторов наземной индукционной катушки или виртуальной зоны мониторинга получены после корректирования система интеллектуального видеонаблюдения.

Устранение неполадок системой мониторинга дорожного движения

Для улично-дорожной сети города, имеющей сложных топологических структур и неопределённых выборов маршрутов, широкое размещение средства наблюдений и применение системы мониторинга дорожного движения проводит к неотвратимым вопросам – неоднозначные информации о транспортных средствах и неправильные выводные данные транспортных потоков.

Наиболее распространенным вопросом в выходных результатах является несовпадение между полученными информациями о транспортных средствах. Пример об этом вопросе приведен на таблице 1.3, неоднозначные информации и неправильные выводные транспортные данные отметились курсивными и жирными шрифтами.

Таблица 1.3 – Пример неоднозначных информации и неправильных выводных данных о транспортных средствах

№	Идентификационные данные транспортных средств	Марка	Цвет	Цвет номерного знака	Номер пункта мониторинга
<i>1</i>	<i>f941c96603e51c3c3f6297dc385d4cdc</i>	5	<i>3</i>	<i>2</i>	3701022125
<i>2</i>	<i>f941c96603e51c3c3f6297dc385d4cdc</i>	12	<i>2</i>	<i>2</i>	3701022125
3	d1d0e6ae303b45a5deab59f50676b7d6	34	1	2	3701022125
<i>4</i>	<i>f941c96603e51c3c3f6297dc385d4cdc</i>	32	<i>2</i>	<i>4</i>	3701022125
5	77fa4ebb339c8b000c5174758856e406	72	5	2	3701022125
....
№	Время регистрации	Мгновенная скорость	Номер полосы	Направление движения	Состояние движения
<i>1</i>	<i>2016/4/15 8:00</i>	<i>0</i>	2	<i>3</i>	1
<i>2</i>	<i>2016/4/15 8:10</i>	-	2	<i>3</i>	1
3	2016/4/15 8:07	-	3	4	1
<i>4</i>	<i>2016/4/15 8:05</i>	<i>12</i>	2	<i>2</i>	1
5	2016/4/15 8:05	35	2	4	1
....

В этом примере идентификационные данные транспортных средств «*f941c96603e51c3c3f6297dc385d4cdc*» многократно появятся с неоднозначными информациями, как регистрация на проходящих временах «*2016/4/15 8:00, 2016/4/15 8:00, 2016/4/15 8:10*», неверные мгновенные скорости, неправильный цвет номерного знака и так далее.

Эти вопросы не только влияют на результаты анализа транспортных данных в отдельном пункте мониторинга дорожного движения, также способствует отрицательные стратегии для управления транспортными потоками в планирование цельной транспортной системы. Перед принятием полученных

транспортных данных должны проводиться адаптация поправляемых алгоритмов и их программы освидетельствования.

Однако вследствие независимости сборах средства мониторинга при получении транспортных данных непременно увеличатся бюджетные расходы для эксплуатации соответственных поправляемых методов на каждом пересечений улично-дорожной сети города. Поэтому в проектирование системы мониторинга дорожного движения необходимо проводиться обсуждения о приоритете пересечений улично-дорожной сети и генерализации между покрывным коэффициентом средства мониторинга и точностью получения транспортных данных.

Процесс устранения неполадок при системе мониторинга дорожного движения с использованием интеллектуального видеонаблюдения приведен на рисунке 1.5.

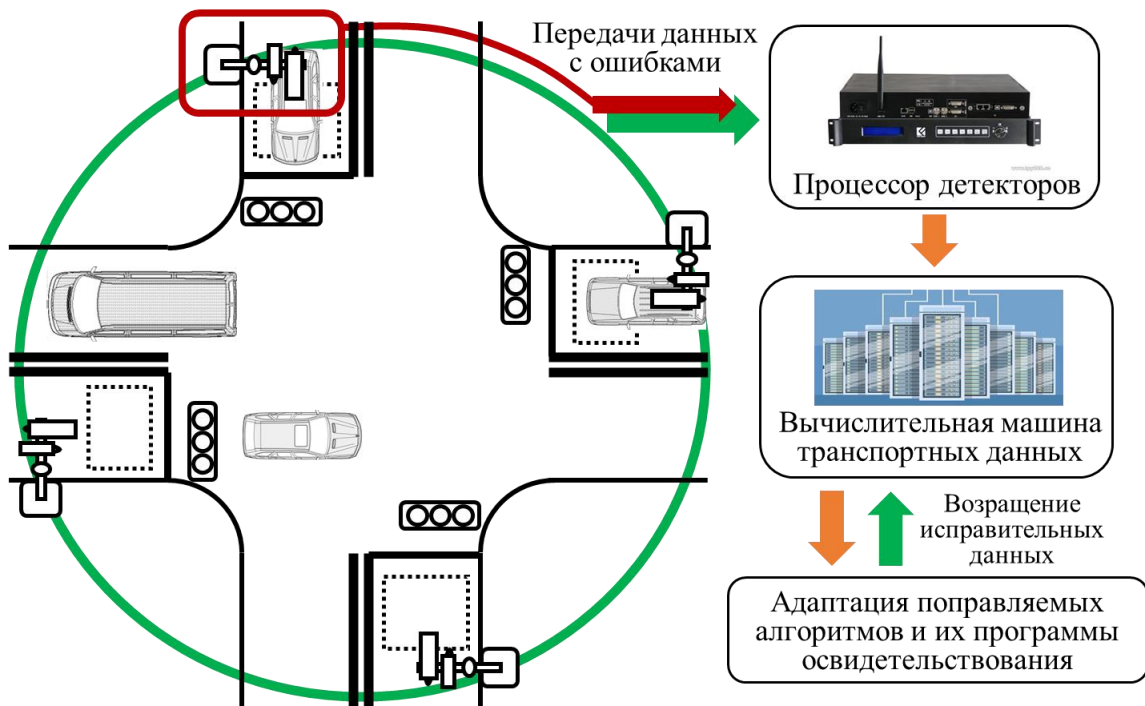


Рисунок 1.5 – Процесс устранения неполадок при системе мониторинга дорожного движения

Статистика безопасности дорожного движения

Одной из самых главных функций системы мониторинга транспортных потоков является статистика безопасности дорожного движения в реальном

времени. Эта работа обеспечивается полученными параметрами о состоянии движения автомобилей на улично-дорожной сети. Система предупреждения безопасности дорожного движения активируется и программа обработки аварий транспортных средств готовится, когда обнаружены поведения нарушения правила дорожного движения, определенные интеллектуальными видеонаблюдениями. Затем по требованию пользователя проводится вести статистику безопасности дорожного движения для участков улично-дорожной сети, которые имеет высокочастотных появлений поведения нарушения правила дорожного движения и аварии транспортных средств.

Анализ временного характеристики размещения транспортных нагрузок

Важным стимулом к расширению использования системы мониторинга дорожного движения является анализ временного характеристики размещения транспортных нагрузок, реализующий визуализация количества проходящих автомобилей на рассматриваемой улично-дорожной сети. Вследствие технического преимущества средств интеллектуального видеонаблюдения полученные транспортные данные автоматически разделяются по времени работы мониторинга.

Пример статистики количества проходящих автомобилей в пункте мониторинга дорожного движения № 3701022117 приведен на рисунке 1.6.

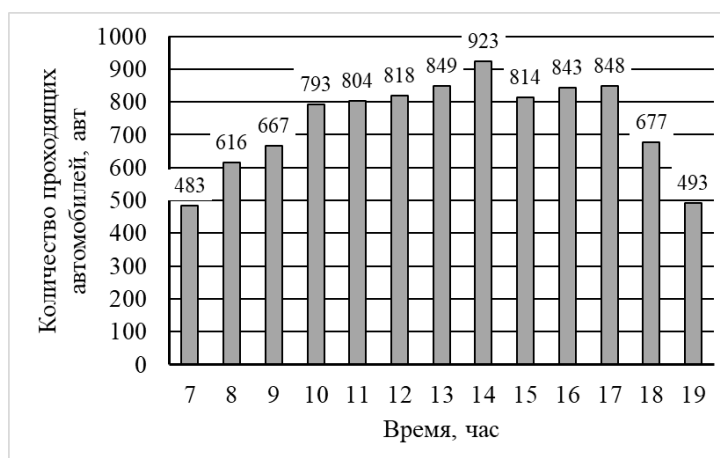


Рисунок 1.6 – Статистика количества проходящих автомобилей с 7:00 до 19:00 при направлении с востока на запад в пункте мониторинга дорожного движения

№ 3701022117

Очевидно, что в этом примере размещение транспортных грузов при направлении с востока на запад непосредственно показано по изменению времени. Количество проходящих автомобилей постепенно увеличивается с 7:00 до 10:00, при следующем этапе держится около 800 автомобилей с 11:00 до 13:00. Максимальное количество проходящих автомобилей достигает до 923 автомобилей в период 14:00. Затем с 18:00 до 19:00 появляется снижение количества проходящих автомобилей. Поэтому можем отметить, что с 10:00 до 17:00 на данным участке достигает большое значение экспорта транспортных нагрузки и накопления автомобилей.

Для внедрения анализа временного характеристики размещения транспортных грузов в рассматриваемых зонах города совместные действия пунктов мониторинга дорожного движения проводятся к получению достоверных данных.

Следование пройденного расстояния транспортных средств – восстановления матриц корреспонденций

Восстановление матриц корреспонденций на рассматриваемой улично-дорожной сети является одним из самых основных задач существующих систем мониторинга дорожного движения. При традиционных системах мониторинга дорожного движения, применяющих широкое размещение транспортных детекторов наземной индукционной катушки или других инструментов измерения, восстановление матриц корреспонденций обычно получается путём исполнения соответственных математических алгоритм для сличения количества передвижения транспортных средств между каждым пунктами или районами мониторинга.

В процессе работы данных алгоритм для сличения количества передвижения транспортных средств восстановление матриц корреспонденций при количестве n пунктов или районов мониторинга дорожного движения придерживается следующими формулами:

$$G_i = \sum_m T_{im} \quad (1.1)$$

$$A_m = \sum_i T_{im} \quad (1.2)$$

$$T = \sum_i G_i = \sum_m A_m \quad (1.3)$$

где

G_i – производственное количество транспортных средств, поездивших из пункта источники i , авт;

A_m – притянутое количество транспортных средств, поездивших в пункт назначения m , авт;

T_{im} – количество транспортных средств, поездивших из пункта источники i в пункт назначения m , авт;

Таким образом матрица корреспонденций при количестве n пунктов или районов мониторинга дорожного движения обычно описывается на таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Восстановление матриц корреспонденций при количестве n пунктов или районов мониторинга дорожного движения

№	Назначения						Итог
	1	2	...	m	...	n	
Источники	1	2	...	m	...	n	
1	T_{11}	T_{12}	...	T_{1m}	...	T_{1n}	G_1
2	T_{21}	T_{22}	...	T_{2m}	...	T_{2n}	G_2
...
i	T_{i1}	T_{i2}	...	T_{im}	...	T_{in}	G_m
...
n	T_{n1}	T_{n2}	...	T_{nm}	...	T_{nn}	G_n
Итог	A_1	A_2	...	A_m	...	A_n	T

Количество транспортных средств, поездивших из пункта источники в пункт назначения, можно выражаться восстановлением матриц корреспонденций, которые основываются на главных материалах для управления дорожным движением и планирования транспортных инфраструктур. Кроме широкого

размещения вышеизложенных транспортных детекторов для внедрения восстановления матриц корреспонденций развиваются другие способы мониторинга, как технология измерения плавающих автомобилей с использованием бортового приемника системы глобального позиционирования или сотового телефона.

В системе мониторинга дорожного движения с использованием интеллектуального видеонаблюдения функция следования пройденного расстояния транспортных средств применяется для восстановления матриц корреспонденций. Вследствие преимущества интеллектуального видеонаблюдения маршруты транспортных средств определяются путём фиксирования изображения проходящих автомобилей и распознавания их номерного знака. В другой стороне информации о времени регистрации и пунктов мониторинга соединяются процессорами соответствующих детекторы к собранным транспортным данным.

В этой диссертации для показания эффективности вышесказанного способа затребованы полученные транспортные данные при системе мониторинга дорожного движения с использованием интеллектуального видеонаблюдения на примере улично-дорожной сети центральной части г. Цзинань КНР.

Пример следования пройденного расстояния транспортных средств приведен на рисунке 1.7. В процессе работы системы мониторинга дорожного движения автомобиль № f2350bf2083ab6ed7f80edb8e77ec941 перво появляется на рассматриваемой улично-дорожной сети в пункте № 3701022111 в 8:07:03. В следующем пункте № 3701022115 данный автомобиль наблюдается в 9:19:09, в этом случае автомобиль оставил припарковать около часа в участке сети. И автомобиль проходит в пункте № 3701022117 и 3701022122 соответственно в 9:21:23 и 9:23:35, по направлению движения данный автомобиль уедет из граничного пункта мониторинга № 3701022122.

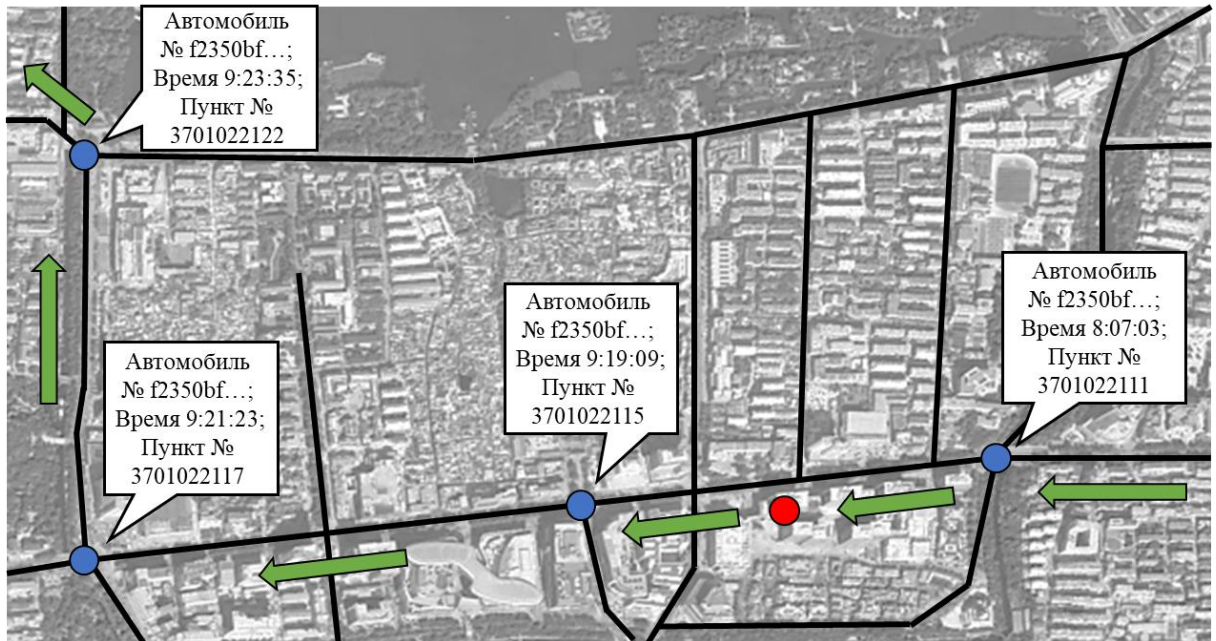


Рисунок 1.7 – Пример следования пройденного расстояния транспортных средств на рассматриваемой улично-дорожной сети

По целому процессу действия следования пройденного расстояния состояния транспортных средств наблюдаются системой мониторинга дорожного движения без технических перерыв с момента входа рассматриваемой зоны до момента выхода рассматриваемой зоны. Кроме того, большое транспортные данные об этом области обеспечивается собой соответственных вычислительных машин. Поэтому можно отметить, что имеет более большой потенциал, чем другие новые техники и технологии способов мониторинга дорожного движения с использованием бортового приемника системы глобального позиционирования или сотового телефона.

Получение параметров транспортных потоков для моделирования дорожного движения

Для моделирования дорожного движения существует большой стимул к расширению использования полученных транспортных данных в системе мониторинга интеллектуального видеонаблюдения, способствующих активному продвижению усовершенствования моделей, и позволяет приспособливаться к конкретным условиям на улично-дорожной сети города.

Прежде всего, совместные действия пунктов мониторинга дорожного движения является немаловажным фактором для получения динамических параметров транспортных потоков. Транспортные средства с собственными идентификационными метками распознаются и запишутся между приёмными пунктами мониторинга дорожного движения. Согласно длине данной участке улично-дорожной сети в этом процессе параметры времени поездки и средней скорости дорожного движения вычисляется и соединяется к полученным информациям. Схема работы совместные действия пунктов мониторинга дорожного движения приведена на рисунке 1.8 и пример частичных транспортных данных с использованием вышеизложенных способами показан в таблице 1.5.

Нужно отметить, что местоположение пункта мониторинга дорожного движения влияет на изменение значения параметры времени поездки и средней скорости. На регулируемых пересечениях неизбежно получены транспортные данные остановившихся автомобилей, стоящие в ожидании проезда и в заторным состоянии потока. Поэтому для использования этих данных необходимо требоваться модель с учётом влияния светофорного регулирования.

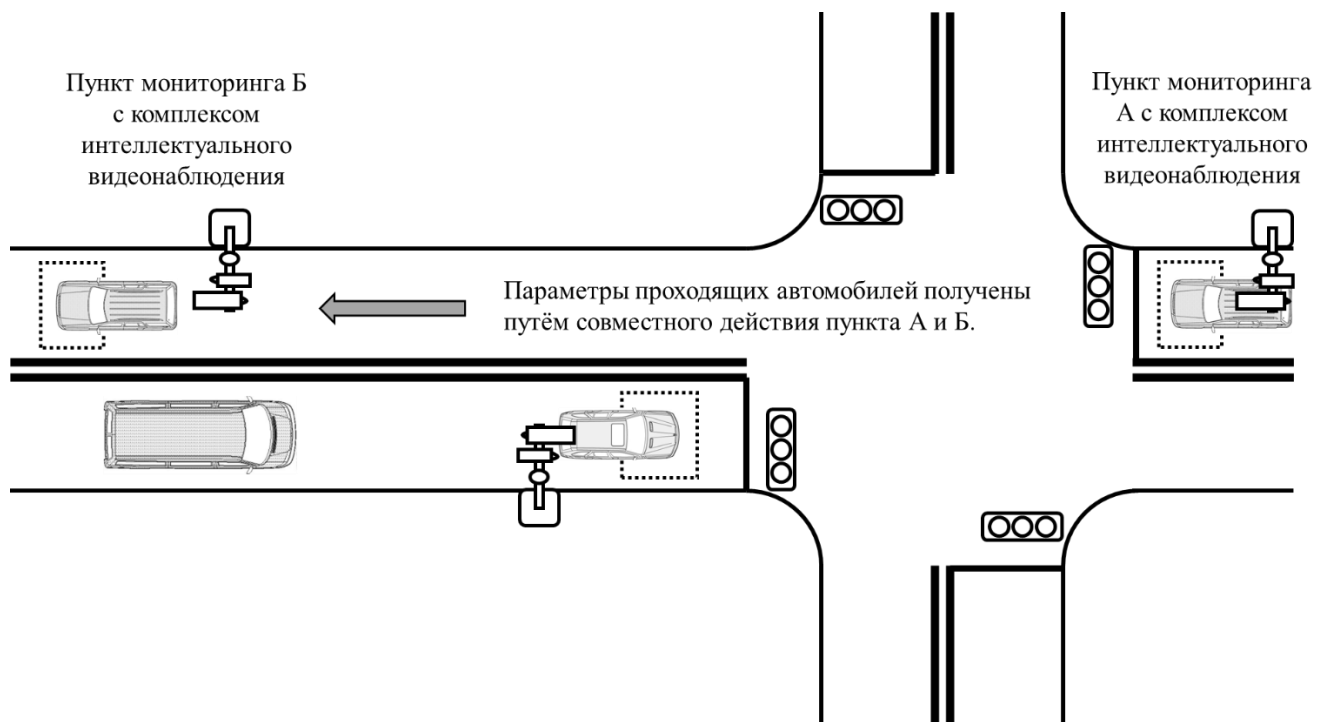


Рисунок 1.8 – Совместные действия пунктов мониторинга дорожного движения с комплексом интеллектуального видеонаблюдения

Таблица 1.5 – Параметры проходящих транспортных средств с использованием информационно-коммуникационных технологий в рамках системы мониторинга дорожного движения на участке улично-дорожной сети

№	Идентификационные данные транспортных средств	Начальный пункт	Конечный пункт	Время пробега	Средняя скорость
1	ef7b5d16bff1e0850dfeab45ec152da1	6:00:57	6:01:25	0:00:28	50.529
2	89fa9b390b49878cc89c63010c68def3	6:00:59	6:01:24	0:00:25	56.592
3	9fc9f26b6bd446089bf8cd73bb7da48b	6:01:01	6:01:31	0:00:30	47.160
4	5a1cc54e40cc417ab72cfc12b0c7b70	6:03:16	6:04:15	0:00:59	23.980
5	8e486fe5992cf05d0bb5efae7aab8788	6:09:04	6:10:26	0:01:22	17.254
6	e52daae907a50365f8333dddbba00b81	6:11:40	6:12:07	0:00:27	52.400
7	c14d989f390b3e6a2e8e94f43ae4f0e2	6:11:41	6:13:44	0:02:03	11.502
8	3411282d35d61daf7e28751c5a1a3aed	6:19:39	6:20:09	0:00:30	47.160
9	fba89c0b5da1d8ff3905685cdee173fb	6:20:54	6:22:06	0:01:12	19.650
10	2dcee320db1c340bc5c2d8b171223bcb	6:21:59	6:22:22	0:00:23	61.513
11	f944db4469b47fafc10d617334b63bfd	6:24:04	6:24:40	0:00:36	39.300
12	8574c99284fab6dfc55ace7cfce337	6:24:27	6:24:54	0:00:27	52.400
13	ddd05840807920109dc9924466f276f0	6:29:07	6:30:34	0:01:27	16.262
14	af25e0402c0c8f251fa02fa851a16f5f	6:34:49	6:37:09	0:02:20	10.106
15	56c83c8d8e9f50ea9324abf55ceb8c76	6:52:59	6:54:01	0:01:02	22.820
....

В применении к моделированию дорожного движения, описывающего зависимости между транспортными характеристиками с учётом влияния светофорного регулирования на участках улично-дорожной сети, заключаются модели функции сопротивления (Bureau of Public Roads Function – BPR formula) и двухкомпонентные макромоделли кинетической теории транспортного потока. Причина широкого распространения этих моделей транспортного потока является в том, что проводится большое количество теоретического обоснования и обновления новых поколений модели путём увеличения параметров поправочных коэффициентов к конкретным условиям. Трактовка о модели функции сопротивления и двухкомпонентных макромоделли кинетической теории транспортного потока и их параметры характеристики приведены в Главе 2.

1.5. Анализ применения транспортных данных при системе мониторинга дорожного движения с использованием интеллектуального видеонаблюдения на сетевом уровне

Распространение новой техники и технологии получения транспортных данных нельзя отрешиться от экспериментальных исследований и практических проведенных на конкретных условиях для улично-дорожной сети города. Поэтому в этом разделе приведены несколько опыты о применении транспортных данных при системе мониторинга интеллектуального видеонаблюдений.

Прежде всего, на целом сетевом уровне должно отметить исследование и проведение о построении платформы обработки транспортных данных на основе применяемой системы мониторинга интеллектуального видеонаблюдений, которая описана в работе Лю Цюань в г. Шэньчжэнь [93]. Путём анализа спросов дорожного движения, изучения и улучшения соответственных алгоритм данная платформа обработки данных транспортных потоков сформирована на основе архитектуры набора спецификаций и соответствующей документации для языка Java (Jakarta EE или J2EE) с целью интеграции введения основных данных, расчёта транспортных потоков и их затребования. Эксплуатация программного обеспечения платформы обработки данных транспортных потоков не только позволяет повышением эффективности о получении зависимостей между интегральными характеристиками дорожного движения – интенсивностью, плотностью и скоростью, и с боковой стороны проверяется целесообразность статистических алгоритм данных на сетевом уровне города. Основная архитектура платформы обработки данных транспортных потоков на примере улично-дорожной сети г. Шэньчжэнь приведена на рисунке 1.9:

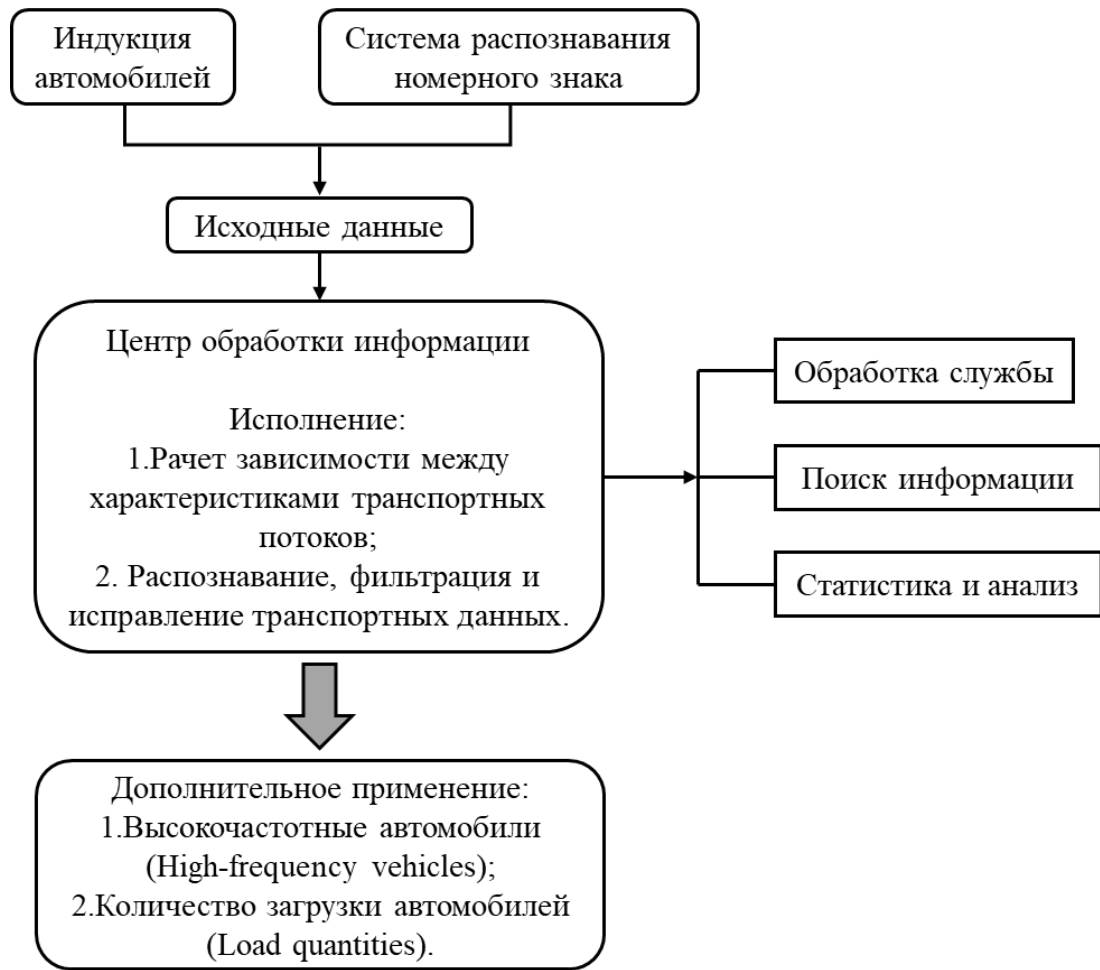


Рисунок 1.9 – Схема платформы обработки данных транспортных потоков на примере улично-дорожной сети г. Шэньчжэнь

В процессе обработки данных транспортных потоков новые понятия для управления дорожным движением выводились, как «Высокочастотные автомобили (High-frequency vehicles)» и «Количество загрузки автомобилей (Load quantities)». «Высокочастотные автомобили (High-frequency vehicles)» представляются о том, что многократно появляется в списке распознанных транспортных средств в определенных временах. Эти высокочастотные автомобили могут приводить большой долг к тяжёлым транспортным заторам. «Количество загрузки автомобилей (Load quantities)» является накоплением регистрационных транспортных средств Шэньчжэни в масштабе целой рассматриваемой улично-дорожной сети города. Основные результаты применения платформы обработки

данных транспортных потоков на примере улично-дорожной сети г. Шэньчжэнь показаны на рисунке 1.10:

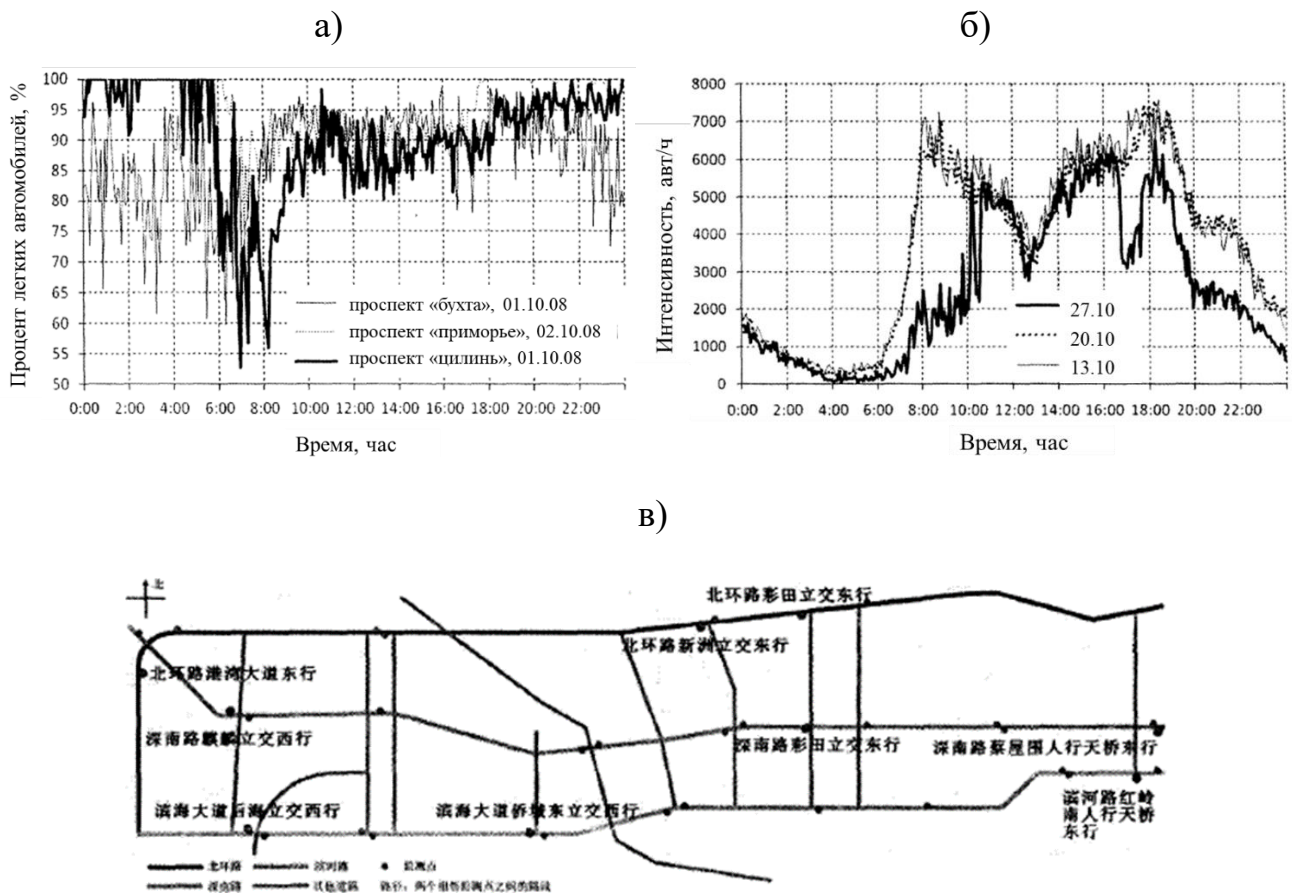


Рисунок 1.10 – Результаты применения платформы обработки данных транспортных потоков: а) Результат расчета процентов легковых автомобилей; б) Результат расчета интенсивности дорожного движения; в) Рассматриваемая улично-дорожная сети г. Шэньчжэнь

В процессе развития платформы обработки данных транспортных потоков осуществлялось получение информации дорожного движения из исторических данных идентификации, усовершенствовались алгоритмы фильтрации больших транспортных данных, и методы восстановления и возмещения отклонения.

Практическое исследование о восстановлении матриц корреспонденций на основе транспортных данных из системы мониторинга интеллектуального видеонаблюдения г. Таншань проводилось в работе Мэй Дунчэнь. Путём проектирования программного обеспечения Excel VBA матрица корреспонденций автоматически создаётся полученными транспортными данными, собранными на

каждых пересечениях улично-дорожной сети города. В процессе восстановления матриц корреспонденций пункты источников и назначений рассматриваются на основе каждого пересечения сети, и транспортные районы разграничиваются между разными временами поездки.

Основная архитектура восстановления матриц корреспонденций на основе транспортных данных на примере улично-дорожной сети г. Таншань приведена на рисунке 1.11:

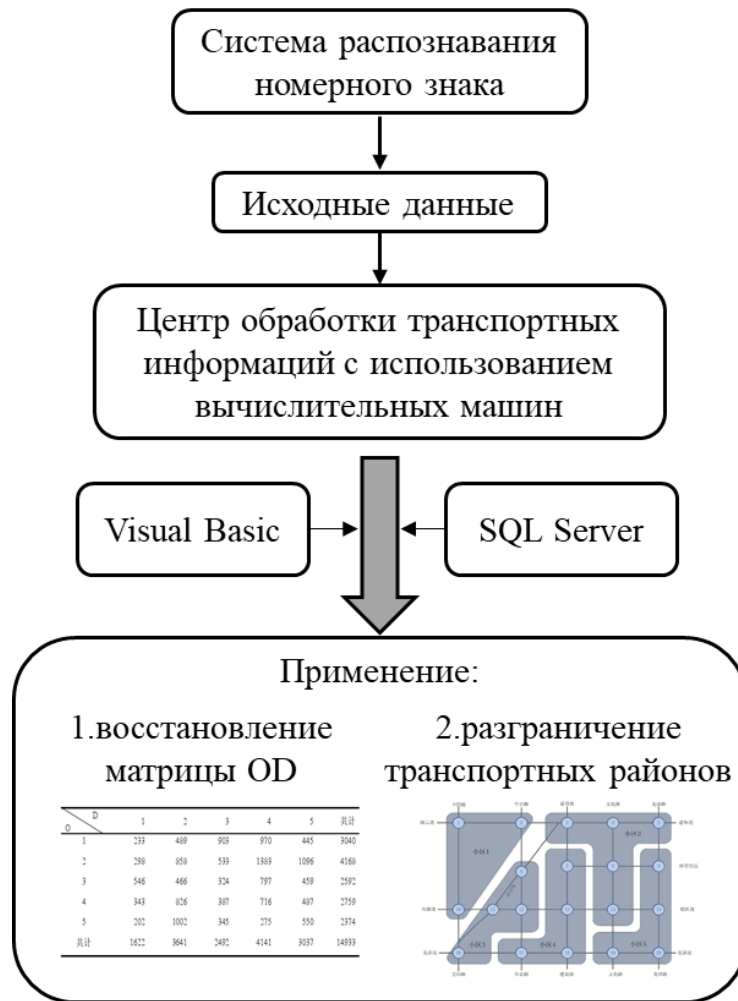


Рисунок 1.11 – Схема восстановления матриц корреспонденций на основе транспортных данных на примере улично-дорожной сети г. Таншань

В процессе моделирования дорожного движения в программно-моделирующем комплексе VISSIM использовались полученные транспортные данные на основе модели выбора маршрута – модели случайного выбора Логит-регрессия (logit model), которые усовершенствуются путём распространения

Кирхгофа (Distribution Kirchhoff). В результате моделирования подтверждена адаптивность данных и повышен уровень обслуживания улично-дорожной сети после динамического транспортного перераспределения – время опоздания на 20 перекрестках сокращается в среднем на 19.17%, в том числе на 10 перекрестках повысились уровни обслуживания на 1 или 2 категории.

Вывод по главе 1

1. Появление быстродействия компьютеров и развитие прогрессивных алгоритмов широкое распространение интеллектуального видеонаблюдения получено в процессе работы системы мониторинга дорожного движения, которая постоянно разовьётся обеспечителям источника достоверных транспортных данных и центром обработки этих информации на улично-дорожной сети.

2. Принципы работы системы мониторинга дорожного движения с использованием интеллектуального видеонаблюдения функционируют по нескольким модулям: индукция и фиксация транспортных средств, передача данных, центр обработки информации. Основная структура системы мониторинга обеспечивает точностям и целостностям полученных транспортных данных для управления дорожным движением и прогнозирования улично-дорожной состоянием.

3. Методы использования полученных транспортных данных при управлении дорожным движением содержатся: анализом состава транспортных средств, устранением неполадок системой мониторинга дорожного движения, статистикой безопасности дорожного движения, анализом временного характеристики размещения транспортных грузов, следованием пройденного расстояния транспортных средств – восстановления матриц корреспонденций, получением параметров транспортных потоков для моделирования дорожного движения.

Эффективность и надёжность их исходных данных подтверждены на примерах практических исследований для мониторинга состояния транспортного потока, осуществления перераспределение транспортной нагрузки, оптимизация дорожного движения и избежание блокированного затора на городской улично-дорожной сети.

Глава 2.

Сетевые макромоделли дорожного движения

2.1. Модели американского бюро автомобильных дорог

Наиболее популярной моделью, описывающей зависимости между временем поездки и интенсивностью дорожного движения, является модель американского бюро автомобильных дорог (U.S. Bureau of Public Roads Function – The BPR Formula). Эта модель была получена американским бюро автомобильных дорог путём исследования больших данных о автомагистралях транспортных потоков для планирования транспортных систем и управления дорожным движением. До сих пор данная модель и её развития новых поколений принимаются Америкой, Китаем, и многими Европейскими странами на основе моделирования дорожного движения, её основной вид представляется следующими уравнениями [113]:

$$T_i = T_{f,i} \cdot \left(1 + \alpha \cdot \left(\frac{q_i}{C_i} \right)^\beta \right) \quad (2.1)$$

где

T_i – время поездки в участке сети i , с;

$T_{f,i}$ – время поездки при скорости свободного движения в участке сети i , с;

q_i – интенсивность дорожного движения в участке сети i , авт/ч;

C_i – пропускная способность в участке сети i , авт/ч;

α, β – коэффициент сопротивления транспортного потока.

При условии противоположного направления в участке сети с неразделенной полосой движения модель американского бюро автомобильных дорог можно переписать на следующем виде:

$$T_i = T_{f,i} \cdot \left(1 + \alpha \cdot \left(\frac{q_i + \gamma \cdot \hat{q}_i}{C_i} \right)^\beta \right) \quad (2.2)$$

где

γ – коэффициент, влияющий на снижение скорости из-за встречного транспортного потока на участках сети с неразделенной полосой движения;

\hat{q}_i – интенсивность дорожного движения в противоположном направлении участки сети i , авт/ч.

В процессе формирования модели американского бюро автомобильных дорог время поездки T_i является ключевым параметром, который определяет выбор маршрутов и распространение транспортных потоков в участке улично-дорожной сети. Однако для планирования транспортных систем и управления дорожным движением не имеет необходимости собирания информации для каждого участка рассматриваемой улично-дорожной сети, целью применения этой модели является определение средних данных различных параметров при условии соответственных категорий дорог или районов [75].

С учётом скорости дорожного движения для удобства расчёта параметров транспортного потока модель превращается на следующем виде:

$$v_i = \frac{v_{f,i}}{1 + \alpha \cdot \left(\frac{q_i + \gamma \cdot \hat{q}_i}{C_i} \right)^\beta} \quad (2.3)$$

где

v_i – скорость дорожного движения в участке сети i , авт/ч;

$v_{f,i}$ – свободная скорость дорожного движения в участке сети i , авт/ч.

Для определения коэффициента сопротивления транспортного потока американским бюро автомобильных дорог предлагается значение коэффициентов $\alpha = 0.15$ и $\beta = 4$ по данным мониторинга дорожного движения. Тем не менее, модель американского бюро автомобильных дорог, формирующая по данным автомагистрального условия, не приспособляется к зависимости между насыщенностью и временем поездки при заторном состоянии на улично-дорожной сети города. Вышеуказанный вопрос вызывает исследования о неопределённости

моделей, которые не обеспечивают достоверных результатов моделируемых транспортных потоков и производных показателей для прогноза дорожного движения. Для квантования неопределённости моделей обычно проводятся тесты на чувствительность с использованием входных данных, распределения параметров, процедур стохастической выборки.

Результаты исследований распространения коэффициента сопротивления транспортного потока показаны на таблице 2.1:

Таблице 2.1 – распространение коэффициента сопротивления транспортного потока

Представитель значения коэффициента	α	β	γ
Американское бюро автомобильных дорог [113]	0.15	4	-
Чжао и Кокельман [125]	0.84	5.5	-
Нильсен и Йоргенсен [104] (улично-дорожная сети Дании)	0.8-0.12	1.5-4	-
Хансен [85] (улично-дорожная сети Дании)	0.5-2	1.4-11	0.05-0.2

Кроме того, по большим исследованиям можем отметить, что разная улично-дорожная сеть имеет свои собственные характеристики, создающими по различным структурам сети, служебным транспортным инфраструктурам и применяемым стратегиям для управления дорожным движением. Поэтому должно проводиться изучение о собственным свойстве поправочных коэффициентов. В работе Стефано Манцо были предложены коэффициенты сопротивления транспортного потока и их изменения по категории служебных уровней улично-дорожной сети Дании после исследования транспортных данных [99]. В работе Хэ Нань с использованием транспортных данных г. Далянь, особенно отметим, что в этом исследовании добавлен коэффициент дневного переключения η на пропускной способности участки сети для удобства применения модели распространения транспортных потоков [76].

Подробные показатели этих коэффициентов сопротивления транспортного потока приведено в таблице 2.2 и таблице 2.3:

Таблица 2.2 – Распространение коэффициентов сопротивления транспортного потока по категории служебных уровней улично-дорожной сети Дании в работе Стефано Манцо

Категория дороги	Коэфф.	Среднее значение (Mean)	Средне-квадратическое отклонение (StDev)	Мини. (Min)	Макс. (Max)	Вариация (CV)
Магистраль	α	0.675	0.081	0.457	0.928	0.120
	β	5.508	0.357	4.529	6.353	0.065
Городская дорога	α	0.166	0.006	0.153	0.182	0.035
	β	0.585	0.007	0.565	0.606	0.012
	γ	0.651	0.093	0.459	0.916	0.143
Местная дорога	α	0.237	0.011	0.209	0.267	0.046
	β	1.261	0.015	1.223	1.303	0.012
	γ	0.193	0.037	0.111	0.290	0.194

Таблица 2.3 – Распространение коэффициентов сопротивления транспортного потока по категории служебных уровней улично-дорожной сети г. Далянь

Категория дороги	α	β	η
Городская автострада (expressway)	1.448	1.435	19.3
Магистраль (arterial road)	0.905	3.497	19.994
Второстепенная магистраль (secondary trunk road)	0.726	5.897	12.83
Ответвление дороги (branch way)	0.596	1.457	16.797

В этом этапе модель американского бюро автомобильных дорог имеет недостатки, заключающие в том, что транспортный поток ограничивается в пределе пропускной способности соответственного участки сети, и не учитывает влияние светофора на задержку времени поездки.

В работе Х. Шписса была предложена коническая объем-задерживающая функция (Conical Volume-Delay Function) с использованием усовершенствованных коэффициентов сопротивления транспортного потока [109]:

$$T_i = T_{f,i} \cdot \left(2 + \sqrt{\tilde{\alpha}^2 \cdot \left(1 - \frac{q_i}{C_i}\right)^2 + \tilde{\beta}^2} - \tilde{\alpha} \cdot \left(1 - \frac{q_i}{C_i}\right) - \tilde{\beta} \right) \quad (2.4)$$

где

$\tilde{\alpha}$ – коэффициент сопротивления транспортного потока, положительное число больше 1;

$\tilde{\beta}$ – коэффициент сопротивления транспортного потока, $\tilde{\beta} = \frac{2\tilde{\alpha} - 1}{2\tilde{\alpha} - 2}$;

Столичный совет (The Metropolitan Council - Met Council) предложен использовать данную функцию для оценки времени прохождения городских магистралей в моделях планирования. Коэффициент сопротивления α устанавливается равным 4 для дорог с разделенными полосами и 5 для дорог с неразделенными полосами.

С учётом влияния светофора и соотношения между интенсивностью и пропускной способностью Сингапурская модель была предложена в работах Се, Чу и Ли, которая делится временами поездки на две составляющие: время свободного движения (cruise time) и задержка сигнала (signal delay) [119]:

$$T_i = \frac{L_i}{v_{f,i}} + \left(\frac{9}{10} \cdot \left(\frac{N \cdot (1 - \lambda)^2}{2 \cdot (1 - \lambda \cdot x)} + \frac{x^2}{2q \cdot (1 - x)} \right) \right) \quad (2.5)$$

где

N – время цикла светофора, с;

x – соотношение между интенсивностью и пропускной способностью, $x = \frac{q}{C}$,

($0 \leq x < 1$);

λ – эффективная зеленая пропорция, $\lambda = \frac{g}{N}$ (g -время эффективного зеленого сигнал).

Ограничением Сингапурской модели является её допустимая область, то есть если соотношение между интенсивностью и пропускной способностью x больше 1, последний член для компонента задержки сигнала становится отрицательным. Однако при конкретным условия эта ситуация должна решаться на улично-дорожной сети города.

Усовершенствованная модель функции сопротивления транспортного потока, описывающая отношения между скоростью и интенсивностью, была получена Скабардонисам и Даулингам [110]:

$$T_i = \left(\frac{L_i}{v_{f,i}} + 0.5 \cdot n \cdot N \cdot \left(1 - \frac{g}{N} \right)^2 \cdot PF \right) \cdot \left(1 + 0.05 \cdot \left(\frac{q}{C} \right)^{10} \right) \quad (2.6)$$

$$PF = \frac{(1-P) \cdot f_{PA}}{1-\lambda} \quad (2.7)$$

где

n – количество светофора в участке сети;

PF – коэффициент корректировки прогрессии;

P – пропорция прибывающих автомобилей в периоде зеленого сигнала;

f_{PA} – дополнительный поправочный коэффициент для прибывающих автомобилей в периоде зеленого сигнала (приблизительно = 1).

Особенно, когда существует только одно регулируемое пересечение на нижележащем участке, вышеуказанные уравнение модели Скабардониса-Даулинга можно переписать на следующем виде:

$$T_i \approx \left(\frac{L_i}{v_{f,i}} + 0.5 \cdot (1-P) \cdot (N-g) \right) \cdot \left(1 + 0.05 \cdot \left(\frac{q}{C} \right)^{10} \right) \quad (2.8)$$

Для прогнозирования времени поездки участки сети была предложена модель руководства по пропускной способности магистрали (U.S. Highway Capacity Manual Formula – HCM Formula) [114]:

$$T_i = T_R + d_1 + PF + d_2 + d_3 \quad (2.9)$$

$$d_1 = \frac{0.5 \cdot N \cdot (1 - \lambda)^2}{1 - (\min(1, x) \cdot \lambda)} \quad (2.10)$$

$$d_2 = 900 \cdot t \cdot \left((x - 1) + \sqrt{(x - 1)^2 + \frac{8 \cdot K \cdot I \cdot x}{C \cdot t}} \right) \quad (2.11)$$

где

T_R – время работы, определяющееся классификацией участки сети и скоростью свободного потока;

d_1 – равномерная задержка;

d_2 – постепенная задержка;

t – продолжительность в периоде анализа;

k – постепенная регулировка задержки для приведенного в действие элемента управления (для заранее заданных пересечений $k = 0.5$);

I – постепенная регулировка задержки для фильтрации или измерения по восходящим сигналам, ($I = 1 - 0.91 \cdot x^{2.68}$ при $0 \leq x \leq 1$, $I \approx 0.09$ при $x > 1$);

d_3 – начальная задержка в очереди.

Макромодели времени поездки, происходящие от модели американского бюро автомобильных дорог, обновляются многих новых версий с целью приспособления к конкретным условиям. Тем не менее, вышеизложенные модели требовались слишком многим параметрам о характеристиках транспортного потока и информациях улично-дорожной сети. Повышение точности данных с использованием современного мониторинга дорожного движения и их развитие информационно-коммуникационных технологий вызывает необходимости исследования и освоения новых сетевых макромоделей, которые способствует собрание этих данных в каждом участках улично-дорожной сети.

2.2. Макромодели дорожного движения на основе двухкомпонентных макромоделей кинетической теории транспортного потока

Расширение функциональности данных системы мониторинга дорожного движения является одним из основных направлений теоретических и практических исследований получения транспортных данных. Возрастание транспортной нагрузки, усложнение задач организации дорожного движения и ужесточение требований к достоверности прогнозов об изменении дорожно-транспортной ситуации вызывают необходимость постоянного изучения этих данных, и также освоения новых алгоритмов этими направлениями исследований.

Для сетей скоростных автомагистралей, имеющих данные параметров транспортных потоков на въездах-выездах и данные о применяемых методах управления дорожным движением, адекватность макромоделей дорожного движения может подтверждена данными системы мониторинга транспортных потоков. Однако для городской улично-дорожной сети, со сложной структурой сети, неопределённостью маршрутизации транспортных потоков и многообразием методов управления дорожным движением, ситуация существенно усложняется. Сложность и особенность городской улично-дорожной сети показаны в работах о исследованиях сетевых макромоделей, как ухудшение условий движения при неравномерной загрузке и пропускной способности участков сети [25, 35, 45, 48, 50, 58, 68, 69, 70, 100].

Применение макромоделей для оценки состояния транспортного потока и условий функционирования городской улично-дорожной сети сопровождалось различными попытками преодолеть основные их ограничения. Двухкомпонентные макромодели кинетической теории транспортного потока, учитывающие характеристики городской улично-дорожной сети были разработаны Р. Херманом и И. Пригожиным [61, 77, 78, 79]. Такие макромодели по аналогии транспортного потока с потоком двухкомпонентной жидкости ввели деление на движущийся и неподвижный поток. Нужно подчеркнуть, что неподвижным потоком считаются автомобили, простаивающие в дорожных заторах и на регулируемых пересечениях.

Припаркованные автомобили к неподвижному потоку не относятся. Двухкомпонентные макромодели удовлетворяю основным требованиям моделирования транспортных потоков для городской улично-дорожной сети, поскольку их параметры чувствительны к изменению геометрических характеристик сети и методов управления дорожным движением [2, 12, 27, 29, 30].

В диссертационной работе транспортные данные интеллектуального видеонаблюдения обработаны применениями двухкомпонентных макромоделей кинетической теории транспортного потока. Для формирования параметров двухкомпонентных макромоделей используется разделение времени поездки на время движения и время остановки, применяя удельное время поездки в минутах на километр пути (мин/км). В результате по двухкомпонентной теории отношение между временем движения и временем остановки можно представить:

$$t = t_r + t_s \quad (2.12)$$

где

t_s – время остановки, приведенное к пройденному пути, мин/км;

t_r – время движения, приведенное к пройденному пути, мин/км;

t – время поездки, приведенное к пройденному пути, мин/км;

При обработке данных мониторинга интеллектуального видеонаблюдения, с контролем на пересечениях участков улично-дорожной сети, автоматически собраны данные времени поездки. С одной стороны, для такой статистической диаграммы рассеивания необходимо развить подходящие адаптивные алгоритмы, с другой стороны, вследствие преимущества работы интеллектуального видеонаблюдения автоматически определится разделение времени поездки.

Диаграмма рассеивания при определении времени поездки на примере участка улично-дорожной сети г. Цзинань показана на рисунке 2.1. Очевидно, что на данным примере для движущихся автомобилей время поездки достигается около 1.7 мин/км, а для остановившихся автомобилей – около 2.9 мин/км.

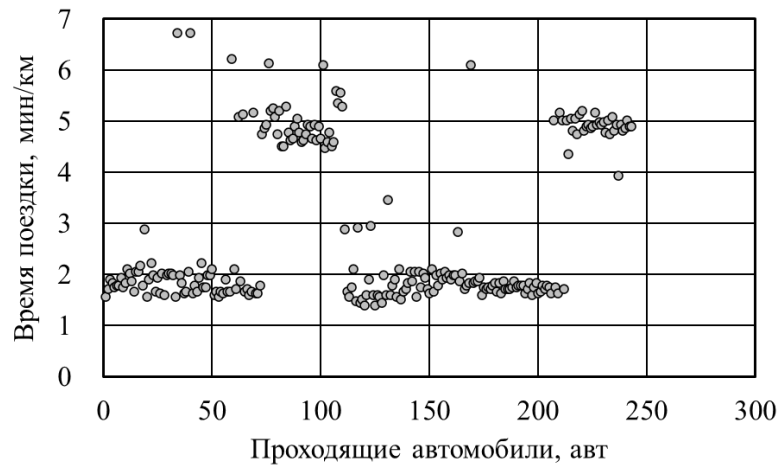


Рисунок 2.1 – Статистическая диаграмма рассеивания о детектировании времени поездки по 5-минутным периодам на примере участка улично-дорожной сети с регулируемым пересечением в г. Цзинань

Для того, чтобы связать макромодели с временем поездки, в первом приближении можно полагать долю одновременно остановившихся автомобилей равной отношению текущей плотности потока к максимальной или отношению времени остановки ко времени поездки. Эти допущения были приняты по двухкомпонентным макромоделям кинетической теории транспортного потока:

$$f_s = \frac{k}{k_j} \quad (2.13)$$

$$f_s = \frac{t_s}{t} \quad (2.14)$$

где

f_s – доля одновременно остановившихся автомобилей в транспортном потоке;

k – плотность транспортного потока;

k_j – максимальная плотность транспортного потока.

Наиболее распространенной степенной макромоделью, полученной на основе модели Б. Гриншилдса введением коэффициента пропорциональности в зависимости между характеристиками транспортного потока – скоростью, плотностью и интенсивностью, является макромоделью Пайпса:

$$q = v_f \cdot k \cdot \left(1 - \frac{k}{k_j}\right)^n \quad (2.15)$$

где

q – интенсивность движения, авт/ч;

v_f – скорость свободного движения, км/ч;

n – коэффициент пропорциональности.

Следовательно, при скорости движущейся части потока с учётом времени поездки и времени стоянки по аналогии макромодели транспортного потока Пайпса можно переходить к следующим формулам:

$$v_r = v_f \cdot (1 - f_s)^n \quad (2.16)$$

$$v_r = \frac{1}{t_m} \cdot (1 - f_s)^n \quad (2.17)$$

где

v_r – скорость движения, приведенная к пройденному пути, км/ч;

t_m – время поездки при свободных условиях, мин/км.

Скорость транспортного потока в целом соотношении с учётом времени поездки при свободных условиях описывается следующими формулами:

$$v = v_r \cdot f_r \quad (2.18)$$

$$v = \frac{1}{t_m} \cdot (1 - f_s)^n \cdot f_r \quad (2.19)$$

где

f_s – доля движущихся автомобилей в транспортном потоке;

До сих пор целостно доля движущихся автомобилей и доля одновременно остановившихся автомобилей в транспортном потоке выражается вышеуказанными формулами. В следующем этапе по соотношению между ими можно получить:

$$v = \frac{1}{t_m} \cdot (1 - f_s)^{n+1} \quad (2.20)$$

Преобразуя последнее уравнение с использованием времени поездки и времени простоя, формируем:

$$\frac{1}{t} = \frac{1}{t_m} \cdot \left(1 - \frac{t_s}{t}\right)^{n+1} \quad (2.21)$$

$$t_s = t - t_m \frac{1}{n+1} \cdot t^{\frac{n}{n+1}} \quad (2.22)$$

Производные исследования о предшествующих параметрах показали, что при увеличении коэффициента пропорциональности n снижается удельное время простоя при одном и том же удельном времени поездки. С другой стороны, за счет изменения коэффициента пропорциональности n имеется возможность воспроизводить структуру режима движения с разным временем поездки, но с одним и тем же удельным временем простоя.

В целом, при коэффициенте $n = 0$ и постоянном значении времени движения t_r , время поездки t будет пропорционально возрастать с увеличением времени простоя t_s . Однако, если коэффициент $n > 0$, то при увеличении времени простоя t_s , время поездки t будет возрастать более быстрыми темпами, поскольку также возрастает время движения t_r [30].

В результате разработки системы интеллектуального видеонаблюдения можно строить графическое отображение зависимости между временем поездки и временем остановки (рисунок 2.2).

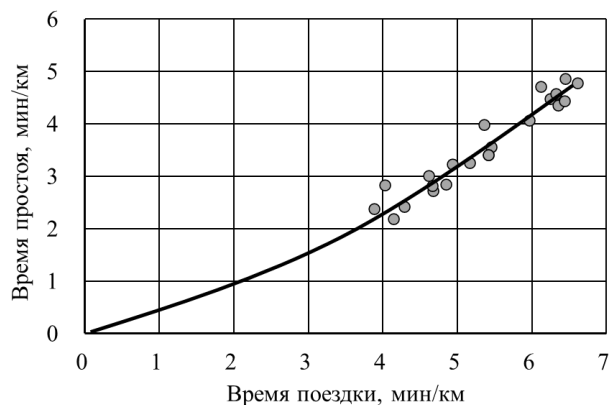


Рисунок 2.2 – Зависимость между временем поездки и времени остановки на примере участка улично-дорожной сети г. Цзинань

С теоретической точки зрения, ввиду участия параметров времени поездки и времени остановки двухкомпонентные макромоделли кинетической теории транспортного потока должны подходить к условиям городской улично-дорожной сети.

Однако, плотность транспортного потока в заторах или для очереди автомобилей на регулируемых пересечениях, приближающаяся к максимальной плотности транспортного потока, постоянно приведёт к неоднородности загрузки сети. И общая длина участков городской улично-дорожной сети, занятая двухкомпонентными потоками (движущимися и остановившимися потоками) также различна. Это позволяет дискутировать о справедливости применяемых двухкомпонентных макромоделей.

Поэтому для повышения их приспособляемости в городской улично-дорожной сети необходимо использовать поправочный коэффициент. Формула для определения доля одновременно остановившихся автомобилей в транспортном потоке переписана следующим видом:

$$f_s = \left(\frac{k}{k_j} \right)^p \quad (2.23)$$

В этом случае применения обобщенной макромоделли Пайпса используется поправочный коэффициент p из приведенного выше соотношения между плотностью и долей одновременно остановившихся автомобилей:

$$k = k_j \cdot \left[1 - \left(\frac{v}{v_f} \right)^{\frac{1}{n+1}} \right]^{\frac{1}{p}} \quad (2.24)$$

$$q = k_j \cdot v \cdot \left[1 - \left(\frac{v}{v_f} \right)^{\frac{1}{n+1}} \right]^{\frac{1}{p}} \quad (2.25)$$

где

p – поправочный коэффициент для учета пространственной неоднородности.

Исследования о влиянии коэффициентов n и p на зависимости между характеристиками транспортного потока были приведены во многих практических работах с экспериментальными данными. Основные их результаты можно свести к следующему:

- Увеличение значения коэффициента n приводит кривую зависимость между плотностью и скоростью к большей кривизне, то есть к более резкому снижению скорости при увеличении плотности транспортного потока;

- При калибровке основной диаграммы транспортного потока, существующей зависимости между плотностью и интенсивностью, увеличение значения коэффициента n приводит к снижению расчетной пропускной способности;

- Поправочный коэффициент p позволяет адаптировать двухкомпонентные макромодели, существующие зависимости между плотностью и скоростью, для прогнозирования дорожного движения на участках с различной пропускной способностью. Увеличение доли одновременно остановившихся автомобилей при одной и той же плотности приводит к уменьшению коэффициента p .

Для экспериментальной проверки выполнимости обобщенной макромодели Пайпса с применением поправочных коэффициентов использовались данные интеллектуального видеонаблюдения на примере участка улично-дорожной сети центральной части г. Цзинань КНР, которые собирались в пиковый промежуток времени с 8:00 до 10:00. Статистическая обработка этих данных осуществлялась в 5-минутным интервале. Полученные данные на примере участка сети приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 - Полученные данные по двухкомпонентным макромоделям на участке улично-дорожной сети г. Цзинань

№ п/п	Время движения, приведенное к пройденному пути t_r , мин/км	Время простоя, приведенное к пройденному пути t_s , мин/км	Время поездки t , мин/км	Доля одновременно остановившихся автомобилей в транспортном потоке f_s
1	1.194	2.830	4.024	0.703
2	1.959	2.185	4.144	0.527
3	1.772	4.550	6.321	0.720
4	1.600	3.014	4.614	0.653
5	1.498	2.387	3.885	0.614
6	1.366	3.986	5.353	0.745
7	1.700	3.230	4.930	0.655
8	1.937	2.733	4.670	0.585
9	1.762	4.482	6.244	0.718
10	1.900	3.261	5.161	0.632
11	1.860	2.427	4.288	0.566
12	1.892	3.560	5.452	0.653
13	1.900	4.063	5.963	0.681
14	1.592	4.859	6.451	0.753
15	1.747	4.575	6.323	0.724
16	1.408	4.711	6.119	0.770
17	2.000	4.355	6.355	0.685
18	2.000	3.413	5.413	0.631
19	1.847	2.819	4.665	0.604
20	1.824	4.786	6.610	0.724
21	2.000	4.441	6.441	0.689
22	2.000	3.414	5.414	0.631
23	2.000	2.847	4.847	0.587
24	2.000	3.000	5.000	0.600

На следующем этапе характеристики транспортного потока определились с использованием формул обобщенных макромоделей Пайпса с поправочными коэффициентами на рассматриваемом участке городской улично-дорожной сети. Полученные результаты расчёта параметров транспортного потока показаны на таблице 2.5.

Таблица 2.5 - Характеристики транспортного потока по обобщенным макромоделям Пайпса с использованием поправочных коэффициентов

№ п/п	Скорость v , км/ч	Коэфф. p	Коэфф. n	Плотность k , авт/км	Интенсивность q , авт/ч
1	32.940	0.389	0.243	6.363	166.880
2	28.300	1.724	1.057	70.220	316.156
3	26.190	0.715	0.543	35.734	383.147
4	20.020	1.546	0.556	94.735	516.632
5	31.039	0.749	0.548	27.185	433.354
6	40.148	0.213	0.316	0.024	0.832
7	18.613	1.856	0.610	105.141	405.844
8	23.285	1.985	0.886	91.960	303.183
9	30.423	0.530	0.542	14.076	216.015
10	18.774	2.340	0.761	111.177	266.363
11	27.531	1.450	0.886	65.055	389.749
12	24.288	1.245	0.715	67.838	405.980
13	14.922	2.676	0.665	124.979	218.751
14	23.319	0.684	0.417	44.390	479.906
15	22.986	0.888	0.526	56.830	464.794
16	20.232	0.719	0.314	60.681	636.894
17	13.839	3.173	0.702	130.968	158.310
18	17.585	2.838	0.815	119.582	190.903
19	26.034	1.353	0.790	66.620	411.379
20	16.609	1.634	0.559	105.544	362.053
21	13.582	3.193	0.694	131.660	156.246
22	17.704	2.799	0.815	118.894	194.239
23	21.149	2.495	0.917	106.419	225.069
24	20.000	2.613	0.886	111.010	213.158

Для данного участка сети максимальное значение интенсивности достигается при уровне плотности около 50 авт/км (в диапазоне от 40 до 60 авт/км). Графическое отображение зависимости между характеристиками транспортного потока – скоростью, интенсивностью и плотностью движения после этой обработки приведены на рисунках 2.3 и 2.4.

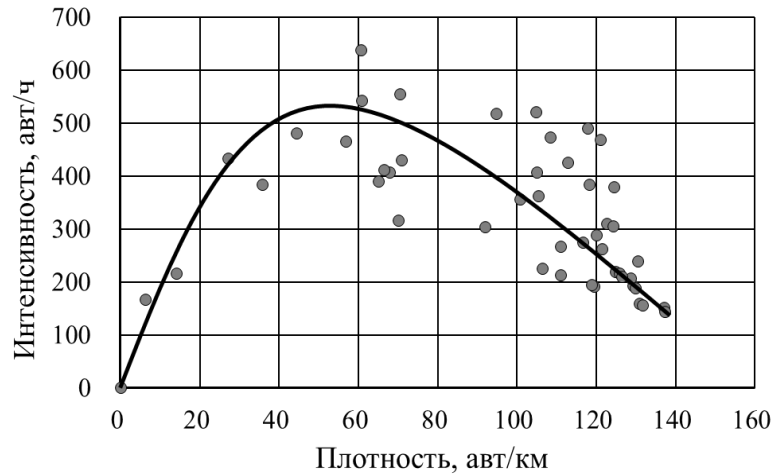


Рисунок 2.3 – Зависимость между интенсивностью и плотностью по обобщенным макромоделям Пайпса с использованием поправочных коэффициентов

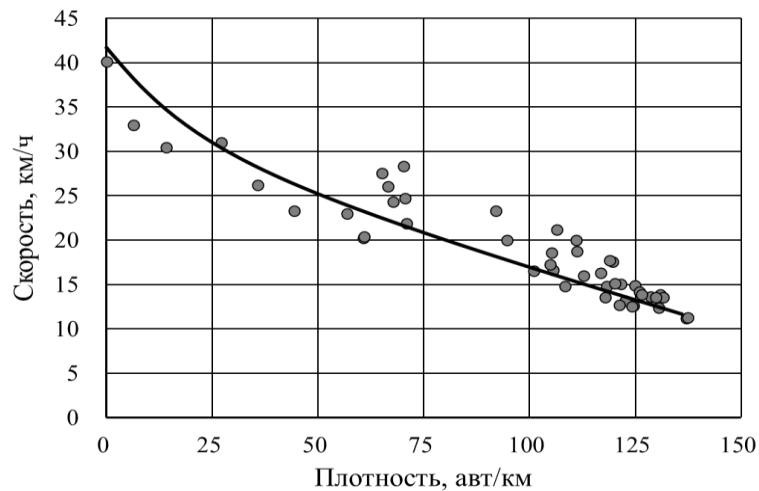


Рисунок 2.4 – Зависимость между скоростью и плотностью по обобщенным макромоделям Пайпса с использованием поправочных коэффициентов

Применяя обобщенные макромодели Пайпса с использованием поправочных коэффициентов, можно приспособлять их к сложным условиям городской улично-дорожной сети. Тем не менее, моделирование дорожного движения по этим методам для всех сети является сложной и трудоёмкой работой в транспортном прогнозировании. Поэтому в дальнейшей работе нужно прилагать энергию к развитию новых алгоритмов для современных систем транспортного мониторинга.

2.3. Основная обстановка на рассматриваемом фрагменте улично-дорожной сети центральной части г. Цзинань КНР

Для условий функционирования улично-дорожной сети и представления вариантов управления транспортными потоками необходимо осуществлять моделирование дорожного движения в практической обстановке, учитывающей топологические характеристики сети, неопределённость маршрутизации автомобильных перевозок и многообразность методов регулирования. Поэтому в дальнейшем этапе улично-дорожная сеть центральной части г. Цзинань представляет как объект исследования для моделирования дорожного движения в крупном городе.

Город Цзинань является крупным административным, экономическим, культурным, научно-образовательным, промышленным центром и важнейшим транспортным узлом Севера Китайской Народной Республики. Город является центром Шаньдунской городской агломерации и расположен в 400 км к югу от столицы Пекин. По данным государственного статистического управления КНР население города достигло около 9.2 миллиона человек в 2020 году. В городе зарегистрировано около 2.85 миллионов единиц автомобилей до конца 2019 года, в том числе около 2.1 миллионов единиц легковых автомобилей, от общего числа автомобилей составляет 73% [13]. По результатам анализа структуры улично-дорожной сети 36 крупных городов Китая в 2020 года основные показатели сети г. Цзинань приведены на таблице 2.6 [17]. В том числе показатель «связность городской улично-дорожной сети» - условие взаимосвязи дорог в сети (чем выше значение этого показателя, тем разумнее структура сети), и показатель «процент нетрадиционных пересечений» - доля перекрёстков, имеющих особые функции организации дорожного движения.

В последние годы широкое развитие скоростных транспортных инфраструктур, включающих городские магистрали и эстакады, облегчило заторы в период пиковых нагрузок. Однако поскольку отсутствуют эффективные решения для управления дорожным движением на сетевом уровне, такие избыточные

инфраструктуры постоянно производят к сильному возрастанию транспортной нагрузки. По этой причине, реальное моделирование дорожного движения, использующее данные современной системы мониторинга, является одним из самых важных и актуальных задач департамента организации дорожного движения г. Цзинань.

Таблица 2.6 - Показатели улично-дорожной сети г. Цзинань и среднего значения в статистике 36 крупных городов Китая в декабре 2020 года [17]

Показатель	Среднее значение в статистике 36 крупных городов Китая	г. Цзинань
Связность городской улично-дорожной сети	3.28	3.32
Число тупика дороги в 100 км	5.3 ед. / 100 км	1.7 ед. / 100 км
Процент нетрадиционных пересечений	36.6 %	34.9 %
Среднее расстояние между пересечениями	327 м	307 м
Минимальное расстояние между входом и выходом на участке улично-дорожной сети	90 м	111 м

Первоначально исследования существующей транспортной инфраструктуры и системы мониторинга проводились для исследования транспортного обслуживания на улично-дорожной сети г. Цзинань.

В направлении обследования и изучения о существующей транспортной инфраструктуры для применения обобщенных макромоделей Пайпса с поправочными коэффициентами использовались данные интеллектуального видеонаблюдения на примере фрагмента сети центральной части г. Цзинань

(рисунок 2.5). Общая длина улиц в этом фрагменте сети составляет 26.512 км, в том числе 3.273 км отдельные участки одностороннего движения.

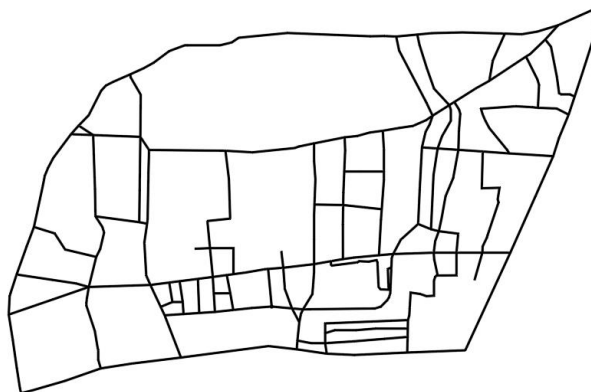


Рисунок 2.5 – Рассматриваемый фрагмент улично-дорожной сети центральной части г. Цзинань для моделирования дорожного движения

В результате обследования и изучения существующей системы мониторинга обнаружено, что система интеллектуального видеонаблюдения контролирует около 70% главных участков улично-дорожной сети г. Цзинань. По материалу обследования и изучения географическое распределение транспортных детекторов на рассматриваемом фрагменте сети центральной части г. Цзинань приведено на рисунке 2.6.



Рисунок 2.6 – Заметки распределения транспортного детектора на фрагменте сети центральной части г. Цзинань

Для всестороннего исследования состояний транспортных потоков и особенности организации дорожного движения исходные данные, имеющие большое изменение, были выбраны в продолжительности периода наблюдений г.

Цзинань (с 6:00 до 10:00 часов). В процессе обработки первичных данных транспортных детекторов необходимо выполнить трансформацию неупорядоченных исходных номеров улично-дорожного видеонаблюдения, сохраняющих по документу «Общие технические требования к интеллектуальным камере на улично-дорожной сети».

В дальнейшей работе нужно внести упрощение в перечень данных транспортного детектора для удобства систематизации на рассматриваемом фрагменте сети центральной части г. Цзинань. Список упрощения транспортных детекторов приведён в таблице 2.7.

Таблица 2.7 - Список переименования транспортных детекторов

п/п	Исходный номер детектора	Переименованный номер детектора
1	3701022117	25
2	3701022116	24
3	3701022115	23
4	3701022111	21
5	3701022045	Е
6	3701022051	а
7	3701033022	б
8	3701022122	7
9	3701022037	11
10	3701022121	9
11	3701022113	34
12	3701022114	19
13	3701022120	12
14	3701022119	6
15	3701022111	21
16	3701022110	35
17	3701022113	34
18	3701022123	5
19	3701055101	2
20	3701055130	3
21	3701033135	26
22	3701055102	4
23	3701033010	27
24	3701022118	36

В результате систематизации рассматриваемой улично-дорожной сети центральной части г. Цзинань выделены 24 пункта транспортных видеонаблюдений, позволяющие полностью выполнить задачи для мониторинга ситуации и состояний дорожного движения. Схема рассматриваемой улично-дорожной сети центральной части г. Цзинань и дислокация 24 пунктов транспортных видеонаблюдений приведены на рисунке 2.7.

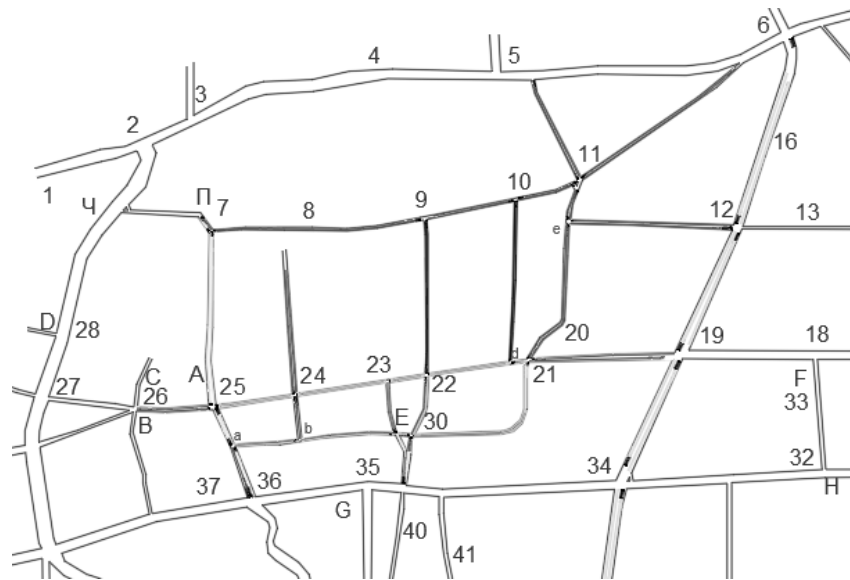


Рисунок 2.7 – Нумерация положения транспортных детекторов на рассматриваемом фрагменте сети центральной части г. Цзинань для моделирования дорожного движения

В соответствии с механизмом работы системы мониторинга на улично-дорожной сети первичные данные транспортных потоков были преобразованы в данные с опознавательными отметками.

Следовательно, используя эти типы данных, можно получить не только информацию о транспортных потоках на отдельном участке сети, и также соединить их для всей сети. По методу обработки данных интеллектуального видеонаблюдения, описанному техническими подробностями в главе 2.2, вся необходимая информация о рассматриваемой улично-дорожной сети обобщена в таблице 2.8.

Таблица 2.8 - Основная информация для главных участков на рассматриваемой
улично-дорожной сети г. Цзинань

№ п/п	Название дороги	Длина дороги, км	Плотность при уровне пропускной способности, авт/км	Интенсивность при уровне пропускной способности, авт/км
Одностороннее движение				
1	25-24	0.393	60	225
2	24-23	0.465	60	300
3	23-21	0.693	50	400
4	E-21	0.92	60	800
5	a-b-E	0.802	40	500
Двухстороннее движение				
1	25-a	0.217	55	80
2	25-7	0.862	55	500
3	21-11	0.964	64	900
4	7-9	1.054	70	600
5	34-19	0.68	50	550
6	19-12	0.69	60	550
7	12-6	1	65	900
8	21-19	0.74	60	550
9	35-36	0.561	50	400
10	3-4	0.964	52	1100
11	2-3	0.261	25	80
12	25-26	0.382	45	170
13	35-34	1.24	60	550
14	5-6	1.29	50	1050
15	4-5	0.762	25	80
16	36-U	1.03	50	400
17	26-27	0.456	45	180

Таким образом, важные параметры транспортного потока, как плотность и интенсивность на рассматриваемой улично-дорожной сети получены для дальнейшего макро моделирования – макроскопической фундаментальной диаграммы на сетевом уровне.

2.4. Сбор экспериментальных данных – зависимости между характеристиками транспортных потоков в главных участках рассматриваемой улично-дорожной сети

Для внедрения обобщенной макро модели Пайпса с применением поправочных коэффициентов экспериментальные данные, отрабатываемые вышеуказанными статистическими методами, использовались в каждом участке рассматриваемой улично-дорожной сети центральной части г. Цзинань КНР. В этой диссертационной работе приведены экспериментальные данные, которые собирались системой мониторинга интеллектуального видеонаблюдения в пиковый промежуток времени с 6:00 до 10:00 и статистическая обработка этих данных осуществлялась в 5-минутном интервале. Вследствие разных геометрических структур участков улично-дорожной сети и уровней обслуживания, зависимости между характеристиками транспортных потоков получены различными графиками, выражающими особенности соответствующего дорожного движения участков сети.

Зависимости между характеристиками транспортных потоков в главных участках рассматриваемой улично-дорожной сети показаны на следующих рисунках:

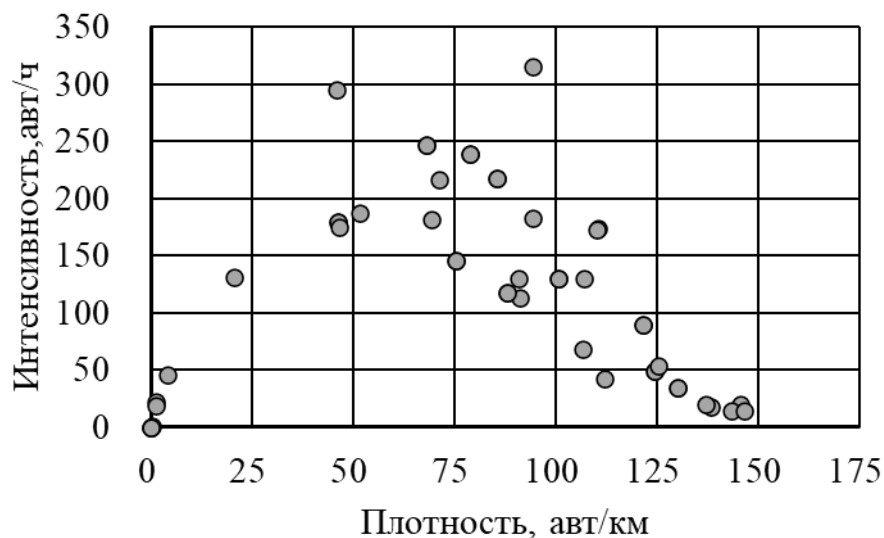


Рисунок 2.8 – зависимости между интенсивностью и плотностью транспортного потока в участках сети 25-24

Таблица 2.9 - Характеристики транспортного потока по обобщенным макромоделям Пайпса с использованием поправочных коэффициентов в участках сети 25-24

№ п/п	Скорость v , км/ч	Коэфф. p	Коэфф. n	Плотность k , авт/км	Интенсивность q , авт/ч
1	44.570	0.229	0.798	0.001	0.030
2	17.250	1.357	0.594	94.158	315.199
3	31.950	0.281	0.517	1.241	22.124
4	35.00	0.322	0.637	1.004	19.306
5	44.00	0.212	0.768	0.001	0.019
6	25.00	0.879	0.719	45.647	294.467
7	16.26	2.010	0.754	110.242	174.022
8	35.10	0.186	0.418	0.048	1.173
9	16.43	2.037	0.764	110.186	172.658
10	43.42	0.235	0.892	0.002	0.067
11	23.40	1.378	0.919	71.069	216.989
12	29.52	0.706	0.975	20.462	130.842
13	28.01	1.144	1.099	46.156	179.500
14	13.64	3.581	1.008	130.063	34.459
15	20.06	1.470	0.806	85.341	217.204
16	23.00	1.331	0.949	69.343	181.507
17	17.80	1.077	0.647	78.730	239.144
18	18.12	0.886	0.607	67.972	246.796
19	16.90	1.737	0.836	100.543	129.978
20	19.58	1.615	0.965	87.784	117.716
21	15.40	2.799	0.892	121.549	89.817
22	20.00	1.777	1.008	90.948	113.155
23	14.41	3.012	0.972	124.354	49.273
24	20.43	1.298	0.906	75.123	145.510

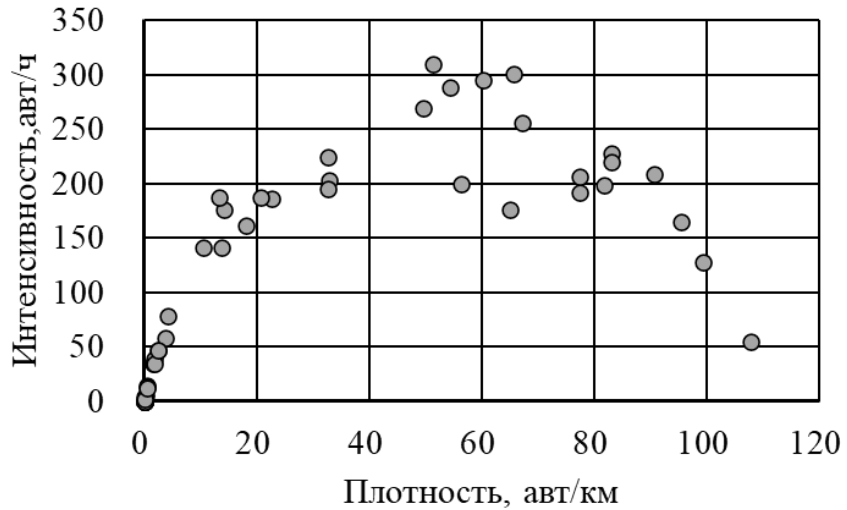


Рисунок 2.9 – зависимости между интенсивностью и плотностью транспортного потока в участках сети 24-23

Таблица 2.10 - Характеристики транспортного потока по обобщенным макромоделям Пайпса с использованием поправочных коэффициентов в участках сети 24-23

№ п/п	Скорость v , км/ч	Коэфф. p	Коэфф. n	Плотность k , авт/км	Интенсивность q , авт/ч
1	38.099	0.473	0.850	2.384	47.021
2	40.000	0.374	0.737	0.563	14.360
3	40.000	0.295	0.559	0.172	5.008
4	43.12	0.242	0.690	0.006	0.187
5	40.73	0.279	0.597	0.080	2.382
6	41.80	0.191	0.496	0.002	0.058
7	48.85	0.105	0.565	0.000	0.000
8	40.00	0.293	0.564	0.165	4.782
9	40.01	0.483	0.947	1.607	34.519
10	45.00	0.168	0.501	0.000	0.001
11	35.68	0.375	0.611	1.889	39.349
12	34.08	0.615	0.850	10.487	141.297
13	45.00	0.178	0.556	0.000	0.001
14	37.15	0.299	0.507	0.509	12.963
15	34.71	0.857	1.174	18.108	161.283
16	31.65	0.608	0.749	14.251	175.739
17	34.71	0.447	0.656	4.249	78.059
18	33.48	0.642	0.775	13.290	187.750
19	48.53	0.121	0.673	0.000	0.000
20	45.00	0.188	0.681	0.000	0.002

21	39.92	0.265	0.658	0.066	1.772
22	37.94	0.339	0.745	0.549	11.840
23	23.64	1.087	0.762	60.307	294.725
24	28.87	1.445	1.195	56.361	199.698

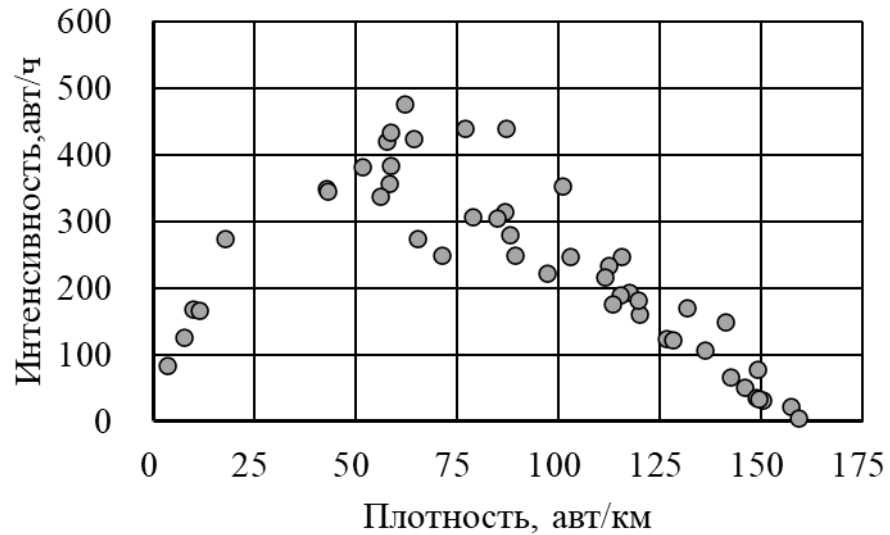


Рисунок 2.10 – зависимости между интенсивностью и плотностью транспортного потока в участках сети 23-21

Таблица 2.11 - Характеристики транспортного потока по обобщенным макромоделям Пайпса с использованием поправочных коэффициентов в участках сети 23-21

№ П/П	Скорость v , км/ч	Коэфф. p	Коэфф. n	Плотность k , авт/км	Интенсивность q , авт/ч
1	29.851	1.365	0.788	58.061	358.067
2	39.463	0.690	0.527	9.587	168.258
3	41.222	0.647	0.306	7.443	126.914
4	31.231	1.486	0.580	64.210	423.686
5	32.511	1.108	0.646	42.477	349.181
6	39.468	0.841	0.400	17.507	274.782
7	31.110	2.059	0.414	86.970	439.547
8	36.828	2.037	0.205	76.785	439.956
9	39.805	0.699	0.331	11.353	167.357
10	33.220	1.368	0.444	57.486	421.352
11	30.181	2.520	0.341	100.996	352.803
12	27.284	1.634	1.326	64.969	274.357

13	30.257	1.409	0.808	58.552	383.634
14	42.017	0.596	0.615	3.481	83.232
15	37.600	1.388	0.223	51.602	381.827
16	21.378	38.321	0.215	157.156	23.180
17	37.274	1.640	0.242	61.871	476.280
18	24.472	6.989	0.326	141.163	149.272
19	28.272	1.851	0.469	86.683	314.792
20	25.000	4.634	0.342	131.533	170.939
21	15.061	104.791	0.251	159.264	4.456
22	23.669	11.244	0.260	148.962	77.372
23	24.287	3.029	0.553	115.416	247.568
24	31.985	1.404	0.596	58.595	434.238

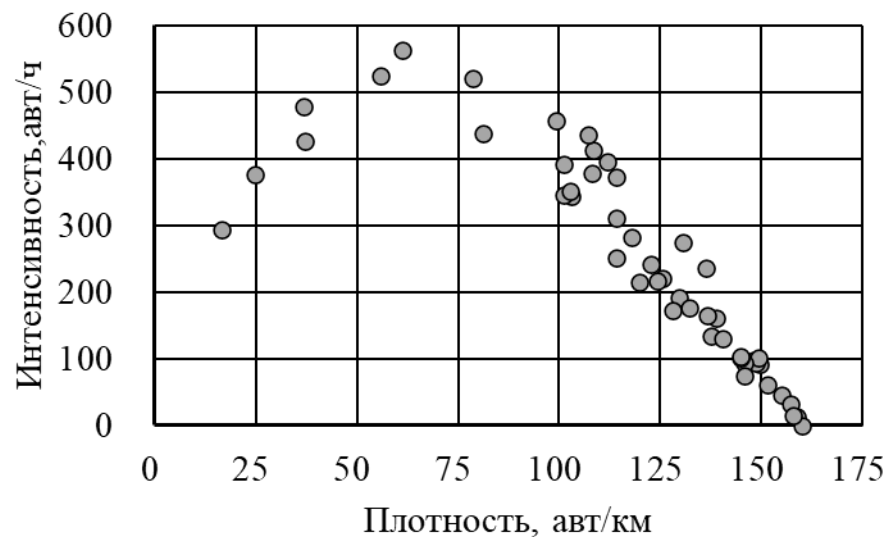


Рисунок 2.11 – зависимости между интенсивностью и плотностью транспортного потока в участках сети 25-7

Таблица 2.12 - Характеристики транспортного потока по обобщенным макромоделям Пайпса с использованием поправочных коэффициентов в участках сети 25-7

№ п/п	Скорость v , км/ч	Коэфф. p	Коэфф. n	Плотность k , авт/км	Интенсивность q , авт/ч
1	40.000	0.861	0.449	16.699	294.062
2	40.000	1.002	0.333	24.767	376.723
3	22.397	11.660	0.317	149.593	92.487
4	34.844	1.571	0.447	61.204	563.610

5	30.366	6.829	0.221	136.339	236.220
6	20.792	83.160	0.193	158.750	12.183
7	38.105	1.176	0.387	36.873	477.649
8	26.668	11.652	0.215	148.026	98.388
9	34.126	2.794	0.251	99.224	458.107
10	40.993	2.566	0.124	78.708	520.627
11	28.378	5.131	0.304	130.569	273.970
12	35.057	4.001	0.182	114.209	373.017
13	24.349	6.224	0.347	138.853	161.362
14	21.315	22.241	0.265	154.953	45.245
15	31.989	3.394	0.274	111.741	396.479
16	34.645	2.926	0.210	101.179	390.953
17	30.786	3.048	0.337	108.281	413.416
18	21.887	10.443	0.338	148.553	93.643
19	26.442	-	0.051	159.999	0.008
20	26.830	48.475	0.150	157.147	32.272
21	36.881	1.497	0.314	55.843	523.569
22	23.912	11.779	0.282	149.159	100.920
23	31.255	3.020	0.333	107.035	436.484
24	31.193	3.029	0.300	108.029	379.253

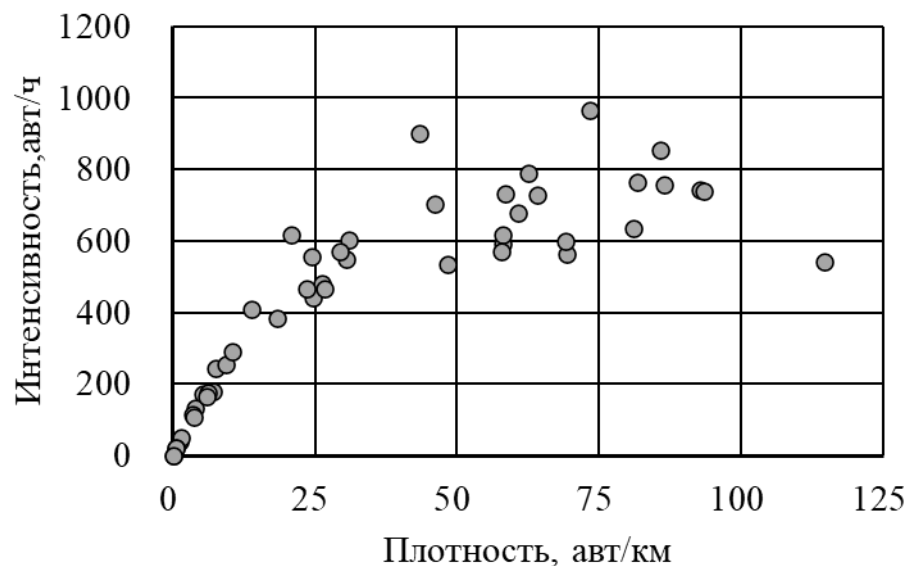


Рисунок 2.12 – зависимости между интенсивностью и плотностью транспортного потока в участках сети Е-21

Таблица 2.13 - Характеристики транспортного потока по обобщенным макромоделям Пайпса с использованием поправочных коэффициентов в участках сети Е-21

№ П/П	Скорость v , км/ч	Коэфф. p	Коэфф. n	Плотность k , авт/км	Интенсивность q , авт/ч
1	32.415	0.548	0.094	20.792	618.633
2	38.436	0.330	0.157	1.287	45.226
3	40.093	0.368	0.246	1.140	40.456
4	32.595	0.465	0.108	13.819	408.443
5	43.118	0.242	0.070	0.034	1.431
6	40.236	0.388	0.240	1.437	51.462
7	32.345	0.687	0.349	24.534	555.342
8	36.966	0.431	0.163	5.226	173.719
9	39.20421	0.285	0.082	0.573	21.539
10	40.03769	0.307	0.158	0.540	20.052
11	38.33671	0.448	0.248	4.007	132.482
12	34.72226	0.414	0.100	7.552	242.926
13	34.85015	0.498	0.294	9.362	255.797
14	34.93352	0.512	0.271	10.340	289.661
15	38.04653	0.428	0.254	3.551	115.590
16	25.66338	0.628	0.148	43.417	900.844
17	31.42184	0.780	0.425	31.054	604.946
18	16.834	1.944	0.471	114.616	543.041
19	44.809	0.222	0.114	0.004	0.162
20	35.37714	0.367	0.214	3.588	107.747
21	21.41422	1.309	0.433	86.433	757.334
22	20.29382	1.386	0.425	92.661	743.091
23	22.01368	1.235	0.430	81.760	763.026
24	25.52738	0.743	0.329	46.159	703.965

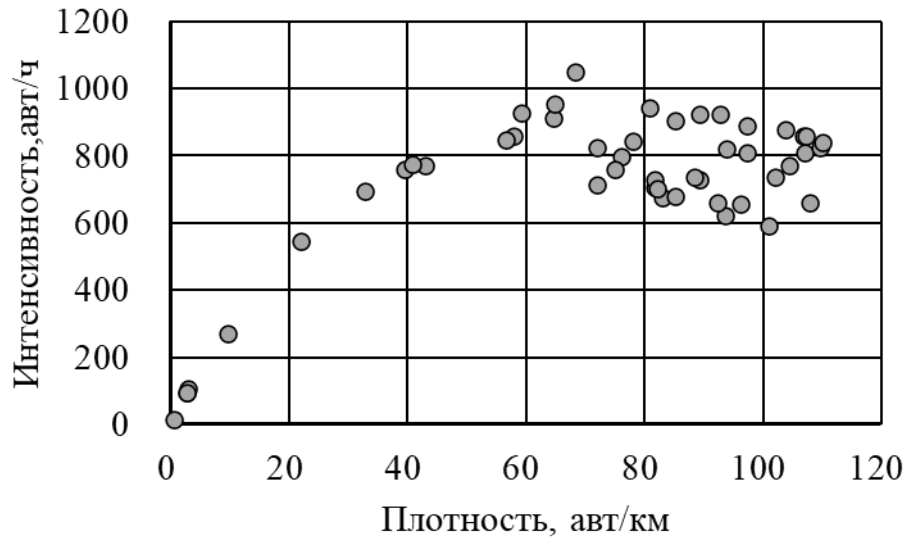


Рисунок 2.13 – зависимости между интенсивностью и плотностью транспортного потока в участках сети 21-11

Таблица 2.14 - Характеристики транспортного потока по обобщенным макромоделям Пайпса с использованием поправочных коэффициентов в участках сети 21-11

№ П/П	Скорость v , км/ч	Коэфф. p	Коэфф. n	Плотность k , авт/км	Интенсивность q , авт/ч
1	34.975	0.498	0.266	9.560	269.481
2	26.252	0.696	0.261	42.908	770.108
3	37.475	0.372	0.156	2.748	93.462
4	37.900	0.376	0.094	2.981	106.964
5	38.679	0.265	0.084	0.451	16.692
6	28.360	0.741	0.298	39.423	758.737
7	36.953	0.343	0.068	2.689	95.246
8	28.508	0.466	0.113	21.942	546.934
9	28.310	0.626	0.228	32.775	695.178
10	27.428	0.716	0.271	40.864	774.061
11	25.590	0.921	0.347	57.870	858.806
12	26.207	0.939	0.366	56.614	848.696
13	24.658	0.981	0.338	64.561	911.093
14	18.240	1.237	0.298	97.247	889.940
15	16.212	1.354	0.296	107.112	808.157
16	22.814	1.179	0.398	78.128	842.032
17	15.519	1.346	0.273	109.637	823.399
18	19.612	1.046	0.287	85.128	903.779
19	18.807	1.156	0.285	92.802	922.208

20	16.630	1.256	0.269	103.680	879.568
21	15.338	1.329	0.261	110.086	841.934
22	15.926	1.279	0.263	106.730	860.929
23	15.909	1.292	0.264	107.169	859.849
24	19.270	1.107	0.284	89.262	925.674

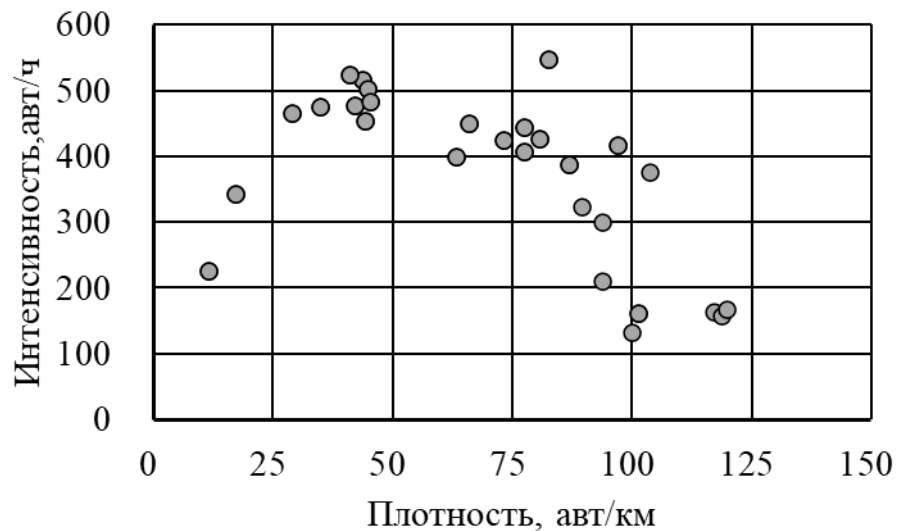


Рисунок 2.14 – зависимости между интенсивностью и плотностью транспортного потока в участках сети а-б-Е

Таблица 2.15 - Характеристики транспортного потока по обобщенным макромоделям Пайпса с использованием поправочных коэффициентов в участках сети а-б-Е

№ п/п	Скорость v , км/ч	Кoeff. p	Кoeff. n	Плотность k , авт/км	Интенсивность q , авт/ч
1	29.091	0.974	0.632	43.716	516.895
2	23.009	2.029	0.882	93.733	210.074
3	27.247	0.890	0.567	44.648	502.608
4	24.183	1.575	0.668	82.614	547.006
5	33.346	0.895	0.670	28.812	465.762
6	25.000	1.825	0.632	89.445	324.656
7	34.443	0.698	0.571	17.254	343.650
8	30.000	3.091	0.929	99.820	133.569
9	32.488	0.518	0.465	11.443	226.833
10	22.913	1.679	0.759	86.826	388.316
11	20.000	3.055	0.886	117.035	163.463

12	27.904	0.939	0.646	44.104	454.107
13	29.311	0.965	0.663	41.944	478.497
14	30.250	1.101	0.754	45.263	482.587
15	24.931	1.428	0.758	73.117	425.909
16	22.611	1.021	0.615	63.306	399.203
17	31.252	0.917	0.660	34.723	475.466
18	25.298	2.932	1.248	101.253	161.748
19	21.425	1.315	0.628	80.574	426.189
20	24.050	1.158	0.650	65.973	450.242
21	30.079	0.969	0.638	40.927	523.734
22	26.030	1.656	0.821	77.530	444.455
23	21.312	1.855	0.697	96.970	416.483
24	25.995	1.670	0.854	77.390	408.438

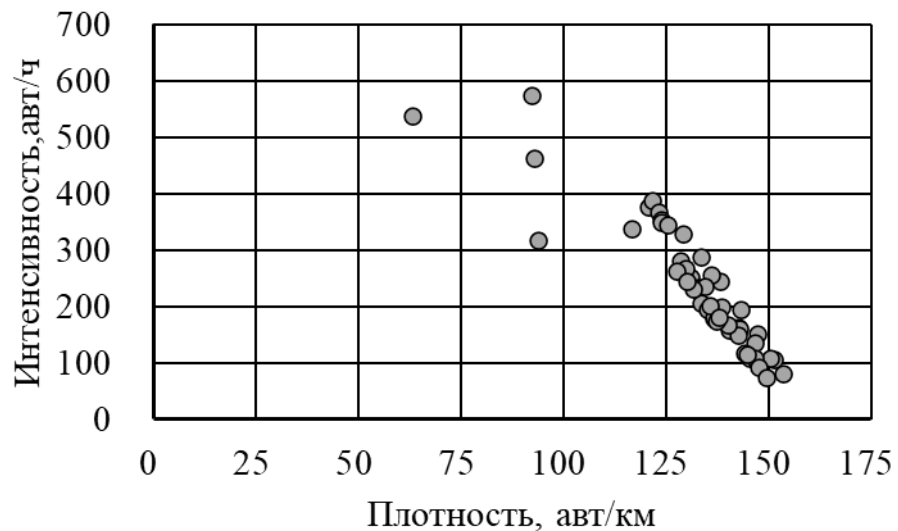


Рисунок 2.15 – зависимости между интенсивностью и плотностью транспортного потока в участках сети 7-9

Таблица 2.16 - Характеристики транспортного потока по обобщенным макромоделям Пайпса с использованием поправочных коэффициентов в участках сети 7-9

№ п/п	Скорость v , км/ч	Коэфф. p	Коэфф. n	Плотность k , авт/км	Интенсивность q , авт/ч
1	32.907	1.594	0.626	63.090	538.939
2	30.488	2.286	0.453	92.905	462.823
3	30.218	4.051	0.314	120.627	377.481

4	33.798	2.491	0.335	92.331	574.598
5	31.253	4.289	0.280	121.521	388.297
6	37.199	34.300	0.075	153.488	81.985
7	29.054	4.237	0.352	123.229	367.387
8	29.381	5.087	0.303	129.047	328.808
9	29.792	4.352	0.311	123.694	353.962
10	27.012	11.377	0.247	147.281	152.432
11	27.596	4.173	0.412	123.862	348.937
12	28.232	5.760	0.314	133.514	288.853
13	26.129	15.905	0.230	151.275	106.415
14	28.761	7.120	0.265	138.293	245.240
15	28.034	4.377	0.380	125.249	344.993
16	25.528	4.516	0.454	128.389	280.808
17	27.218	8.687	0.275	143.110	195.965
18	24.730	4.781	0.464	130.817	252.954
19	27.164	6.111	0.329	135.864	256.758
20	25.851	3.373	0.575	116.424	338.095
21	24.044	6.204	0.411	138.299	199.226
22	23.853	9.634	0.328	146.484	136.742
23	25.519	2.314	0.953	93.903	318.109
24	25.207	4.668	0.456	129.702	268.473

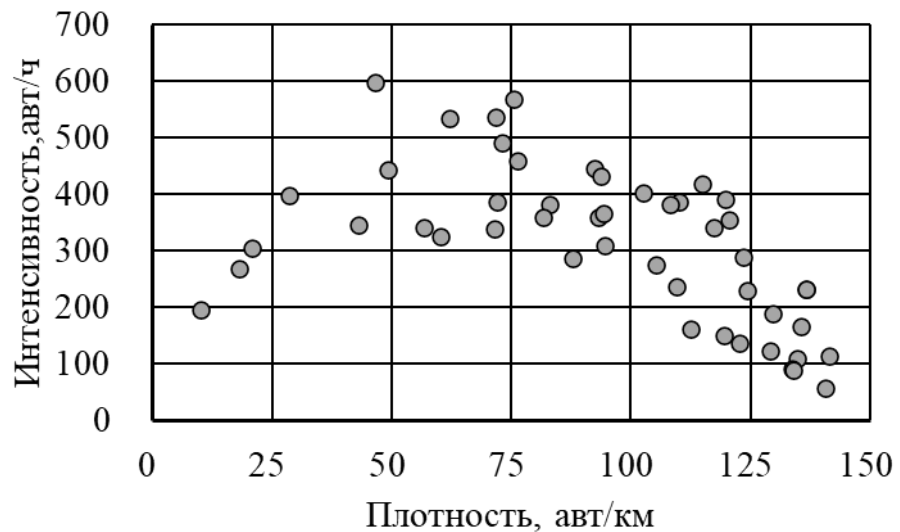


Рисунок 2.16 – зависимости между интенсивностью и плотностью транспортного потока в участках сети 34-19

Таблица 2.17 - Характеристики транспортного потока по обобщенным макромоделям Пайпса с использованием поправочных коэффициентов в участках сети 34-19

№ п/п	Скорость v, км/ч	Коэфф. p	Коэфф. n	Плотность k, авт/км	Интенсивность q, авт/ч
1	32.000	0.851	0.695	28.654	397.222
2	36.002	0.629	0.696	10.091	196.121
3	25.736	0.802	0.430	46.529	598.661
4	27.718	1.043	0.704	49.246	444.180
5	33.64	0.783	0.758	20.732	304.588
6	23.66	1.631	0.784	82.951	383.057
7	26.08	1.539	0.902	71.541	339.343
8	28.88	1.360	0.965	56.663	340.833
9	32.24	0.669	0.660	18.029	269.015
10	23.17	1.555	0.777	81.642	360.029
11	29.04	1.482	1.023	60.330	326.019
12	24.32	1.364	0.759	71.950	386.635
13	23.59	1.274	0.634	73.070	491.114
14	13.06	3.611	0.751	134.584	109.496
15	21.66	1.795	0.751	93.311	359.263
16	19.56	2.121	0.773	105.200	275.227
17	23.00	1.798	0.874	87.717	287.289
18	19.94	2.796	0.964	112.538	162.069
19	17.82	2.960	0.890	119.427	149.889
20	15.00	4.149	0.886	133.503	92.082
21	17.16	3.155	0.885	122.716	137.355
22	14.99	3.378	0.813	129.181	123.148
23	12.10	4.815	0.841	140.640	57.482
24	14.08	3.934	0.848	133.898	88.291

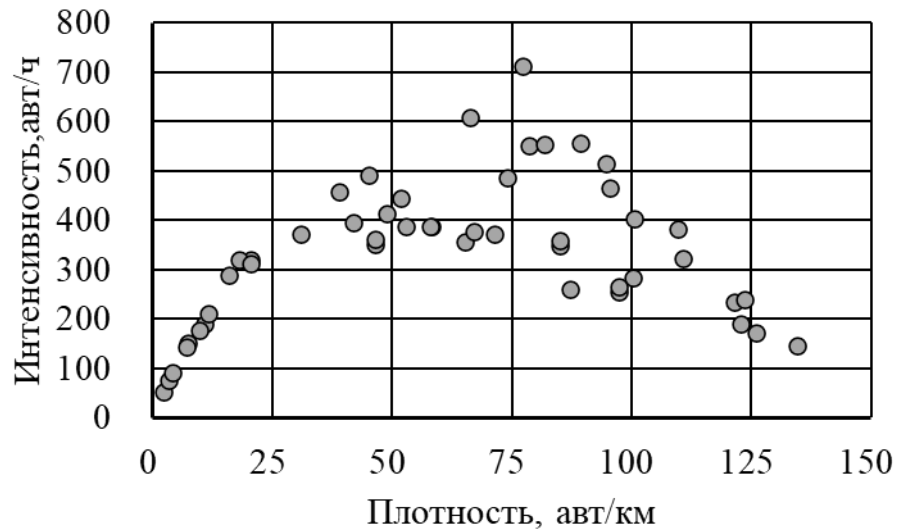


Рисунок 2.17 – зависимости между интенсивностью и плотностью транспортного потока в участках сети 19-12

Таблица 2.18 - Характеристики транспортного потока по обобщенным макромоделям Пайпса с использованием поправочных коэффициентов в участках сети 19-12

№ п/п	Скорость v , км/ч	Коэфф. p	Коэфф. n	Плотность k , авт/км	Интенсивность q , авт/ч
1	36.960	0.705	0.861	10.859	190.762
2	33.110	0.632	0.564	15.814	288.622
3	37.583	0.425	0.605	2.229	53.423
4	31.07	0.650	0.562	20.449	320.121
5	30.35	0.831	0.689	31.018	373.117
6	37.53	0.469	0.636	3.261	75.663
7	28.51	1.154	0.771	51.745	443.699
8	37.64	0.506	0.683	4.040	90.424
9	31.46	0.607	0.498	18.065	319.144
10	28.49	1.096	0.775	48.723	414.111
11	35.43	0.529	0.592	7.228	150.957
12	24.69	1.989	0.997	87.024	261.016
13	26.71	1.211	0.796	58.341	386.306
14	32.08	0.699	0.636	20.488	312.260
15	33.86	0.588	0.616	11.670	210.797
16	17.87	1.357	0.505	95.349	464.257
17	25.32	1.448	0.825	71.468	370.927
18	33.92	0.553	0.617	9.780	177.344
19	17.37	2.016	0.639	110.647	323.121

20	30.42	1.204	0.950	46.348	350.682
21	20.78	1.072	0.521	74.156	485.620
22	22.79	1.631	0.784	84.980	348.589
23	16.36	1.756	0.544	109.660	382.518
24	19.35	1.472	0.528	94.776	515.576

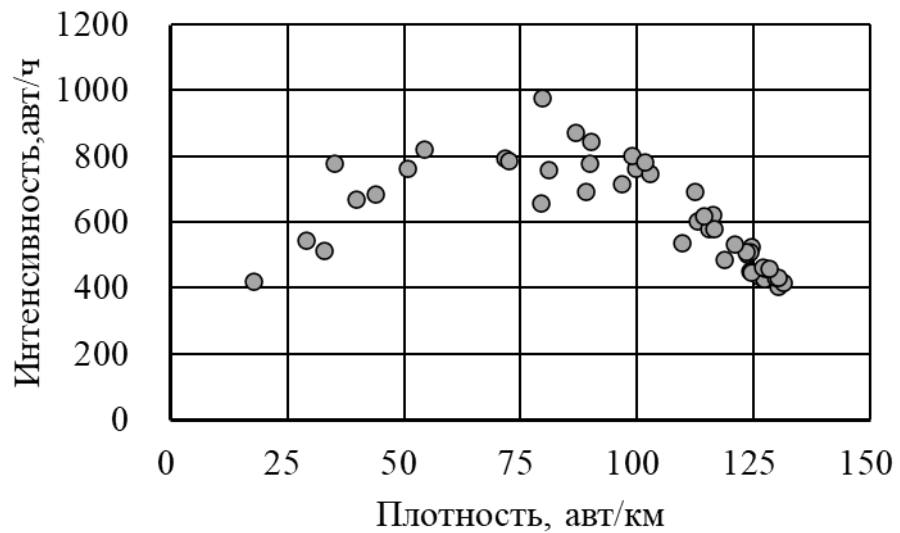


Рисунок 2.18 – зависимости между интенсивностью и плотностью транспортного потока в участках сети 12-6

Таблица 2.19 - Характеристики транспортного потока по обобщенным макромоделям Пайпса с использованием поправочных коэффициентов в участках сети 12-6

№ п/п	Скорость v , км/ч	Коэфф. p	Коэфф. n	Плотность k , авт/км	Интенсивность q , авт/ч
1	30.770	0.827	0.545	32.786	514.232
2	29.030	0.904	0.463	43.851	684.318
3	32.060	0.565	0.301	17.793	419.256
4	24.350	1.429	0.578	79.214	660.447
5	29.870	0.677	0.372	28.805	545.742
6	27.469	0.595	0.158	34.857	780.251
7	29.227	0.829	0.422	39.635	669.336
8	27.108	0.905	0.400	50.795	765.202
9	24.679	1.192	0.460	71.589	794.226
10	26.303	0.907	0.364	54.364	822.533
11	21.085	1.014	0.274	79.531	979.714

12	22.037	1.479	0.506	88.941	693.034
13	24.204	1.173	0.450	72.266	785.649
14	19.006	1.463	0.393	99.707	763.447
15	21.190	1.375	0.428	89.763	778.804
16	13.890	2.198	0.441	125.731	439.071
17	15.990	2.075	0.481	118.562	486.670
18	12.542	2.296	0.418	130.208	404.280
19	13.650	2.200	0.436	126.378	434.804
20	14.205	2.133	0.443	124.146	452.203
21	13.819	2.212	0.441	126.076	436.172
22	18.197	1.899	0.515	109.538	538.896
23	13.473	2.234	0.435	127.215	427.703
24	14.247	2.165	0.447	124.409	448.992

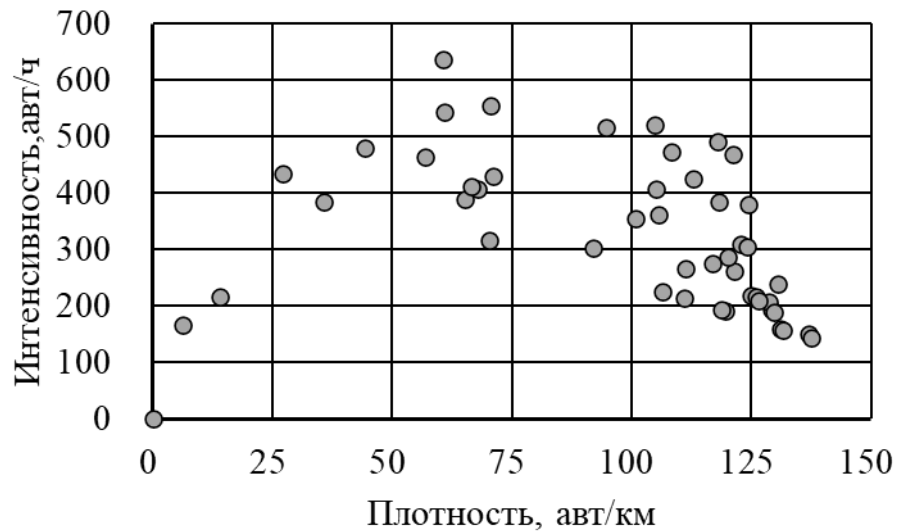


Рисунок 2.19 – зависимости между интенсивностью и плотностью транспортного потока в участках сети 21-19

Таблица 2.20 - Характеристики транспортного потока по обобщенным макромоделям Пайпса с использованием поправочных коэффициентов в участках сети 21-19

№ п/п	Скорость v , км/ч	Кoeff. p	Кoeff. n	Плотность k , авт/км	Интенсивность q , авт/ч
1	32.940	0.389	0.243	6.363	166.880
2	28.300	1.724	1.057	70.220	316.156
3	26.190	0.715	0.543	35.734	383.147

4	20.02	1.546	0.556	94.735	516.632
5	31.0389	0.749	0.548	27.185	433.354
6	40.14798	0.213	0.316	0.024	0.832
7	18.6128	1.856	0.610	105.141	405.844
8	23.28511	1.985	0.886	91.960	303.183
9	30.4227	0.530	0.542	14.076	216.015
10	18.7736	2.340	0.761	111.177	266.363
11	27.53138	1.450	0.886	65.055	389.749
12	24.28752	1.245	0.715	67.838	405.980
13	14.92177	2.676	0.665	124.979	218.751
14	23.31874	0.684	0.417	44.390	479.906
15	22.98639	0.888	0.526	56.830	464.794
16	20.23184	0.719	0.314	60.681	636.894
17	13.8394	3.173	0.702	130.968	158.310
18	17.58452	2.838	0.815	119.582	190.903
19	26.03393	1.353	0.790	66.620	411.379
20	16.60949	1.634	0.559	105.544	362.053
21	13.58237	3.193	0.694	131.660	156.246
22	17.70389	2.799	0.815	118.894	194.239
23	21.14928	2.495	0.917	106.419	225.069
24	20.00	2.613	0.886	111.010	213.158

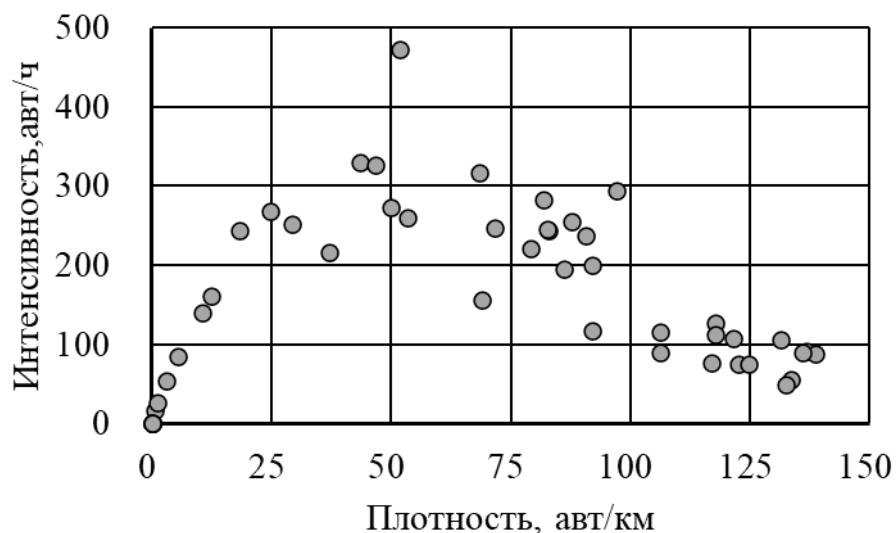


Рисунок 2.20 – зависимости между интенсивностью и плотностью транспортного потока в участках сети 35-36

Таблица 2.21 - Характеристики транспортного потока по обобщенным макромоделям Пайпса с использованием поправочных коэффициентов в участках сети 35-36

№ п/п	Скорость v, км/ч	Коэфф. p	Коэфф. n	Плотность k, авт/км	Интенсивность q, авт/ч
1	43.400	0.197	0.455	0.001	0.033
2	46.730	0.227	0.715	0.000	0.004
3	22.680	0.776	0.467	51.786	472.915
4	35.939	0.297	0.492	0.697	16.717
5	42.225	0.165	0.326	0.000	0.015
6	40.853	0.194	0.438	0.004	0.146
7	39.585	0.200	0.446	0.012	0.365
8	46.846	0.211	0.641	0.000	0.001
9	34.265	0.628	0.880	10.634	139.742
10	29.877	1.981	1.452	69.062	156.034
11	25.802	2.548	1.357	92.099	116.882
12	22.977	3.043	1.290	106.277	90.178
13	20.260	3.461	1.193	116.907	75.753
14	14.684	4.260	0.975	133.487	56.019
15	28.385	1.285	1.028	53.336	260.003
16	25.000	1.505	0.963	71.516	247.629
17	18.000	3.540	1.076	122.506	74.852
18	17.000	3.533	1.023	124.601	75.450
19	20.472	1.414	0.781	82.848	243.938
20	31.070	1.098	1.124	37.058	216.609
21	25.485	0.848	0.672	43.543	330.543
22	16.000	4.586	1.076	132.582	48.752
23	32.520	0.602	0.776	12.477	160.627
24	20.946	2.626	1.096	106.074	116.052

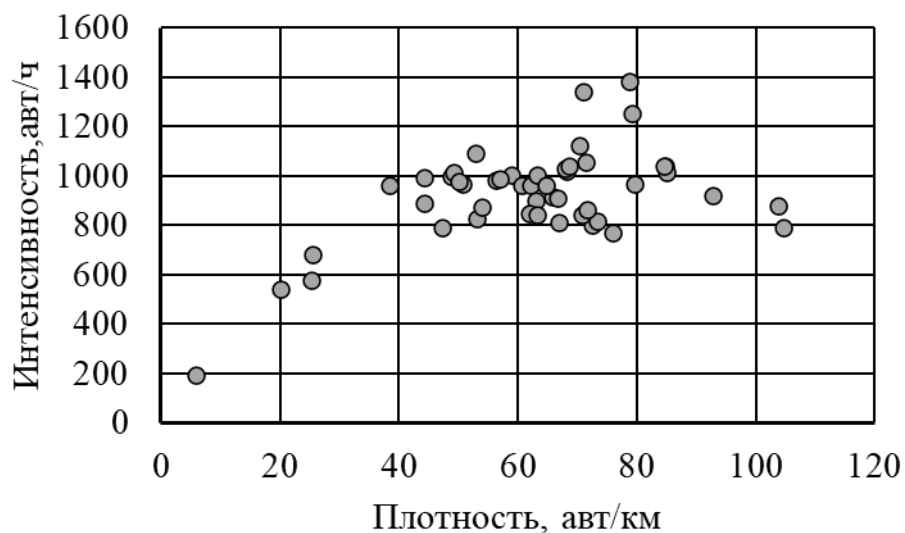


Рисунок 2.21 – зависимости между интенсивностью и плотностью транспортного потока в участках сети 3-4

Таблица 2.22 - Характеристики транспортного потока по обобщенным макромоделям Пайпса с использованием поправочных коэффициентов в участках сети 3-4

№ п/п	Скорость v , км/ч	Коэфф. p	Коэфф. n	Плотность k , авт/км	Интенсивность q , авт/ч
1	30.470	0.606	0.255	25.174	577.300
2	33.122	0.318	(0.033)	5.733	195.058
3	28.856	0.497	0.071	25.508	679.262
4	29.325	0.454	0.077	20.153	542.558
5	25.775	0.518	0.021	38.419	962.568
6	25.266	0.673	0.144	48.714	996.608
7	25.156	0.669	0.136	49.143	1012.409
8	25.832	0.621	0.102	44.337	993.764
9	27.089	0.928	0.379	52.994	826.212
10	24.948	0.704	0.178	50.769	967.376
11	27.213	0.826	0.339	47.210	792.742
12	24.376	0.769	0.210	56.286	983.730
13	22.419	0.860	0.227	68.105	1017.587
14	21.104	0.777	0.149	70.298	1124.547
15	19.362	0.783	0.102	79.267	1251.806
16	24.724	0.603	0.139	44.332	889.670
17	19.492	0.618	0.016	70.891	1341.507
18	21.466	0.787	0.188	67.868	1027.853
19	18.775	0.692	0.034	78.719	1380.261

20	3.275	4.687	0.699	22.658	0.707
21	3.238	4.803	0.674	20.764	0.992
22	3.191	4.438	0.719	22.700	0.580
23	3.392	4.996	0.679	18.826	1.157
24	3.245	4.694	0.691	21.586	0.805

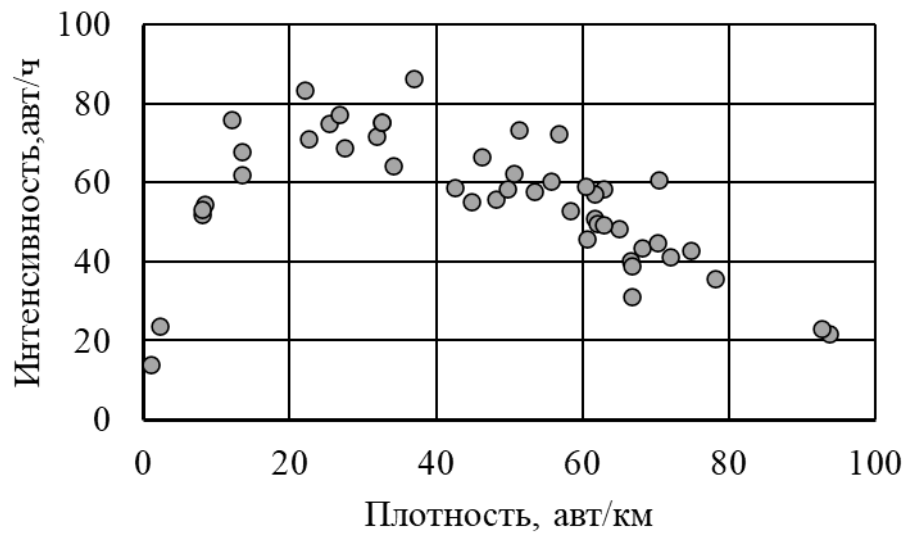


Рисунок 2.22 – зависимости между интенсивностью и плотностью транспортного потока в участках сети 2-3

Таблица 2.23 - Характеристики транспортного потока по обобщенным макромоделям Пайпса с использованием поправочных коэффициентов в участках сети 2-3

№ п/п	Скорость v , км/ч	Коэфф. p	Коэфф. n	Плотность k , авт/км	Интенсивность q , авт/ч
1	34.580	1.392	1.981	34.105	64.317
2	40.76181	0.500	1.496	0.987	13.826
3	39.04592	0.546	1.478	2.153	23.594
4	35.94127	0.706	1.484	8.358	54.472
5	38.49623	0.804	1.789	7.946	51.999
6	33.12647	1.046	1.621	25.306	74.883
7	35.47971	1.107	1.837	22.475	70.975
8	33.13559	1.613	1.999	44.764	55.366
9	37.71275	0.962	1.908	13.453	61.908
10	32.10122	1.631	1.915	48.149	55.822
11	31.4289	2.276	2.172	66.628	31.153

12	33.31103	1.551	1.972	42.445	58.691
13	33.21505	1.226	1.753	31.837	71.687
14	33.62726	0.977	1.550	22.004	83.463
15	28.03073	2.195	1.778	74.739	43.003
16	29.58664	1.850	1.795	61.607	51.078
17	29.45666	2.083	1.870	68.028	43.511
18	29.76734	1.657	1.718	55.649	60.386
19	29.09581	1.923	1.787	64.945	48.464
20	31.77798	1.152	1.604	32.555	75.240
21	31.10239	1.480	1.734	46.262	66.516
22	33.43391	1.097	1.661	26.716	77.325
23	27.48561	2.294	1.800	78.011	35.827
24	30.12366	1.147	1.459	36.955	86.264

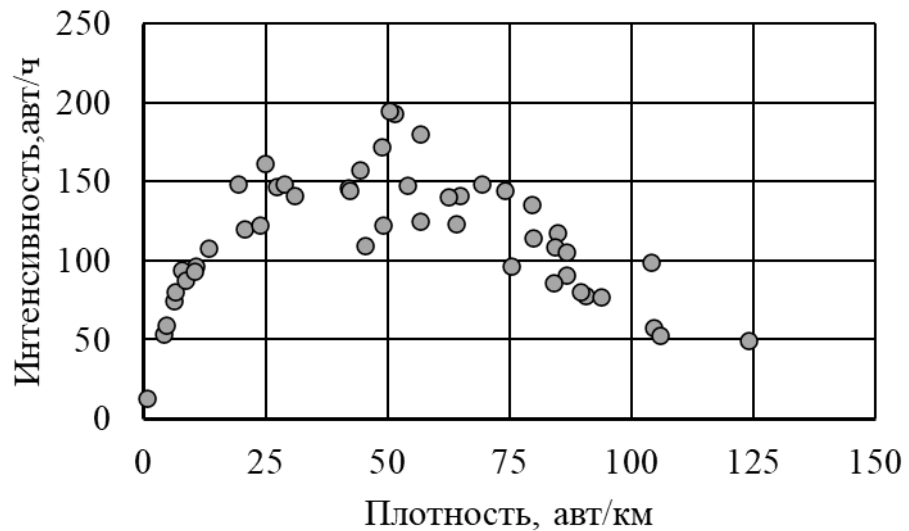


Рисунок 2.23 – зависимости между интенсивностью и плотностью транспортного потока в участках сети 25-26

Таблица 2.24 - Характеристики транспортного потока по обобщенным макромоделям Пайпса с использованием поправочных коэффициентов в участках сети 25-26

№ п/п	Скорость v , км/ч	Кoeff. p	Кoeff. n	Плотность k , авт/км	Интенсивность q , авт/ч
1	38.870	0.369	0.832	0.618	13.271
2	23.640	1.736	1.125	79.524	135.193
3	37.450	0.563	1.140	4.055	54.003

4	37.670	0.659	1.250	6.259	74.629
5	30.786	0.902	1.142	27.266	147.299
6	36.134	0.601	1.071	6.448	80.103
7	36.054	0.743	1.284	10.644	96.637
8	35.197	0.611	1.024	7.907	93.831
9	30.148	0.692	0.923	19.303	148.668
10	24.444	1.628	1.129	74.092	144.563
11	36.179	0.687	1.224	8.695	87.786
12	34.672	0.494	0.927	4.600	59.049
13	31.257	1.498	1.526	48.979	122.242
14	25.112	2.240	1.369	86.524	90.733
15	33.462	0.707	1.125	13.283	108.271
16	25.372	1.081	0.953	51.451	193.396
17	34.687	0.682	1.168	10.423	93.378
18	29.421	0.776	0.964	24.968	161.430
19	29.803	1.234	1.261	44.229	157.172
20	22.232	2.896	1.356	104.485	58.055
21	33.689	0.907	1.332	20.603	120.420
22	25.821	1.087	0.969	50.444	194.578
23	32.921	1.536	1.693	45.244	109.308
24	25.981	1.218	1.108	54.113	147.634

Для исследования характеристик целой улично-дорожной сети и анализа состояния дорожного движения в следующем этапе эти экспериментальные данные отдельных участков будут соединены интегральной сетевой основной диаграммы транспортного потока.

Вывод по главе 2

1. Модели американского бюро автомобильных дорог и их обновления с целью приспособления к конкретным условиям, описывающие зависимости между временем поездки и интенсивностью дорожного движения, показаны для отдельных участков улично-дорожной сети. Модели требовались слишком многим параметрам о характеристиках транспортного потока и информациях улично-дорожной сети. Поэтому вызывает необходимость исследования и освоения новых сетевых макромоделей, которые способствуют сбору этих данных в каждом участке улично-дорожной сети.

2. Для городской улично-дорожной сети, соответствующей запутанность структуры, неопределённость маршрутизации транспортных потоков и многообразность методов управления дорожным движением, применение обобщенных макромоделей Пайпса с использованием поправочных коэффициентов существует большой потенциал на отдельном участке улично-дорожной сети.

3. Экспериментальные исследования по обобщенным макромоделям Пайпса с использованием поправочных коэффициентов осуществлены на каждом участке рассматриваемой улично-дорожной сети центральной части г. Цзинань, где представляют как исследовательские объекты для моделирования дорожного движения в крупном городе. Сбор экспериментальных данных – зависимости между характеристиками транспортных потоков в главных участках сети приведены для анализа состояния дорожного движения.

Глава 3.

Макроскопическая фундаментальная диаграмма транспортного потока

3.1. Теория макроскопической фундаментальной диаграммы транспортного потока

Ретроспективно рассматриваются исследования о доступных макромоделях для управления дорожным движением на улично-дорожной сети города, их развитие проходило на нескольких главных этапах: четырехшаговые транспортные модели («Four-step» models), имеющие статические и агрегированные характеристики; распространение дезагрегированного транспортного спроса и сетевого равновесия («Disaggregate demand» and «network equilibrium»); динамическое моделирование (Dynamic simulation) с использованием программно-моделирующих комплексов и информационно-коммуникационных технологий. Однако, действующие транспортные макромоделей требуются слишком многими входными данными, и нарушаются неопределённостями выборы маршрутов и беспорядками насыщенных сетей [57, 65, 66, 67].

В процессе эволюции макромоделей транспортного потока можем отметить, что важные результаты исследования о сетевых потоках были получены Р. Смидом на основе размерного анализа (dimensional analysis) [111]. В работе Р. Смида заключались о том, что максимальный транспортный поток, который может входить в центральную зону города, должен иметь отношение между районами города, долями примененных дорог и пропускными способностями участков сети.

В работе Д. Томсона была обнаружена линейно-убывающая зависимость между средней плотностью и потокам с использованием собранных данных в центральной части г. Лондон [115]. И в работе Д. Уордроба тоже была получена убывающая общая зависимость между средней плотностью и потокам, которая связана с средней шириной улиц и средним расстоянием пересечений [117].

В работе И. Захави путём анализ сочетающих данных разных городов США и Великобритании были сделаны выводы о том, что скорость дорожного движения была обратно пропорциональна транспортному потоку [120].

Первая макроскопическая основная диаграмма для городской улично-дорожной сети была предложена Д. Годфри в 1969 г., проводившим исследования о зависимостях между средней скоростью, плотностью и общим пробегом [72]. Отправная точка этих исследований заключается в том, что на сетевом уровне существует также критическое значение параметров транспортного потока, как полученная фундаментальная диаграмма на отдельном участке улично-дорожной сети. Затем в результате дополнительного исследования обнаружились поменьше этих значений параметров транспортного потока на сетевом уровне по сравнению с значениями на отдельном участке сети.

На следующим этапе подобные исследования проводились при определении параметров двухкомпонентных макромоделей кинетической теории транспортного потока и оценке условий функционирования улично-дорожной сети [54, 62, 77].

Применение фундаментальной диаграммы транспортного потока (Fundamental Diagram – FD) постепенно является самым распространенным способом для оценки характеристик транспортных потоков, пропускной способности и уровней обслуживания на отдельных участках улично-дорожной сети. Однако долгое время не предпринималось попыток применения фундаментальной диаграммы транспортного потока на сетевом уровне, из-за отсутствия экспериментальных данных от транспортных детекторов и других средств измерений характеристик транспортных потоков на полном покрытии улично-дорожной сети.

Появление новых техник и технологий системы мониторинга и их широкое распространение, обеспечивающих построение макромоделей дорожного движения исходными данными, способствовали активному продвижению применения фундаментальной диаграммы транспортного потока на сетевом уровне.

Затем, важные открытия транспортных макромоделей заключались в том, что существует особенные стабильные зависимости между накоплением автомобилей

и характеристиками транспортного потока – среднее значение скорости; интенсивности; доля остановившихся автомобилей [54, 79, 96]. Теория макроскопической фундаментальной диаграммы транспортного потока (Macroscopic Fundamental Diagram – MFD) была предложена в работах С. Даганзо и Н. Геролнимиса именно на основе этих исследований для транспортных макромоделей.

Прежде всего, дифференциальное уравнение динамической системы, описывающей отношение между входящим потоком и выходящим потоком на участке улично-дорожной сети, была получена в работах С. Даганзо. С его точки зрения совокупные показатели эффективности сети можно приблизительно формулироваться мгновенным накоплением, составляющим автомобили прибытия и отправления на отдельных участках дорог, при стабильным транспортным нагрузке и равномерным распространении заторов.

Подробное предположение С. Даганзо показано на рисунке 3.1, как экзогенный входящий поток U_i и экзогенный выходящий поток D_i ; эндогенный входящий поток O_i и эндогенный выходящий поток E_i в длине участка сети x .

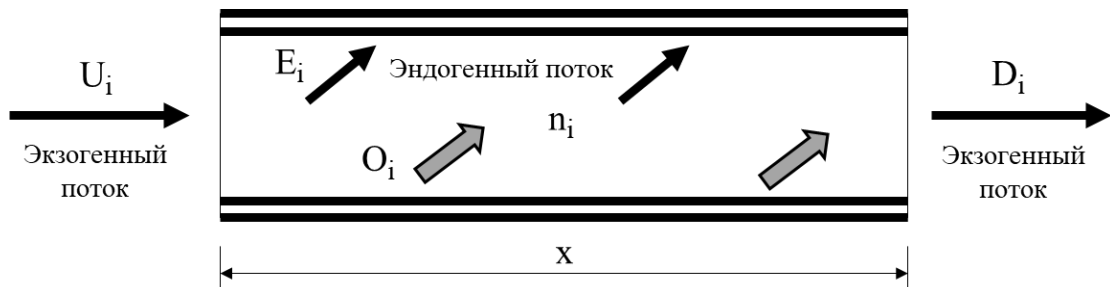


Рисунок 3.1 – Экзогенный и эндогенный поток на участке сети [67]

Отношение между накоплением и потоками на участке сети описывается следующим уравнением:

$$n_i(t) = (O_i(t) + U_i(t)) - (E_i(t) + D_i(t)) \quad (3.1)$$

где

n_i – накопление автомобилей на i -м участке сети;

O_i – эндогенный входящий поток i -го участка сети;

- U_i – экзогенный входящий поток i -го участка сети;
 E_i – эндогенный выходящий поток i -го участка сети;
 D_i – экзогенный выходящий поток i -го участка сети;
 x – общая длина участка сети;
 t – время.

Динамическая система описывается следующим дифференциальным уравнением:

$$\frac{dn}{dt} = f(t) - G(t) \quad (3.2)$$

где

f – функция входящего потока;

G – функция выходящего потока.

На следующем работе С. Даганзо и Н. Геролнимиса была получена определённая макроскопическая фундаментальная диаграмма транспортного потока с использованием интегральных данных путем соединения транспортных детекторов наземной индукционной катушки и информации пробных автомобилей такси в городе Йокогаме (Япония) [71]. Основные параметры макроскопической фундаментальной диаграммы транспортного потока использовались как взвешенная и невзвешенная эффективность (Weighted and unweighted performance); взвешенная и невзвешенная заполняемость (Weighted and unweighted occupancy), измеренная соответствующим детектором в определенном времени. И в этих работах была обнаружена линейная зависимость между выходящими потоками и транспортными потоками сети.

До сих пор, макроскопическая фундаментальная диаграмма транспортного потока является эффективным инструментом, который не требуется данными о динамических матрицах корреспонденций, для оценки характеристик транспортных потоков, пропускной способности, уровней обслуживания и планирования стратегии управления дорожным движением.

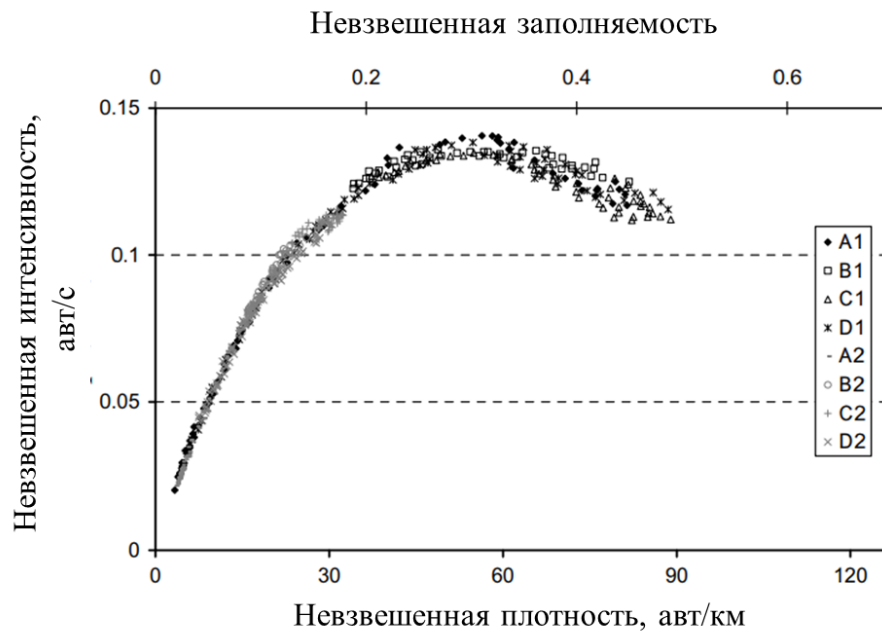


Рисунок 3.2 – Полученная макроскопическая фундаментальная диаграмма транспортного потока с низким уровнем рассеяния в работе С. Даганзо и Н. Геролнимиса [71]

3.2. Построение макроскопической фундаментальной диаграммы транспортного потока на сетевом уровне

Применение фундаментальной диаграммы транспортного потока (Fundamental Diagram – FD) является самым распространенным способом для оценки характеристик транспортных потоков, пропускной способности и уровней обслуживания на отдельных участках улично-дорожной сети. Однако долгое время не предпринималось попыток применения фундаментальной диаграммы транспортного потока на сетевом уровне, из-за отсутствия экспериментальных данных от транспортных детекторов и других средств измерений характеристик транспортных потоков на полном покрытии улично-дорожной сети.

Появление новых техник и технологий системы мониторинга и их широкое распространение, обеспечивающих построение макромоделей дорожного

движения исходными данными, способствовали активному продвижению применения фундаментальной диаграммы транспортного потока на сетевом уровне.

Ретроспективно рассматривая эволюцию макромоделей транспортного потока можно отметить, что первая макроскопическая фундаментальная диаграмма для городской улично-дорожной сети была предложена Д.Годфри в 1969 г., проводившим исследования о зависимостях между средней скоростью, плотностью и общим пробегом [73]. Отправная точка этих исследований заключается в том, что на сетевом уровне существует также критическое значение параметров транспортного потока, как полученная фундаментальная диаграмма на отдельном участке улично-дорожной сети. Затем в результате дополнительного исследования обнаружились поменьше этих значений параметров транспортного потока на сетевом уровне по сравнению с значениями на отдельном участке сети.

На следующем этапе подобные исследования проводились при определении параметров двухкомпонентных макромоделей кинетической теории транспортного потока и оценке условий функционирования улично-дорожной сети [64, 65, 74].

В настоящее время для городской улично-дорожной сети эффективным вариантом макромоделирования дорожного движения является макроскопическая фундаментальная диаграмма транспортного потока, описывающая зависимости между интегральными характеристиками транспортного потока, и ее параметры были сформированы в работах С.Даганзо и Н.Геролнимиса [67, 69, 71, 72].

Основные параметры для построения макроскопической фундаментальной диаграммы транспортного потока состоят из следующих уравнений:

- производительность – общий пробег всех автомобилей в улично-дорожной сети за единицу времени. Данный параметр представляет суммирование произведения интенсивности движения на каждом участке сети на длину этого участка. Также можно рассчитывать для каждой полосы движения с учетом интенсивности по полосам.

$$P = \sum_{i \in z} q_i \cdot l_i \quad (3.3)$$

где

P – производительность улично-дорожной сети, авт*км/ч;

q_i – интенсивность дорожного движения на i -м участке сети, авт*км/ч;

l_i – длина i -го участка сети, км;

Z – общая длина сети, км;

- эффективность – средняя интенсивность движения в улично-дорожной сети. Данный параметр определяется делением вышеуказанной производительности на общую длину сети, является взвешенной средней интенсивности движения. Также получается путем усреднения всех значений интенсивности движения и является невзвешенной средней интенсивностью движения. Взвешенное и невзвешенное значение этих параметров должно быть равно при всех одинаковых участках улично-дорожной сети. Однако, взвешенное значение является более точным значением сравнительно с невзвешенным значением при практических обстановках городской улично-дорожной сети.

$$E = \frac{\sum_{i \in Z} q_i \cdot l_i}{\sum_{i \in Z} l_i} \quad (3.4)$$

где

E – эффективность использования улично-дорожной сети, авт/ч;

- Накопление – число автомобилей в улично-дорожной сети. Данный параметр представляет суммирование произведения плотности движения на каждом участке сети на длину этого участка.

$$A = \sum_{i \in Z} k_i \cdot l_i \quad (3.5)$$

где

A – накопление автомобилей в улично-дорожной сети, авт;

k_i – плотность дорожного движения на i -м участке сети, авт/км;

- сетевая плотность – средняя плотность в улично-дорожной сети. По аналогии с параметром эффективности определяется делением вышеуказанного накопления на общую длину сети, является взвешенной средней плотностью движения. Или получается путем усреднения всех значений плотности движения, является невзвешенной средней плотностью движения.

$$K = \frac{\sum_{i \in z} k_i \cdot l_i}{\sum_{i \in z} l_i} \quad (3.6)$$

где

K – сетевая плотность улично-дорожной сети, авт/км;

В процессе практического подтверждения теории макроскопической фундаментальной диаграммы достоверные результаты были получены в г. Йокогаме (Япония) на основе экспериментальных данных из стационарных транспортных детекторов и пробных автомобилей такси [71]. Данные исследования заключаются в себе важные выводы, что на сетевом уровне можно стабильно фиксировать макроскопическую фундаментальную диаграмму при изменении матриц корреспонденций и транспортного спроса. Затем практические исследования о макроскопической фундаментальной диаграммы были проведены на улично-дорожной сети г. Тулуза Франции для неоднородной транспортной загрузки [69, 71]. В этих исследованиях было выявлено, что структура улично-дорожной сети и месторасположение транспортных детекторов оказывает существенное влияние на форму и разброс значений параметров макроскопической фундаментальной диаграммы.

Поэтому для построения макроскопической фундаментальной диаграммы необходимо иметь качественные исходные данные и достаточно продолжительный промежуток времени наблюдений.

Для оценки макроскопической фундаментальной диаграммы транспортного потока использовались данные системы интеллектуального видеонаблюдения на примере фрагмента сети центральной части г. Цзинань по промежутку

мониторинга с 6:00 до 10:00. Интегральные параметры макроскопической фундаментальной диаграммы транспортного потока – производительность, накопление, эффективность и средняя плотность были приведены соответственно на таблице 3.1 и 3.2.

Для данного участка улично-дорожной сети максимальный объем производительности достигается 28000 авт*км/ч при уровне накопления около 2600 автомобилей в диапазоне от 2000 до 3000 автомобилей. Соответственно, что по уравнениям (3.5) и (3.6) максимальный объем эффективности достигается 580 авт/ч при уровне средней плотности около 55 авт/км в диапазоне от 50 до 60 авт/км.

В соответствии с этими данными полученная макроскопическая фундаментальная диаграмма, имеющая динамическими характеристиками, можно показать изменений параметров транспортного потока во времени. Построенные макроскопические фундаментальные диаграммы транспортного потока на основе таблицы 3.1 и 3.2 приведены соответственно на рисунке 3.3 и 3.4.

Таблица 3.1 - Интегральные параметры макроскопической фундаментальной диаграммы транспортного потока – накопление и производительность на рассматриваемой улично-дорожной сети

№ п/п	Накопление автомобилей в сети А, авт	Производитель -ность улично- дорожной сети Р, авт*км/ч	Накопление автомобилей в сети А, авт	Производитель -ность улично- дорожной сети Р, авт*км/ч
	с 6:00 до 8:00		с 8:00 до 10:00	
1	789.4351	12521.48	3276.12	22531.08
2	1513.577	14883.56	4239.586	19733.39
3	1642.709	13742.11	4571.428	19318.38
4	1692.732	15601.54	4451.415	19331.91
5	1386.711	13407.33	4833.954	18507.81
6	1832.276	15363.21	4654.758	20409.7
7	1852.809	16788.4	4429.825	18783.04
8	2253.296	15952.92	4501.475	19874.22
9	1697.423	17898.91	4183.272	18956.9
10	2759.402	20608.78	4497.103	17819.7
11	2999.109	19236.28	4604.093	21030.13
12	3211.67	20352.22	4392.471	19603.98

13	3581.622	20286.85	4262.307	18047.94
14	3967.29	20423.11	4463.022	17359.13
15	3298.172	23879.25	3284.3	20792.07
16	3903.452	22684.19	4366.789	17634.42
17	4357.443	21100.16	4087.378	17728.21
18	4764.607	17522.61	4116.948	20362.13
19	4455.376	17824.81	4119.099	19432.57
20	4407.375	16070.59	4158.779	17868.05
21	4304.907	19282.69	3936.726	20728.42
22	5077.144	17175.92	3892.568	19799.38
23	4343.812	20441.99	4742.127	18593.55
24	4537.342	20338.28	4315.635	19077.34

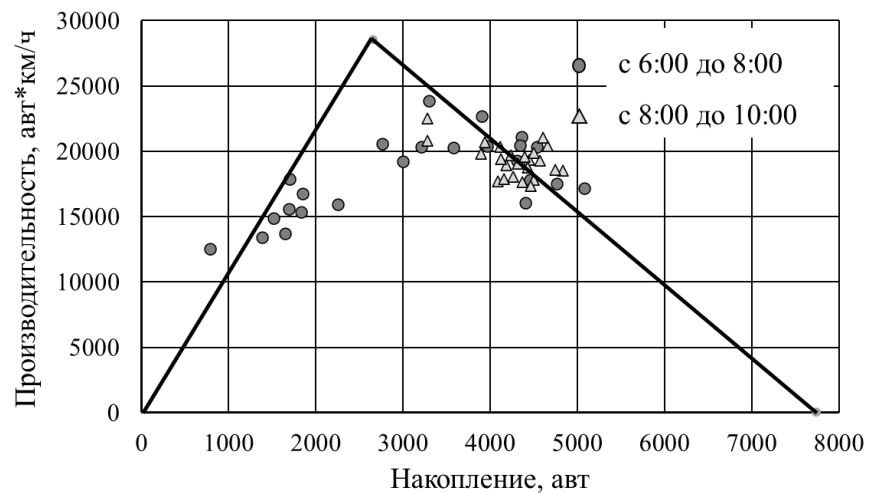


Рисунок 3.3 – Зависимости между производительностью и накоплением на улично-дорожной сети

Таблица 3.2 - Интегральные параметры макроскопической фундаментальной диаграммы транспортного потока – средняя плотность и эффективность на рассматриваемой улично-дорожной сети

№ п/п	Средняя плотность K , авт/км	Эффективность улично-дорожной сети E , авт/ч	Средняя плотность K , авт/км	Эффективность улично-дорожной сети E , авт/ч
	с 6:00 до 8:00		с 8:00 до 10:00	
1	16.30155	258.5639	67.65069	465.2586
2	31.25483	307.3401	87.54591	407.4873
3	33.92135	283.7696	94.39833	398.9176

4	34.9543	322.1661	91.9201	399.1969
5	28.63508	276.8565	99.81941	382.1795
6	37.83583	317.2447	96.11907	421.4528
7	38.25984	346.6745	91.47428	387.863
8	46.52974	329.422	92.95382	410.3953
9	35.05117	369.6059	86.38304	391.4531
10	56.98066	425.5639	92.86355	367.9703
11	61.93051	397.2223	95.07286	434.2646
12	66.31982	420.266	90.70293	404.8152
13	73.9592	418.9162	88.0151	372.6835
14	81.9231	421.7298	92.15979	358.4597
15	68.10605	493.0979	67.8196	429.3486
16	80.60487	468.4203	90.17262	364.1443
17	89.97962	435.7107	84.40287	366.0811
18	98.38742	361.8355	85.01348	420.4706
19	92.0019	368.0759	85.0579	401.2755
20	91.0107	331.8519	85.87728	368.9688
21	88.89478	398.1806	81.29197	428.0343
22	104.8412	354.6764	80.38011	408.85
23	89.69815	422.1198	97.92321	383.9501
24	93.69446	419.9781	89.1163	393.9402

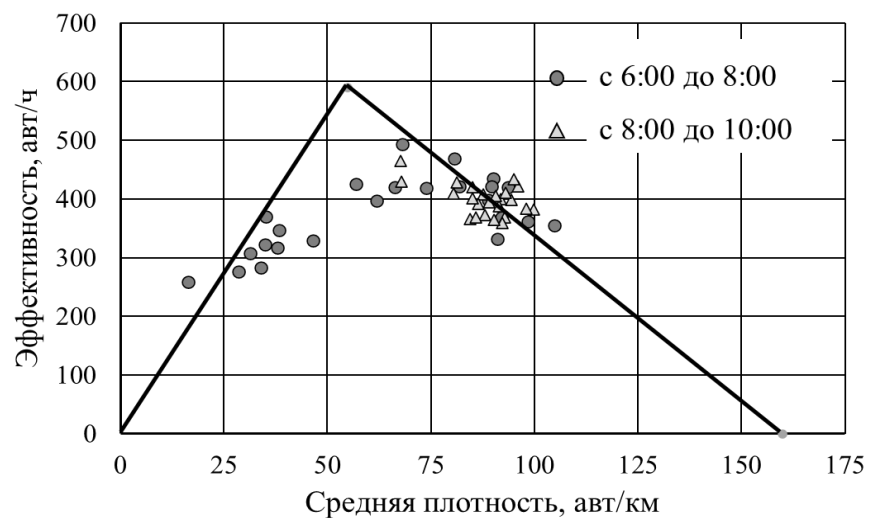


Рисунок 3.4 – Зависимости между эффективностью и средней плотностью на улично-дорожной сети

По разбросу значений в периоде времени с 6:00 до 8:00 сетевое состояние транспортного потока изменяется с превращением свободного и стабильного

условия в частичные заторы на участках сети. Сетевое состояние транспортного потока является свободным и стабильным до уровня накопления около 2000 авт и соответственно средней плотности около 40 авт/км. При дальнейшем увеличении параметра накопления и средней плотности улично-дорожная сеть работает на уровне пропускной способности, затем возникают заторы на различных участках сети.

Очевидно, что по разбросу треугольных отметок в периоде времени с 8:00 до 10:00 заторы на различных участках сети разрастаются, соответственно в диапазоне накопления от 3200 до 4900 автомобилей и средней плотности от 65 до 100 авт/км. На следующем этапе наблюдается неизбежная тенденция к блокировке больших участков и затору на всей сети.

Поэтому при управлении дорожным движением в городах необходимо ограничивать сетевое состояние транспортного потока с высоким уровнем накопления автомобилей в сети и применять соответствующие стратегии управления [31].

3.3. Анализ исследований о влияниях на форму макроскопической фундаментальной диаграммы транспортного потока при управлении дорожным движением

Изучение каких факторов, влияющих на выводную форму макроскопической фундаментальной диаграммы, является одним из основных направлений теоретических и экспериментальных исследований определения оптимального накопления автомобилей на улично-дорожной сети. В типичной макроскопической фундаментальной диаграмме максимальная производительность сети достигается при уровне данного оптимального накопления автомобилей. Теория оптимальной стратегии управления (The optimal control policy), предложенной С. Даганзо, именно основана на оптимальном накоплении автомобилей для регулирования транспортного потока на улично-дорожной сети [67]. Поэтому нужно постоянно

анализировать различные факторы, влияющие на выводную форму макроскопической фундаментальной диаграммы транспортного потока.

В работах Н. Геролнимиса и С. Даганзо в г. Йокогаме Японии, тем не менее использовались данные различных промежутков наблюдений от стационарных детекторов и информации пробных автомобилей такси. В результате полученная макроскопическая фундаментальная диаграмма была представлена постоянной кривой зависимости между интенсивностью и средней плотностью [71]. По данному выводу исследования матрицы корреспонденций (OD matrix estimation) не оказали значительного влияния на форму макроскопической фундаментальной диаграммы.

Первое экспериментальное подтверждение о исследовании макроскопической фундаментальной диаграммы было проведено С. Бюиссоном и С. Ладьем с использованием исходных данных от неоднородной структуры улично-дорожной сети в г. Тулузе Франции [59]. В ходе этих исследований не просто увеличился разброс значений параметров, также появилась петля гистерезиса на форме макроскопической фундаментальной диаграммы (Рис.3.5). По результатам данных исследований разные месторасположения детекторов и неоднородные структуры улично-дорожной сети возможно проводились к видимому влиянию на форму макроскопической фундаментальной диаграммы.

В работе Т. Курбона и Л. Леклерка предложились, что месторасположения детекторов должны быть однородным или нормальным распределением для определения макроскопической фундаментальной диаграммы на улично-дорожной сети при различных состояниях транспортного потока [64].

В отличие от других исследований макроскопическая фундаментальная диаграмма при заторовом состоянии транспортного потока была получена в работе Ю. Джи с использованием данных моделирования дорожного движения г. Амстердам Нидерландов (Рис.3.6) [87]. На основании этих исследований были сделаны выводы о том, что форма макроскопической фундаментальной диаграммы не только является свойством улично-дорожной сети и транспортного спроса, но и применяемых методов управления дорожным движением. Кроме того, можно

отметить, что резкое изменение транспортной нагрузки представляется важным фактором, влияющим на форму макроскопической фундаментальной диаграммы.

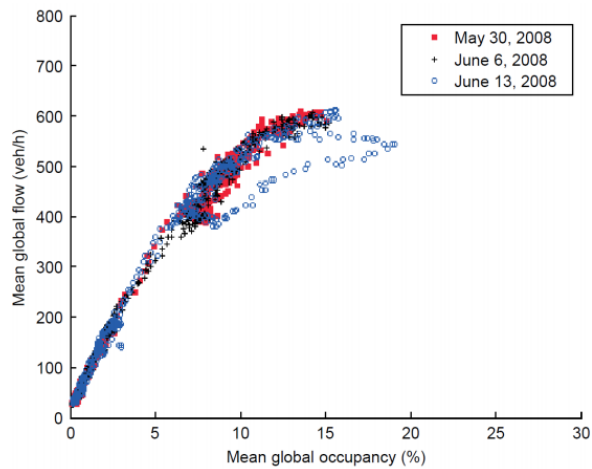


Рисунок 3.5 – Макроскопическая фундаментальная диаграмма на улично-дорожной сети в г. Тулузе Франции [59]

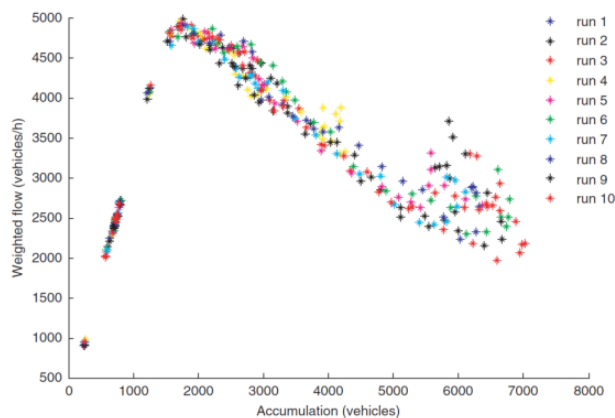


Рисунок 3.6 – Макроскопическая фундаментальная диаграмма с использованием данных моделирования дорожного движения г. Амстердам Нидерландов [87]

По настоящее время петля гистерезиса, представляющая замкнутое кольцо значений параметров, является важной необычной формой макроскопической фундаментальной диаграммы транспортного потока. В дальнейшем постоянно сопровождалось попытками разъяснить этого явления гистерезиса на форме макроскопической фундаментальной диаграммы. Основная форма петли гистерезиса приведена на рисунке 3.7.

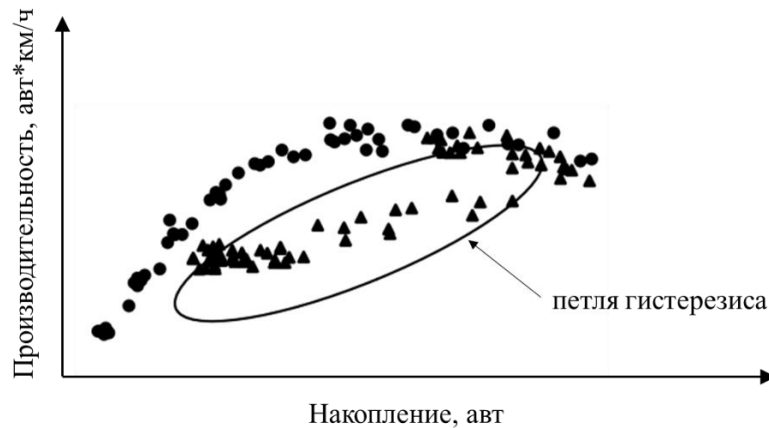


Рисунок 3.7 – Макроскопическая фундаментальная диаграмма с петлей гистерезиса в моделировании дорожного движения г. Гуанчжоу КНР [118]

В работе В. Гайя и С. Даганзо была показана неоднородная нагрузка и разброс значений параметров при заторовом состоянии транспортного потока на основе простой «двухкольцевой системы», соответствующей содержать несколько пересекающихся маршрутов и поворотов между ними [74]. В этой двухкольцевой системе явление гистерезиса заключается о том, что восстановление заторов более медленнее чем свободное дорожное движение. То есть, в процессе восстановления транспортного потока первоначальное низкое значение интенсивности приводит к петле гистерезиса при неоднородным распределении заторов на форме макроскопической фундаментальной диаграммы.

Затем в работе Н. Геролнимиса и Д. Сунь была получена макроскопическая фундаментальная диаграмма с многими петлями гистерезиса на основе данных скоростной магистрали [72]. Причина этого результата является следующими:

- разное состояние неоднородного распределения плотности;
- синхронное возникновение переходных периодов и снижение пропускной способности в перегрузке транспортного потока.

Первое предложение о том, что неоднородное распределение интенсивности сети приведёт к разбросу макроскопической фундаментальной диаграммы, были приведены в работах А. Мазлумяна [100]. В результате исследования о макроскопической фундаментальной диаграмме в сети скоростной магистрали

г.Миннеаполиса США показали, что разные транспортные состояния действительно повлияли на изменение петли гистерезиса.

В процессе управления дорожным движением изменение параметров светофорного регулирования постоянно является одной из определяющих факторов, влияющих на форму макроскопической фундаментальной диаграммы транспортного потока. Исследования о настройке сигнала светофора, влияющих на форму макроскопической фундаментальной диаграммы, первоначально были рассмотрены в работах С. Даганзо и Н. Геролнимиса с использованием вариационной теории (Variational Theory) для предположения данной диаграммы [16]. В рамках вариационной теории была приведена «стационарная резка (Stationary)» для определения максимального значения производительности сети на основе интенсивности самых регулируемых пересечений с настройками сигнала светофора (Рис.3.8).

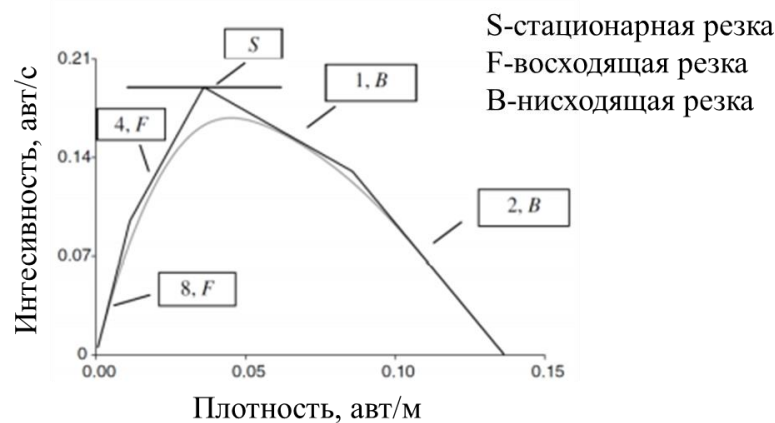


Рисунок 3.8 – Макроскопическая фундаментальная диаграмма с «стационарной резкой-S (Stationary-S)» в рамках вариационной теории [69]

Данный теоретический подход применялся Б. Бояджи и Н. Геролиминисом путем соединения различных циклов сигналов, смещений сигналов и длин улиц для определения влияния на форму макроскопической фундаментальной диаграммы [58]. Однако по результате этих исследований рекомендовано применение только на однородных участках идеализированной улично-дорожной сети.

Исследования Б. Бояджи и Н. Геролиминиса о влиянии методов и алгоритмов светофорного регулирования на форму макроскопической фундаментальной

диаграммы, были проведены Д. Лавалем с использованием модели клеточного автомата (Cellular Automaton model) [95]. В данных исследованиях выяснили, что существует оптимальный предел с соединением временного порядка и смещения сигналов, и «отрицательное» смещение может проводить к серьезному воздействию на форму макроскопической фундаментальной диаграммы.

Актуальные попытки были предприняты Д. Хелбингом для того, чтобы получить соотношение между плотностью транспортного потока и настройкой сигнала светофора при ненасыщенном и перенасыщенном состоянии улично-дорожной сети [80]. В результате исследований Д. Хелбинга заключались в том, что форма макроскопической фундаментальной диаграммы не только относится к средней плотности, и свяжется с распределением данной плотности, также с примененным вариантом сигнала светофора.

На основе модели стохастического клеточного автомата сравнение с макроскопическими фундаментальными диаграммами на сети магистрали, применяющей различные адаптивные сигнальные системы, было приведено в работах Л. Чжана [123]. По результатам этих исследований было обнаружено, что форма макроскопической фундаментальной диаграммы зависит от выбранного смещения сигналов.

3.4. Исследование влияния структуры улично-дорожной сети и настройки светофоров на форму макроскопической фундаментальной диаграммы транспортного потока

Главные направления исследований приводит к изучению теории оптимальной стратегии управления (The optimal control policy) о характеристиках транспортного потока на улично-дорожной сети. Например, резкое изменение транспортного спроса приведет к разбросу значений параметров макроскопической фундаментальной диаграммы. Для того, чтобы избавиться от замешательства исследований характеристик транспортного потока, исследовательские работы

провожены с точки зрения структур улично-дорожной сети и настроек сигнала светофора, влияющих на форму макроскопической фундаментальной диаграммы.

Влияние структуры улично-дорожной сети на форму макроскопической фундаментальной диаграммы

Для исследования влияния структуры улично-дорожной сети на форму макроскопической фундаментальной диаграммы должно принимать основное теоретическое предположение о том, что данные диаграммы имеют непосредственное отношение с геометрическими схемами сети и методами управления дорожным движением. Поэтому основной параметр макроскопической фундаментальной диаграммы – производительность (авт*км/ч) является свойством структуры улично-дорожной сети, а не только свойством интенсивности транспортного потока.

По формулам определения этих параметров макроскопическая фундаментальная диаграмма, соединяющаяся с производительностью и накоплением, зависит от структуры улично-дорожной сети и среднего времени поездки. Но среднее время поездки зависит от скорости и расстояние поездки. Поэтому структура улично-дорожной сети является определяющим фактором, влияющим на форму макроскопической фундаментальной диаграммы, при планировке высокоуровневой транспортной инфраструктуры, которая проводит к более быстрой скорости поездки и более коротким расстоянию путешествия.

В этой работе для исследования влияния реконструкции структуры улично-дорожной сети на форму макроскопической фундаментальной диаграммы приведены данные видеонаблюдения на примере фрагмента сети центральной части г. Цзинань (Рис.3.9). Общая длина улиц в этом части сети составляет 6.714 км, в том числе 11 пункт мониторинга дорожного движения. Зависимости между параметрами макроскопической фундаментальной диаграммы построены при конкретных условиях, которые последовательно выполняются следующими распространенными методами для реконструкции структуры улично-дорожной сети города:

-изменение длины улично-дорожной сети;

- увеличение пропускной способности участков сети;
- повышение скорости свободного движения.

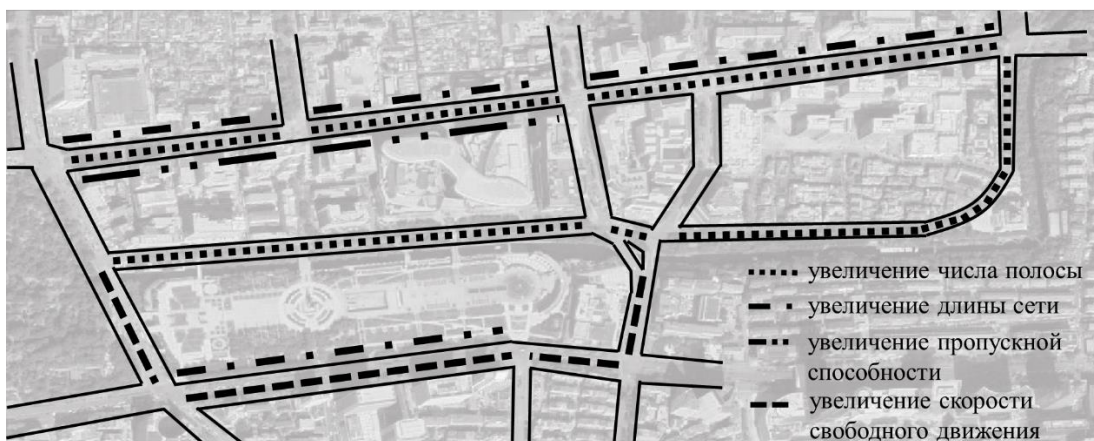


Рисунок 3.9 - Схема реконструкции рассматриваемой улично-дорожной сети центральной части г. Цзинань

Подробные варианты путём изменения структур рассматриваемой улично-дорожной сети показаны на таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Варианты для реконструкции структур улично-дорожной сети

Название	Описание изменения
Исходная сети	Общая длина сети составляет 6.714 км, скорость свободного движения – 50 км/ч. Число автомобильных полос, пропускная способность держит при исходным положении.
Вариант 1	Число автомобильных полос увеличивается до 3 полосы в нескольких участках сети, которые составляют 1.465 км, увеличивается до 2 полосы в участках, которые составляют 1.722 км. Другие условия держат при исходным положении.
Вариант 2	Общая длина сети изменяется 7.577 км. Другие условия держат при исходным положении.
Вариант 3	В нескольких участках сети принимается проект расширения автомобильной полосы и метод управления дорожного движения для повышения пропускной способности, сокращается время поездки автомобилей в пересечениях дорог. Другие условия держат при исходным положении.
Вариант 4	В нескольких участках сети повышается скорость свободного движения до 60 км/ч. Другие условия держат при исходным положении.

В результате экспериментов, прежде всего, получены зависимости между параметрами макроскопической фундаментальной диаграммы после

вышеизложенных вариантов для реконструкции структур улично-дорожной сети (Рис.3.10).

1.Добавление числа полосы

Для данного участка сети добавление числа автомобильной полосы проводят к уменьшению значения параметра эффективности и средней плотности при аналогичной транспортной обстановке. Максимальное значение параметра эффективности падает до 62.553 авт/ч при уровне средней плотности около 20 авт. По уравнению основных параметров эффективности и средней плотности с учётом автомобильной полосы (5) и (7) изменение целой зависимости между этими параметрами после реконструкции транспортной инфраструктуры показано на Рис. 3.10 (а). Соответственно, что этот метод реконструкции улично-дорожной сети не имеет влияние на значения параметров производительности и накопления.

2.Изменение длины улично-дорожной сети

В нескольких участках сети увеличение общей длины сети естественно проводят к повышению значения параметра производительности и накопления при аналогичной интенсивности транспортного потока. Максимальное значение параметра производительности повышается до 1372.591 авт*км/ч при уровне накопления автомобилей около 430 авт. При этой транспортной обстановке не показано большое изменение зависимости между эффективностью и средней плотностью. Изменение целой зависимости между производительностью и накоплением после увеличения длины участков улично-дорожной сети показано на Рис. 3.10 (б).

3.Увеличение пропускной способности участков улично-дорожной сети

Этот вариант реконструкции структуры улично-дорожной сети выполняется путём расширения автомобильной дороги и совершенствования методов управления транспортными потоками. В результате этих проектов наблюдается сокращение времени поездки при аналогичной транспортной обстановке.

Вследствие увеличения пропускной способности участков улично-дорожной сети более максимальное значение производительности появляется при уровне исходного накопления. Максимальное значение производительности достигает

около 1350 авт*км/ч сравнительно с исходными данными около 1170 авт*км/ч. Аналогично, что более максимальное значение эффективности появляется при уровне исходной средней плотности в данной макроскопической фундаментальной диаграммы. Максимальное значение эффективности достигает 95 авт/ч сравнительно с исходными данными 80 авт/ч. Видное изменение целой зависимости между производительностью и накоплением после увеличения пропускной способности участков улично-дорожной сети соответственно на Рис. 3.10 (в).

4.Повышение скорости свободного движения

Данный вариант приводит к увеличению средней скорости на улично-дорожной сети, и осуществляется влияние на пропускную способность сети. Для оценки этого влияния на макроскопическую фундаментальную диаграмму данные использовались при повышении скорости свободного движения с 50 км/ч до 60 км/ч в нескольких участках сети.

В итоге экспериментов значения эффективности очевидно повышается при состоянии пропускной способности сети. Максимальное значение параметра эффективности повышает до 85 авт/ч при уровне средней плотности 20 авт/км. Наоборот, максимальное значение параметра производительности не показано большое изменение. Однако вследствие транспортных перегрузок появляется более резкое падение значения параметров диаграммы при состоянии заторов на участках сети сравнительно с исходными данными. Изменения зависимости между этими параметрами при повышении скорости свободного движения улично-дорожной сети показаны на Рис. 3.10 (г).

По тенденции обновления макроскопической фундаментальной диаграммы после исполнения вышеизложенных методов для реконструкции структур улично-дорожной сети усовершенствуется ситуация транспортных нагрузок и управления дорожным движением.

Вследствие разных сочетаний параметров макроскопической фундаментальной диаграммы имеются разные функции для оценки транспортного потока на улично-дорожной сети. Поэтому необходимо определить свойство

данной рассматриваемой сети перед выборами их применения, чтобы избавиться от замешательства исследований характеристик транспортного потока.

В результате экспериментов проведем аналогию между повышением скорости свободного движения и увеличением пропускной способности участков улично-дорожной сети. Однако с точки зрения изменения их формы макроскопической фундаментальной диаграммы, в том числе положение максимального значения производительности и градиент диаграммы, являются разными методами реконструкции транспортной инфраструктуры.

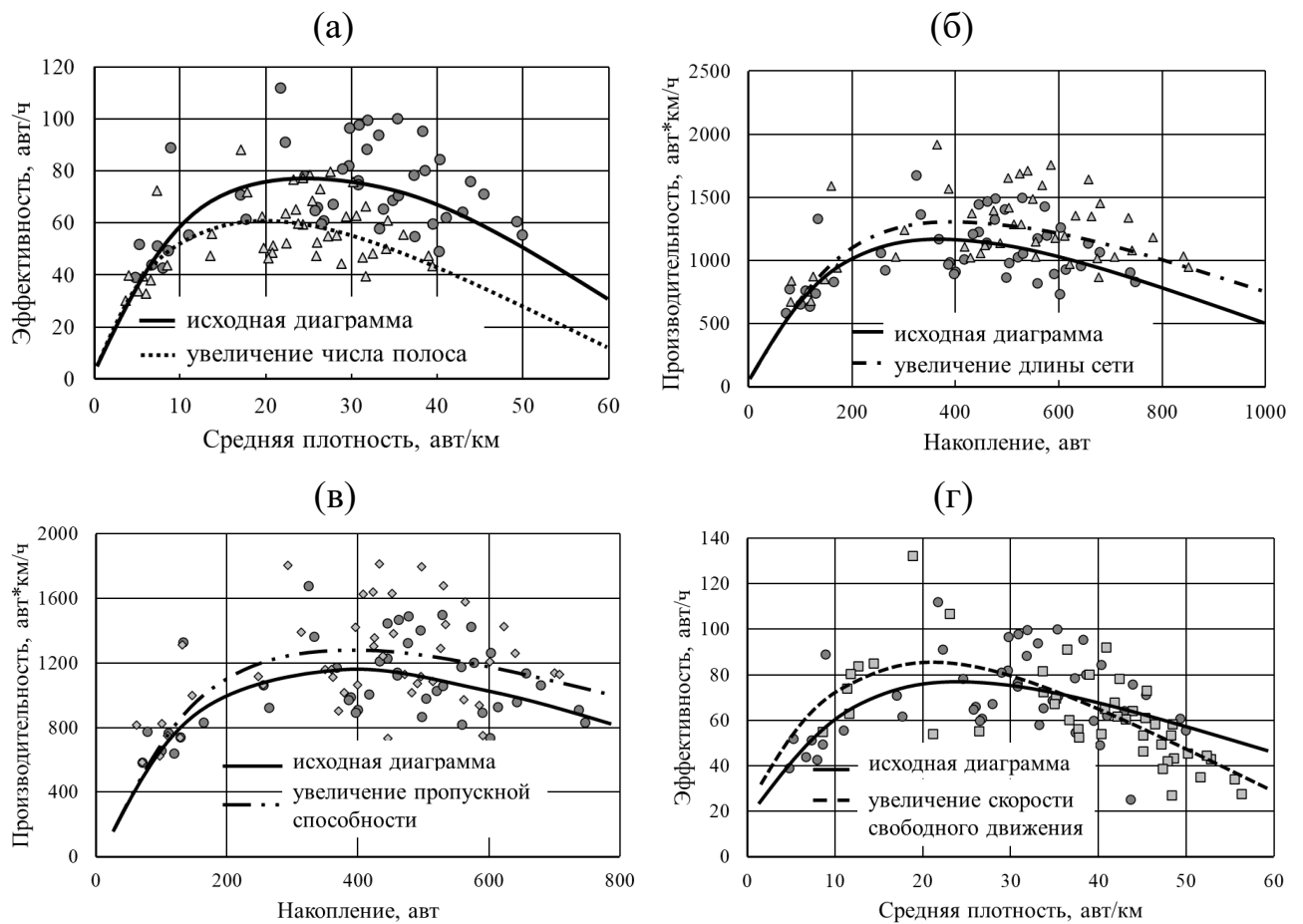


Рисунок 3.10 – Зависимости между параметрами при изменениях структуры улично-дорожной сети, характеризующими макроскопическую основную диаграмму: (а) увеличение числа полос, (б) увеличение длины сети, (в) увеличение пропускной способности, (г) увеличение скорости свободного движения.

Влияние настройки светофоров на форму макроскопической фундаментальной диаграммы

Изменение параметров светофорного регулирования и методов светофорного управления являются одними из самых важных факторов, влияющих на форму макроскопической фундаментальной диаграммы транспортного потока. По причине того, что оптимизация параметров светофорного регулирования оказывает непосредственное влияние на время задержки автомобилей на пересечениях дорог и распределение транспортного потока на улично-дорожной сети.

Однако, такая ситуация обычно проявляется в том, что при резком увеличении транспортного спроса происходит неравномерная загрузка улично-дорожной сети и оригинальная макроскопическая фундаментальная диаграмма формируется настройкой светофоров. Поэтому влияние параметров светофорного регулирования на форму макроскопической фундаментальной диаграммы более сложно прогнозируется различными моделями транспортного спроса.

Для исследования влияния на форму макроскопической фундаментальной диаграммы по-прежнему использовались данные системы видеонаблюдения на примере участка сети г. Цзинане.

Учет изменения настройки светофоров реализован путём *увеличения времени ожидания автомобилей на пересечении дорог*. Прежде всего, в результате моделирования получены зависимости между производительностью и накоплением, эффективностью и средней плотностью при увеличении времени ожидания автомобилей на пересечении дорог, показаны на рисунках 3.11.

Очевидно, что увеличение времени ожидания автомобилей приводит к снижению пропускной способности, и приведет к уменьшению средней скорости поездки улично-дорожной сети. Однако, максимальное значение накопления по-прежнему не изменяется при определённой плотности транспортного потока. Следовательно, влияние настройки светофоров на форму макроскопической фундаментальной диаграммы транспортного потока зависит от примененного сочетания времени ожидания автомобилей на всей сети.

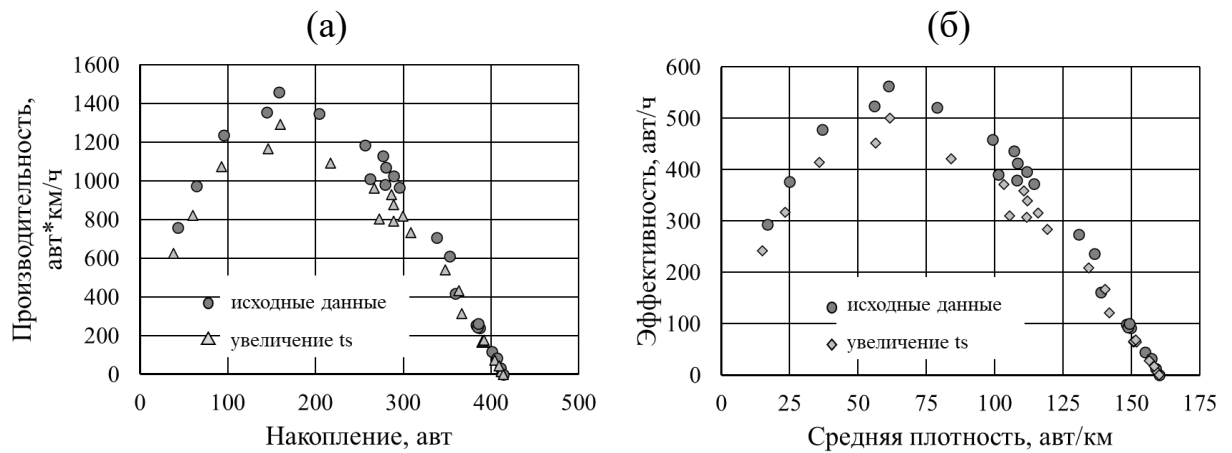


Рисунок 3.11 – Зависимость между параметрами макроскопической фундаментальной диаграммы при увеличении времени остановки, приведенное к пройденному пути: а) производительность и накопление; б) эффективность и средняя плотность

Кроме того, изменение настройки светофоров также включается в себя применение стратегии управления дорожным движением с целью *распределения интенсивности транспортного потока*. Вследствие применения такой стратегии управления дорожным движением отклонение плотности транспортного потока изменено на участках улично-дорожной сети. По основному определению макроскопической фундаментальной диаграммы более равномерная загрузка транспортного потока приведет к меньшему разбросу значений параметров сетевой диаграммы. Поскольку равномерное распределение интенсивности транспортного потока принято, максимальное значение производительности также повышается на улично-дорожной сети. Диаграммное изображение этих зависимостей показано на рисунке 3.12.

Из всего вышперечисленного, влияния настройки светофоров на форму макроскопической фундаментальной диаграммы трудно переходит к количественному выражению по причине того, что комплексные дорожное движение пересечений и их независимое действие на каждом участках улично-дорожной сети.

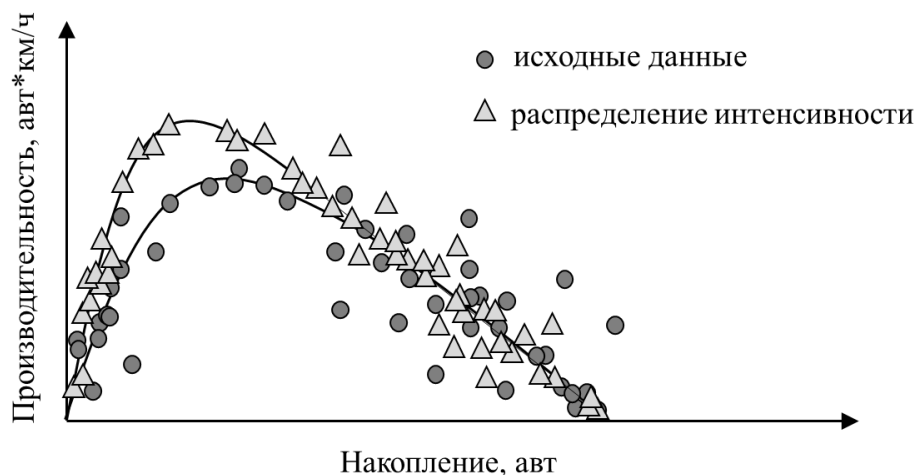


Рисунок 3.12 – Зависимость между производительностью и накоплением при применении стратегии управления дорожным движением с целью распределения интенсивности транспортного потока

Разные виды макроскопической фундаментальной диаграммы транспортного потока

Для оценки характеристик транспортных потоков, пропускной способности, уровней обслуживания на всей улично-дорожной сети обычно применяются разные виды макроскопической фундаментальной диаграммы, формирующей зависимости между этими параметрами – производительностью, накоплением, эффективностью и средней плотностью. Причина этих применений заключается в том, что действие реконструкции структуры улично-дорожной сети и управления дорожным движением принесёт к сложному изменению на параметры макроскопической фундаментальной диаграммы. Конкретные влияния реконструкции структуры улично-дорожной сети и управления дорожным движением на параметры макроскопической фундаментальной диаграммы приведены на таблице 3.4.

Несмотря в большинстве случаев мероприятия реконструкции структуры улично-дорожной сети и управления дорожным движением осуществляются с целью повышения пропускной способности, улучшения уровней обслуживания, обеспечения безопасности дорожного движения на улично-дорожной сети. Однако после принятия этих мероприятий иногда появились неопределенные изменения,

даже отрицательные влияния на параметры макроскопической фундаментальной диаграммы, и приводят к получению недостоверных результатов для оценки характеристик транспортных потоков на улично-дорожной сети. Поэтому необходимо предпринять попытки для того, чтобы построить разные сочетания зависимости между параметрами макроскопической фундаментальной диаграммы.

Таблица 3.4 – Влияние методы реконструкции структуры улично-дорожной сети и управления дорожным движением на параметры макроскопической фундаментальной диаграммы

Методы \ Параметры	Производительность (авт*км/ч)	Накопление (авт)	Эффективность (авт/ч)	Средняя плотность (авт/км)
Добавление числа автомобильной полосы	-	-	+, отрицательно	+, отрицательно
Добавление длины участков сети	+	+	-	-
Расширение автомобильной полосы	+	+	+	+
Повышение скорости свободного движения	+	+	+	+
увеличение времени ожидания автомобилей на пересечении дорог	+, отрицательно	+, отрицательно	+, отрицательно	+, отрицательно
распределение интенсивности транспортного потока	+	+	+	+

Макроскопическая фундаментальная диаграмма для оценки характеристик транспортных потоков на улично-дорожной сети можно представляется следующими видами:

- *Зависимость между эффективностью и средней плотностью (E-K)* является наиболее распространенным видом применения макроскопической фундаментальной диаграммы. Среди этой зависимости качество распоряжения интенсивности транспортного потока выражается как инструмент сравнения с другими стратегиями управления дорожным движением.

- *Зависимость между производительностью и накоплением (P-A)* относится к дальности пробега и числу автомобилей на улично-дорожной сети, но не выражается состояние интенсивности транспортного потока.

- *Зависимость между эффективностью и накоплением (E-A)* представляется обобщенным сочетанием в состоянии интенсивности транспортного потока и складирования автомобилей.

Более того, зависимость между средней скоростью движения и накоплением в сети иногда участвует как дополнительной диаграммой для оценки состоянии транспортного потока.

Вывод по главе 3

1. Ретроспективно рассмотрены исследования о теории макроскопической фундаментальной диаграммы транспортного потока и их развития для теоретической и практической основы применения управления дорожным движением на улично-дорожной сети города.

2. В рассматриваемых зонах построена макроскопическая фундаментальная диаграмма транспортного потока, имеющая динамическими характеристиками во времени: по разбросу значений в периоде времени с 6:00 до 8:00 сетевое состояние транспортного потока изменяется с превращением свободного и стабильного условия в частичные заторы на участках сети, состояние транспортного потока является свободным и стабильным до уровня накопления около 2000 авт и соответственно средней плотности около 40 авт/км; по разбросу треугольных отметок в периоде времени с 8:00 до 10:00 заторы на различных участках сети разрастаются, соответственно в диапазоне накопления от 3200 до 4900 автомобилей и средней плотности от 65 до 100 авт/км.

3. Анализированы исследования о влияниях на форму макроскопической фундаментальной диаграммы транспортного потока при управления дорожным движением. Обобщены результаты этих исследований и сложены следующие факты влияния на форму макроскопической фундаментальной диаграммы транспортного потока: топологическая структура улично-дорожной сети и настройка сигнала светофора. Показаны функция и значение разных видов макроскопической фундаментальной диаграммы, содержащей следующие сочетания зависимости между параметрами: эффективностью и средней плотностью (E-K), производительностью и накоплением (P-A), эффективностью и накоплением (E-A).

Глава 4.

Оптимизация дорожного движения на основе макроскопической фундаментальной диаграммы транспортного потока

4.1. Построение кусочной двухзональной системы на основе макроскопической фундаментальной диаграммы транспортного потока

Теория оптимальной стратегии управления дорожным движением на основе макроскопической основной диаграммы предложена в работе С. Даганзо для заторовых ситуаций на улично-дорожной сети города [67]. Основным принципом этой теории является применение методов управления дорожным движением на основе нахождения оптимального значения накопления автомобилей для обеспечения максимального значения параметров макроскопической основной диаграммы транспортного потока.

Однако практика управления дорожным движением показывает, что оптимальная стратегия управления дорожным движением не может быть реализована в целом для городской транспортной системы [6, 88, 89]. Ввиду неравномерности загрузки улично-дорожной сети в разных зонах, различных топологических характеристиках сети, найденные решения являются обобщенными. На самом деле, с учетом динамической характеристики макроскопической основной диаграммы возможно применять методы управления дорожным движением на многозональном уровне для связанных зон улично-дорожной сети с различными стратегиями управления для этих зон.

Оптимизации дорожного движения с учетом особенностей двух или нескольких городских районов является типичной темой при динамической управлении транспортными потоками. Для исследования этой темы в дальнейшем работе приведена конкретная обстановка центральной части улично-дорожной сети г. Цзинань (КНР) с полученными данными и макроскопическими основными диаграммами [33, 34]. Для сформирования стратегии управления дорожным

движением на основе макроскопической основной диаграммы использовалась следующая улично-дорожная сеть города, разделенная на две зоны – протяженность дорог первой зоны составляет 16,11 км, во второй – 10,34 км (Рис 4.1).

Второй район может называться центральной зоной. В данном районе сосредоточены крупные торговые комплексы, правительственные учреждения, культурные достопримечательности. Поэтому по анализу категории источников транспортных данных в районе 2 производится большинство эндогенного потока когда пункт отправления и пункт назначения находится в одном районе. В районе 1 производится большинство экзогенного потока, который проходит из района 1 в район 2, в то же время район 2 является зоной притяжения в процессе дорожного движения.

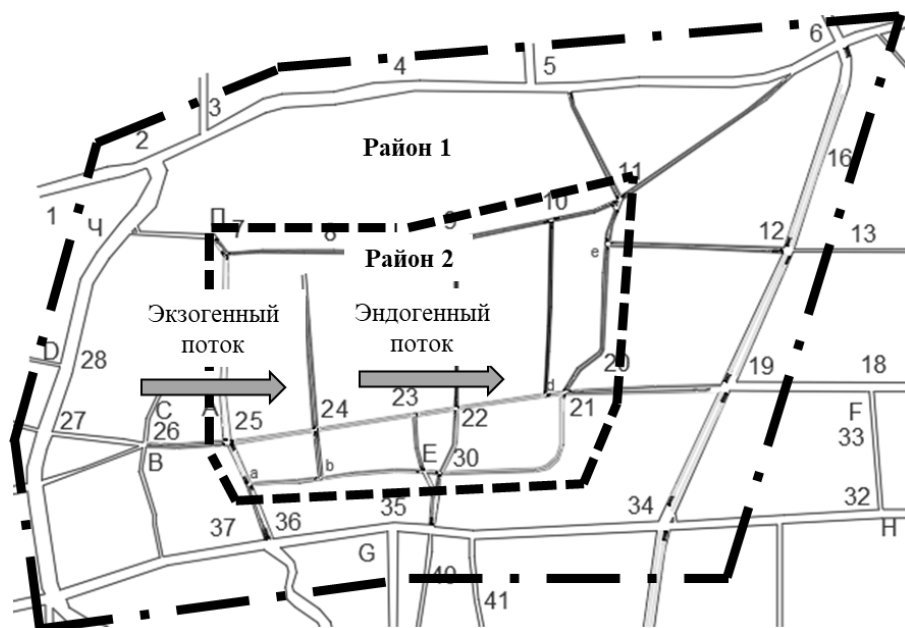


Рисунок 4.1 – Фрагмент улично-дорожной сети центральной части г.

Цзинань для исследования оптимизации дорожного движения в два-районной системе с эндогенными и экзогенными потоками

Для отдельного исследования характеристик транспортного потока собственные макроскопические фундаментальные диаграммы обоих районов с использованием данных системы мониторинга дорожного движения сформированы и показаны в следующих видах (Рис 4.2). Очевидно, сравнительно

с районом 1 по разному разбросу полученной диаграммы транспортного потока район 2 может иметь более частое изменение нагрузки и более сложная структура улично-дорожной сети.

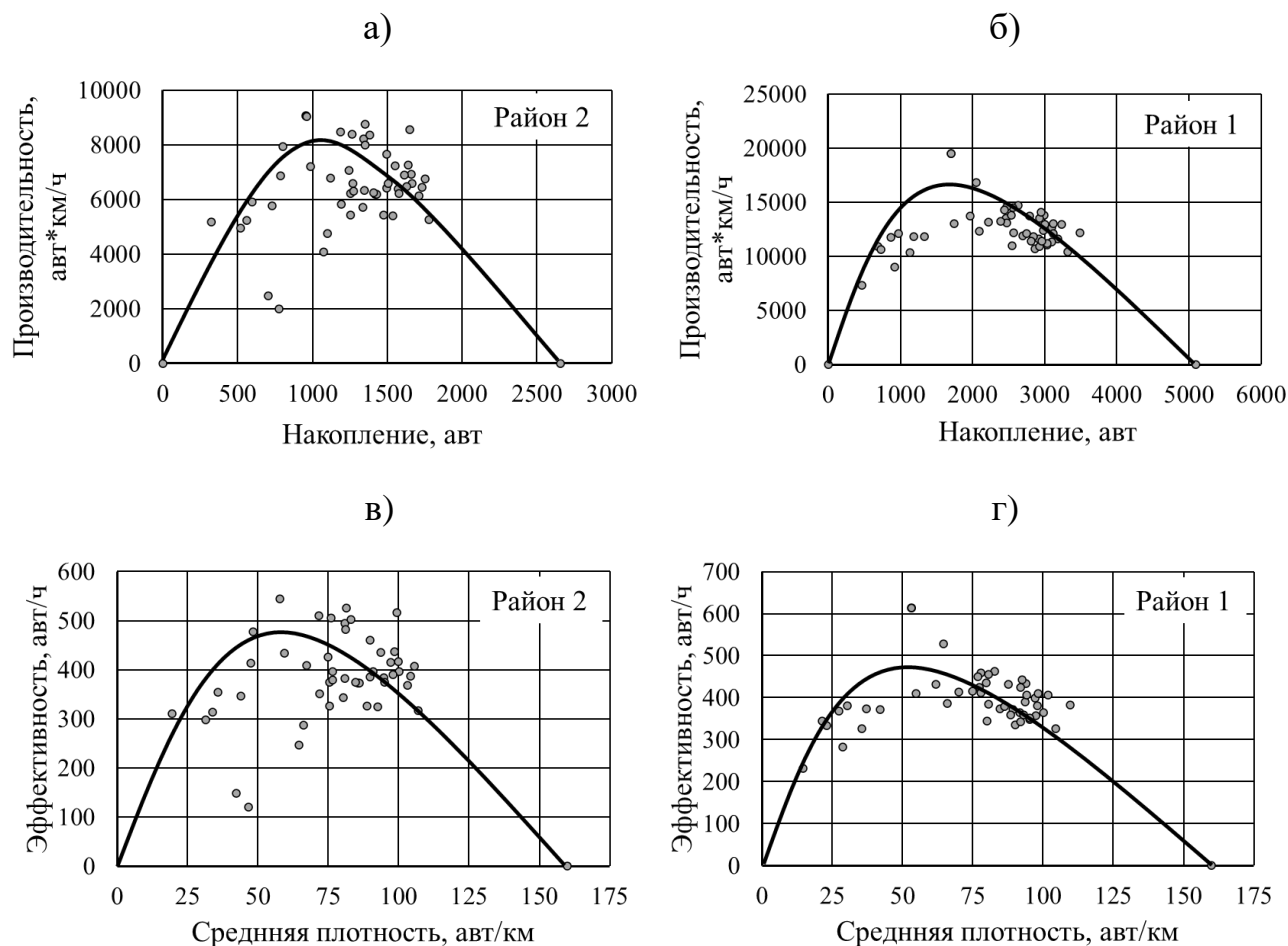


Рисунок 4.2 – Макроскопическая фундаментальная диаграмма транспортного потока для районов, выделенных на Рисунок 4.1

С целью координации управления дорожным движением в обоих районах построена кусочная двухзональная система на основе макроскопической основной диаграммы является активным методом в процессе анализа состояния транспортного потока. Основная схема этой кусочной системы на основе собственных макроскопических основных диаграмм транспортного потока показана на рисунке 4.3.

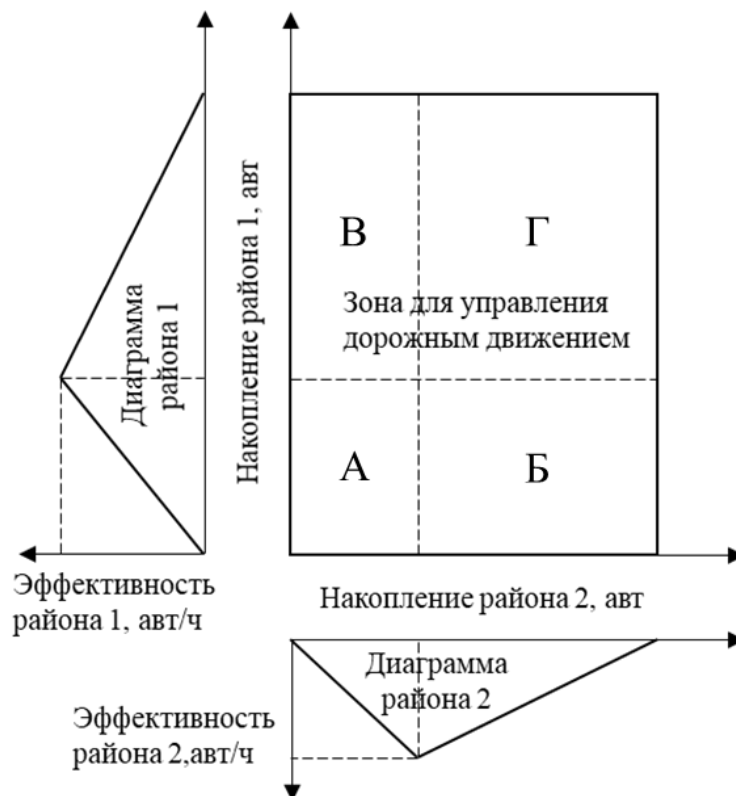


Рисунок 4.3 – Кусочная двухзональная система на основе макроскопической основной диаграммы транспортного потока

Центральная зона для управления дорожным движением сформируется собственной макроскопической основной диаграммой обоих районов, имеющей треугольный сжатый вид с характеристическими значениями – максимальное значение параметров производительности или эффективности, накопления.

По координатам максимальное значение параметров обоих районов центральная зона разграничивается на четыре части: часть А, Б, В, и Г. Каждая из этих частей представляется разным состоянием транспортного потока в обоих районах. Часть А соответствует свободным и стабильным условиям до пропускной способности сети в обоих районах. Часть Б соответствует заторовым состоянием на участках сети с пропускной способности сети до затора целой сети в горизонтальной координате (район 2), соответствует свободным и стабильным условиям до пропускной способности сети в вертикальной координате (район 1). Часть В, наоборот, соответствует заторовым состоянием на участках сети с пропускной способности сети до затора целой сети в вертикальной координате

(район 1), соответствует свободным и стабильным условиям до пропускной способности сети в горизонтальной координате (район 2). Часть Г соответствует заторовым состоянием на целой сети в обоих районах, в то же время параметр накопления автомобилей достигает высокого уровня, который трудно выдержать на данной улично-дорожной сети.

4.2. Анализ состояния транспортного потока при теории оптимизации дорожного движения

Построение двухзональной системы на основе макроскопической основной диаграммы является фундаментом исследования для оценки состояния транспортного потока между двумя районам. В дальнейшем в работе теория оптимизации дорожного движения, предложенная Д. Хаддадом и Н. Геролнимисом, приведена для анализа состояния транспортного потока в определённом времени мониторинга на два-районном системе.

Прежде всего, динамика системы С. Даганза в параметрах макроскопической фундаментальной диаграммы транспортного потока описывается в предположении, что при изменении уровня насыщения автомобилями определенной зоны изменяются и другие характеристики транспортного потока [67]:

$$\frac{dn(t)}{dt} = f(t) - O(n(t)) \quad (4.1)$$

где

n – количество автомобилей, находящихся в рассматриваемой зоне;

f – входящий поток в зону;

O – выходящий поток в зону;

t – время поездки.

Для обеспечения максимальной эффективности центрального района целевая функция оптимизация дорожного движения проектируется и описывается на следующем формуле [81]:

$$J = \max \int_0^{t_f} G_2(n_2(t)) dt \quad (4.2)$$

При непрерывном условии формулы (4.1) в определённом времени мониторинга (с времени начала поездки 0 до времени конца поездки t_f) дифференциальные уравнения динамики системы о изменении накопления макроскопической фундаментальной диаграммы транспортного потока описываются следующими уравнениями:

$$\frac{dn_1(t)}{dt} = q_1 - G_1(n_1(t)) \cdot u(t) \quad (4.3)$$

$$\frac{dn_2(t)}{dt} = q_2 + G_1(n_1(t)) \cdot u(t) - G_2(n_2(t)) \quad (4.4)$$

$$n_1(0) = n_{1,0}; \quad n_2(0) = n_{2,0} \quad (4.5)$$

$$n_1(t_f) = n_{1,f}; \quad n_2(t_f) = n_{2,f} \quad (4.6)$$

Для удобства исследования оптимизация дорожного движения предел управляемой пороговой величины пограничного контроля определился между цифрой 0 и 1, то есть максимальное значение пограничного контроля не превышает цифру 1, минимальное значение пограничного контроля не ниже цифру 0.

$$0 < u_{\min} \leq u(t) \leq u_{\max} < 1 \quad (4.7)$$

где

J – целевая функция теории оптимизации дорожного движения;

n_i – количество автомобилей, находящихся в районе i ($i=1,2$), авт;

G_i – входящий / выходящий транспортный потока района i ($i=1,2$), авт/ч;

q_i – эндогенный / экзогенный транспортный потока района i ($i=1,2$), авт/ч;

t_f – время движения в конце мониторинга;

u – пограничный контроль для входящего потока между двумя районам;

В рамке построенной два-районной районы аналитические решения треугольного сжатого вида макроскопической фундаментальной диаграммы

транспортного потока описывается кусочными уравнениями при разных пределах значения накопления автомобилей.

При пределе значения накопления автомобилей $0 \leq n_i(t) \leq n_{nc,i}$ используется следующее уравнение для описания аналитического решения макроскопической фундаментальной диаграммы:

$$G_i(n_i(t)) = \frac{K_{nc,i}}{n_{nc,i}} \cdot n_i(t) \quad (4.8)$$

При пределе значения накопления автомобилей $n_{nc,i} \leq n_i(t) \leq n_{затор,i}$ используется следующее уравнение для описания аналитического решения макроскопической фундаментальной диаграммы:

$$G_i(n_i(t)) = \frac{-K_{nc,i}}{n_{затор,i} - n_{nc,i}} \cdot n_i(t) + \frac{K_{nc,i} \cdot n_{затор,i}}{n_{затор,i} - n_{nc,i}} \quad (4.9)$$

где

$K_{nc,i}$ – максимальное значение эффективности при пропускной способности в районе i ($i=1,2$), авт/ч;

$n_{nc,i}$ – значение накопления автомобилей при пропускной способности в районе i ($i=1,2$), авт;

$n_{затор,i}$ – максимальное значение накопления при заторном состоянии в районе i ($i=1,2$), авт.

Таким образом, выводные аналитические дифференциальные уравнения, описывающие кривую зависимости между накоплениями автомобилей обоих районов, получены для следующих разных частях кусочной двухзональной системы:

1. для части А двухзональной системы:

- для района 1:

$$\frac{dn_1(t)}{dt} = q_1 - \left(\frac{K_{nc,1}}{n_{nc,1}} \cdot n_1(t) \right) \cdot u(t) \quad (4.10)$$

- для района 2:

$$\frac{dn_2(t)}{dt} = q_2 + \left(\frac{K_{nc,1}}{n_{nc,1}} \cdot n_1(t) \right) \cdot u(t) - \left(\frac{K_{nc,2}}{n_{nc,2}} \cdot n_2(t) \right) \quad (4.11)$$

2. для части Б двухзональной системы:

- для района 1:

$$\frac{dn_1(t)}{dt} = q_1 - \left(\frac{K_{nc,1}}{n_{nc,1}} \cdot n_1(t) \right) \cdot u(t) \quad (4.12)$$

- для района 2:

$$\begin{aligned} \frac{dn_2(t)}{dt} = q_2 + \left(\frac{K_{nc,1}}{n_{nc,1}} \cdot n_1(t) \right) \cdot u(t) \\ - \left(\frac{-K_{nc,2}}{n_{затор,2} - n_{nc,2}} \cdot n_2(t) + \frac{K_{nc,2} \cdot n_{затор,2}}{n_{затор,2} - n_{nc,2}} \right) \end{aligned} \quad (4.13)$$

3. для части В двухзональной системы:

- для района 1:

$$\frac{dn_1(t)}{dt} = q_1 - \left(\frac{-K_{nc,1}}{n_{затор,1} - n_{nc,1}} \cdot n_1(t) + \frac{K_{nc,1} \cdot n_{затор,1}}{n_{затор,1} - n_{nc,1}} \right) \cdot u(t) \quad (4.14)$$

- для района 2:

$$\begin{aligned} \frac{dn_2(t)}{dt} = q_2 + \left(\frac{-K_{nc,1}}{n_{затор,1} - n_{nc,1}} \cdot n_1(t) + \frac{K_{nc,1} \cdot n_{затор,1}}{n_{затор,1} - n_{nc,1}} \right) \cdot u(t) \\ - \left(\frac{K_{nc,2}}{n_{nc,2}} \cdot n_2(t) \right) \end{aligned} \quad (4.15)$$

4. для части Г двухзональной системы:

- для района 1:

$$\frac{dn_1(t)}{dt} = q_1 - \left(\frac{-K_{nc,1}}{n_{затор,1} - n_{nc,1}} \cdot n_1(t) + \frac{K_{nc,1} \cdot n_{затор,1}}{n_{затор,1} - n_{nc,1}} \right) \cdot u(t) \quad (4.16)$$

- для района 2:

$$\frac{dn_2(t)}{dt} = q_2 + \left(\frac{-K_{nc,1}}{n_{затоп,1} - n_{nc,1}} \cdot n_1(t) + \frac{K_{nc,1} \cdot n_{затоп,1}}{n_{затоп,1} - n_{nc,1}} \right) \cdot u(t) - \left(\frac{-K_{nc,2}}{n_{затоп,2} - n_{nc,2}} \cdot n_2(t) + \frac{K_{nc,2} \cdot n_{затоп,2}}{n_{затоп,2} - n_{nc,2}} \right) \quad (4.17)$$

Можем отметить, что существует особое состояние между эндогенными и экзогенными транспортными потоками в рассматриваемом районе – позволяет уравнение выполняться $\frac{dn_i(t)}{dt} = 0, (i = 1, 2)$. Это особое состояние, объясняющее достигать некоторый баланс между входящими и выходящими потоками, проводит к точкам равновесия путём аналитического решения дифференциальных уравнений для разных частей двухзональной системы. Координаты точек равновесия описываются следующими уравнениями:

$$(n_{pa,2}, n_{pa,1})_A = \left(\frac{(q_1 + q_2) \cdot n_{nc,2}}{K_{nc,2}}, \frac{q_1 \cdot n_{nc,1}}{K_{nc,1} \cdot u} \right) \quad (4.18)$$

$$(n_{pa,2}, n_{pa,1})_B = \left(n_{затоп,2} - \frac{(n_{затоп,2} - n_{nc,2}) \cdot (q_1 + q_2)}{K_{nc,2}}, \frac{q_1 \cdot n_{nc,1}}{K_{nc,1} \cdot u} \right) \quad (4.19)$$

$$(n_{pa,2}, n_{pa,1})_B = \left(\frac{(q_1 + q_2) \cdot n_{nc,2}}{K_{nc,2}}, n_{затоп,1} - \frac{q_1 \cdot (n_{затоп,1} - n_{nc,1})}{K_{nc,1} \cdot u} \right) \quad (4.20)$$

$$(n_{pa,2}, n_{pa,1})_Г = \left(n_{затоп,2} - \frac{(n_{затоп,2} - n_{nc,2}) \cdot (q_1 + q_2)}{K_{nc,2}}, n_{затоп,1} - \frac{q_1 \cdot (n_{затоп,1} - n_{nc,1})}{K_{nc,1} \cdot u} \right) \quad (4.21)$$

где

$n_{pa,i}$ – точка равновесия в районе i ($i=1,2$).

На основе вышеизложенных аналитических уравнений их координаты получено необходимое и достаточное условие точек равновесия, удовлетворяющих всем требованиям предела значения накопления автомобилей ($0 \leq n_i(t) \leq n_{nc,i}$ или

$n_{nc,i} \leq n_i(t) \leq n_{затоп,i}$, $i=1,2$), при треугольном сжатом виде макроскопической фундаментальной диаграммы:

$$q_1 + q_2 < K_{nc,2} \quad (4.22)$$

$$q_1 < K_{nc,1} \cdot u \quad (4.23)$$

Для исследования свойства точки равновесия в каждой части двухзональной системы при особенных значениях $n_1 = n_{pa,1}$ и $n_2 = n_{pa,2}$ приведена матрица Якоби на следующего вида:

$$M = \begin{bmatrix} \frac{\partial(q_1 - G_1(n_1(t)) \cdot u(t))}{\partial n_1}, & \frac{\partial(q_1 - G_1(n_1(t)) \cdot u(t))}{\partial n_2} \\ \frac{\partial(q_2 + G_1(n_1(t)) \cdot u(t) - G_2(n_2(t)))}{\partial n_1}, & \frac{\partial(q_2 + G_1(n_1(t)) \cdot u(t) - G_2(n_2(t)))}{\partial n_2} \end{bmatrix} \quad (4.24)$$

По результатам решений приведенных дифференциальных уравнений в частных производных матрицы Якоби в каждой части двухзональной системы при значениях точки равновесия показаны в следующем виде:

$$M_A = \begin{bmatrix} -\frac{K_{nc,1} \cdot u}{n_{nc,1}} & 0 \\ \frac{K_{nc,1} \cdot u}{n_{nc,1}} & -\frac{K_{nc,2}}{n_{nc,2}} \end{bmatrix} \quad (4.25)$$

$$M_B = \begin{bmatrix} -\frac{K_{nc,1} \cdot u}{n_{nc,1}} & 0 \\ \frac{K_{nc,1} \cdot u}{n_{nc,1}} & \frac{K_{nc,2}}{n_{затоп,2} - n_{nc,2}} \end{bmatrix} \quad (4.26)$$

$$M_B = \begin{bmatrix} \frac{K_{nc,1}}{n_{затоп,1} - n_{nc,1}} \cdot u & 0 \\ -\frac{K_{nc,1}}{n_{затоп,1} - n_{nc,1}} \cdot u & -\frac{K_{nc,2}}{n_{nc,2}} \end{bmatrix} \quad (4.27)$$

$$M_{\Gamma} = \begin{bmatrix} \frac{K_{nc,1}}{n_{затор,1} - n_{nc,1}} \cdot u & 0 \\ -\frac{K_{nc,1}}{n_{затор,1} - n_{nc,1}} \cdot u & \frac{K_{nc,2}}{n_{затор,2} - n_{nc,2}} \end{bmatrix} \quad (4.28)$$

Ориентируясь на работы Х. Халил, С. Састри, Д. Хаддад и Н. Геролнимис о матрицах Якоби при анализах собственных значениях сделаны следующие выводы для каждой частей двухзональной системы [81, 90, 108]:

- Вследствие отрицательных значений диагональных элементов матрицы $-\frac{K_{nc,1}}{n_{nc,1}} \cdot u$ и $-\frac{K_{nc,2}}{n_{nc,2}}$, точка равновесия части А является стабильной точкой.

- Вследствие положительных значений диагональных элементов матрицы $\frac{K_{nc,1}}{n_{затор,1} - n_{nc,1}} \cdot u$ и $\frac{K_{nc,2}}{n_{затор,2} - n_{nc,2}}$, точка равновесия части Г является нестабильной точкой.

- Вследствие того, что диагональные элементы матрицы имеют положительные и отрицательные значения, точки равновесия части Б, В являются нестабильными седловыми точками.

Для конкретного анализа состояния транспортного потока в полученной двухзональной системе улично-дорожной сети центральной части г. Цзинань моделирование осуществлялось с использованием математически-моделирующего комплекса MATLAB 2019a на основе этих выводных дифференциальных аналитических уравнений. Точки начального состояния накопления автомобилей являются входными координатами соответственных аналитических дифференциальных уравнений по данным мониторинга параметров дорожного движения.

В результате моделирования, прежде всего, получены зависимости между накоплениями автомобилей обоих районов при разных параметрах для управления дорожным движением, приведены на рисунке 4.4. Входные данные различных параметрах показаны на таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Входные данные различных параметрах для моделирования аналитического решения дифференциальных уравнений при разных частях двухзональной системы

Основные информации макроскопической фундаментальной диаграммы		
Район 1	$K_{nc,1} = 0.171$ авт/с; $n_{nc,1} = 1700$ авт; $n_{затоп,1} = 5090$ авт;	
Район 2	$K_{nc,2} = 0.151$ авт/с; $n_{nc,2} = 960$ авт; $n_{затоп,2} = 2657$ авт;	
Входные данные для моделирования		
Параметры	Моделирование а	Моделирование б
Экзогенный поток q_1	0.05 авт/с	0.05 авт/с
Эндогенный потока q_2	0.06 авт/с	0.06 авт/с
Пограничный контроль u	0.4	0.8

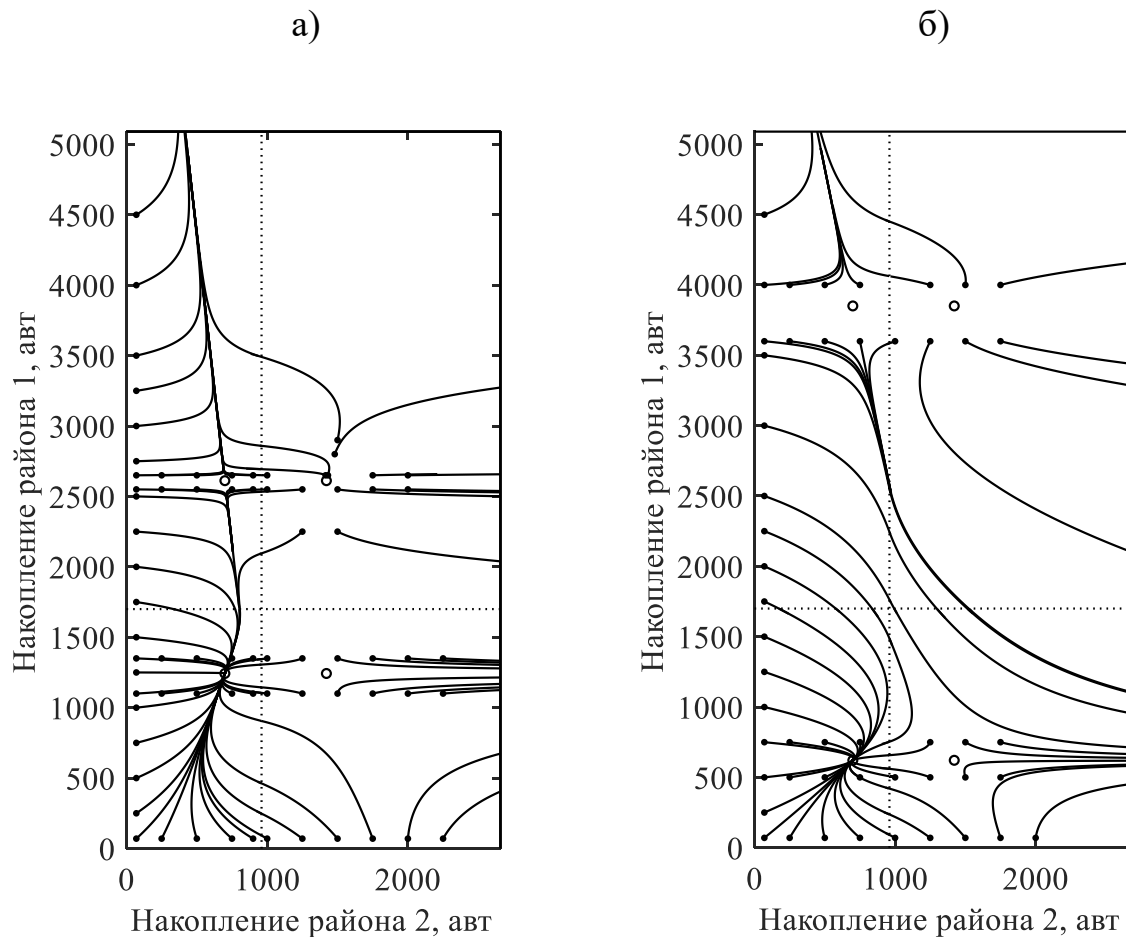


Рисунок 4.4 – Кривые зависимости между накоплениями обоих районов при разных параметрах для управления дорожным движением в определённом времени мониторинга (с 0 до t_f): а) пограничный контроль $u = 0.4$; б) пограничный контроль $u = 0.8$

Тенденция изменения состояния транспортного потока отражается кривыми зависимости между накоплением автомобилей обоих районов при разных значениях пограничного контроля для входящего потока между двумя районам.

Характерно, что кривые изменения накопления автомобилей в обоих районах при некоторых зонах стремятся к стабильной точке равновесия района А в определённом времени мониторинга, однако другие кривые зависимости между накоплениями при некоторых зонах отдаляются от неустойчивой седловой точек равновесия района Б, В и неустойчивой точки равновесия района Г на двухзональной системе. Это приводит к распространению дальнейшего исследования о притягательных зонах и стабильных зонах с использованием этих данных.

4.3. Построение зон притяжения и стабильных зон в кусочной двухзональной системе

Динамика системы при обработке входящего и выходящего потока в рассматриваемой зоне отображается кривой зависимости между накоплением автомобилей обоих районов, стремящейся к стабильной точке равновесия в определённом временном отрезке (с времени начала поездки 0 до времени конца поездки t_f), и может быть стабильной траекторией в двухзональной системе.

Зона притяжения обоих районов формируется совокупностью всех стабильных траекторий с использованием существующих данных в двухзональной системе. Вследствие собственной характеристики улично-дорожной сети (её структуры и метода управления дорожным движением) состояние транспортного потока для этих стабильных траекторий приближается к сбалансированному положению между входящими и выходящими потоками, которые находятся в зоне притяжения.

Наоборот, под динамикой системы при обработке входящего и выходящего потока в рассматриваемой зоне кривая зависимости между накоплениями автомобилей обоих районов, избегающая от любой точки равновесия, является

нестабильной траекторией в двухзональной системе. Совокупностью всех нестабильных траекторий формируется непритягательная зона обоих районов в двухзональной системе.

Зона притяжения обоих районов в двухзональной системе описывается в предположении, что при неизменных значениях пограничного контроля показываются разные типы зоны притяжения (Рис.4.5).

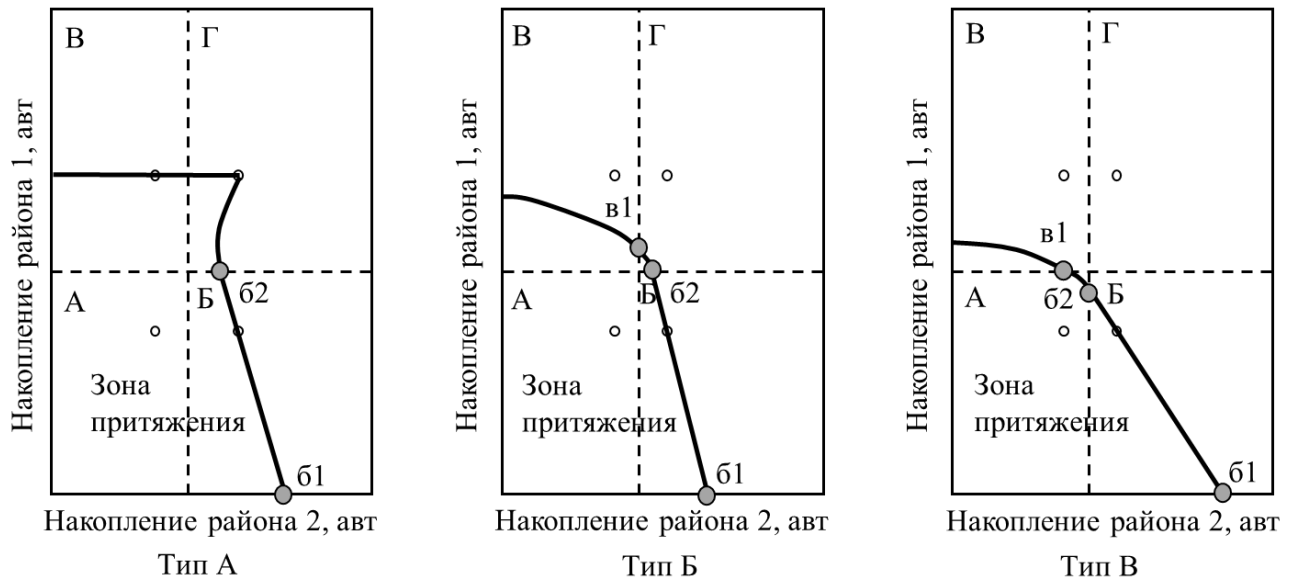


Рисунок 4.5 – Кусочная двухзональная система на основе макроскопической основной диаграммы транспортного потока

Очевидно, по видам данных кривых тип зоны притяжения описывается прямой линией, которая находится в части Б двухзональной системы. По анализу местоположения точки пересечения между прямой линией и пограничной линией частей двухзональной системы можно определить тип зоны притяжения. С этой точки зрения получены методы для определения типов зоны притяжения и расчёта пограничных кусочных линий.

Для типа А зоны притяжения

Особенности типа А зоны притяжения определяется путём нахождения точки пересечения между расчётной прямой линией и пограничной линией части Б (точка б2), точки равновесия части Г. Аналитическое уравнение прямой линии, проходящей через точки б1 и точки б2, получено приведением характеристических

значений параметров макроскопической фундаментальной диаграммы транспортного потока. Для получения аналитического уравнения прямой линии вектор характеристических значений приведен на следующем:

$$\left(n_{2, \text{бтunA}}, n_{1, \text{бтunA}} \right) = \left(1, \frac{-K_{nc,2} \cdot n_{nc,1}}{K_{nc,1} \cdot u \cdot (n_{затop,2} - n_{nc,2})} - 1 \right) \quad (4.29)$$

где

$n_{i, \text{бтипа}}$ – накопление автомобилей при типе А зоны притяжения в районе i ($i=1,2$).

Объединяя с координатами точки равновесия части Г (3.21) получим угловой коэффициент прямой линии в типе А:

$$k_{\text{б1б2, тунA}} = \frac{-K_{nc,2} \cdot n_{nc,1}}{K_{nc,1} \cdot u \cdot (n_{затop,2} - n_{nc,2})} - 1 \quad (4.30)$$

где

$k_{\text{б1б2, типа}}$ – угловой коэффициент прямой линии в типе А, проходящей через точки б1 и точки б2.

В самом деле метод расчёта обратной кривой зоны притяжения части Г представляется в том, чтобы определить решения системы дифференциальных уравнений, которые приведены на следующих уравнениях:

$$\begin{cases} \frac{d\tilde{n}_1(t)}{dt} = -\frac{dn_1(t)}{dt} \\ \frac{d\tilde{n}_2(t)}{dt} = -\frac{dn_2(t)}{dt} \end{cases} \quad (4.30)$$

По аналитическим уравнениям (4.16) и (4.17) решения системы дифференциальных уравнений получены из следующих уравнений:

$$\tilde{n}_1(t) = n_{затop,1} - \frac{q_1 \cdot (n_{затop,1} - n_{nc,1})}{K_{nc,1} \cdot u} + (n_{затop,1} - n_{nc,1}) \cdot \left(\frac{q_1}{K_{nc,1} \cdot u} - 1 \right) \cdot e^{\left(\frac{K_{nc,1} \cdot u \cdot t}{n_{nc,1} - n_{затop,1}} \right)} \quad (4.31)$$

$$\tilde{n}_2(t) = \frac{e^{\left(\frac{K_{nc,1} \cdot u \cdot t}{n_{nc,1} - n_{затоп,1}}\right)} \cdot (q_1 - K_{nc,1} \cdot u) \cdot (n_{nc,1} - n_{затоп,1}) \cdot (n_{nc,2} - n_{затоп,2})}{K_{nc,2} \cdot (n_{затоп,1} - n_{nc,1}) + K_{nc,1} \cdot u \cdot (n_{nc,2} - n_{затоп,2})} + \frac{n_{nc,2} \cdot (q_1 + q_2) + (K_{nc,2} - q_1 - q_2) \cdot n_{затоп,2}}{K_{nc,2}} + c \cdot e^{\left(\frac{K_{nc,2} \cdot t}{n_{nc,2} - n_{затоп,2}}\right)} \quad (4.32)$$

$$c = \frac{K_{nc,1} \cdot u \cdot (q_1 - K_{nc,1} \cdot u) \cdot n_{затоп,1} \cdot (n_{nc,2} - n_{затоп,2})^2}{\left(K_{nc,2} \cdot n_{nc,1} + K_{nc,1} \cdot u \cdot (n_{затоп,2} - n_{nc,2})\right) \cdot \left(K_{nc,2} \cdot (n_{nc,1} - n_{затоп,1}) + K_{nc,1} \cdot u \cdot (n_{затоп,2} - n_{nc,2})\right)} \quad (4.33)$$

где

c – постоянный член под решением системы дифференциальных уравнений.

До сих пор полученная кривая зоны притяжения части Г должна достигаться условия уравнения точки равновесия, т.е. $\frac{dn_i(t)}{dt} = 0, (i = 1, 2)$. Затем зоны притяжения сомкнётся с прямой линией, проходящей через точки равновесия части Г и точки координаты $(0, n_{pa,1})_B$.

Однако, необходимо скорректировать алгоритмы обратной кривой зоны притяжения, если эта кривая достигает точки пересечения, которая находится на пограничной линии между части В и части Г.

Для типа Б притягательной зоны

На начальном этапе для расчёта кривой зоны притяжения принимается одинаковый алгоритм с типом А до части Г. В дальнейшей тенденции кривая зоны притяжения тянется до вертикальной оси в части В двухзональной системы. Поэтому приведены решения дифференциальных уравнений по аналитическим формул (4.14) и (4.15) с начальной точкой $v_1(n_{nc,2}, n_{1,elmunB})$:

$$\tilde{n}_1(t) = \frac{n_{nc,1} \cdot q_1 - q_1 \cdot n_{затоп,1} + K_{nc,1} \cdot u \cdot n_{затоп,1}}{K_{nc,1} \cdot u} + \left(n_{1,elmunB} - n_{затоп,1} - \frac{q_1 \cdot (n_{nc,1} - n_{затоп,1})}{K_{nc,1} \cdot u} \right) \cdot e^{\left(\frac{K_{nc,1} \cdot u \cdot t}{n_{nc,1} - n_{затоп,1}}\right)} \quad (4.34)$$

$$\tilde{n}_2(t) = n_{nc,2} \cdot \left(\frac{q_1 + q_2}{K_{nc,2}} + \frac{e^{\left(\frac{K_{nc,1} \cdot u \cdot t}{n_{nc,1} - n_{замор,1}}\right)} \cdot \left(n_{nc,1} \cdot q_1 - q_1 \cdot n_{замор,1} + K_{nc,1} \cdot u \cdot (n_{замор,1} - n_{1,61munB}) \right)}{K_{nc,1} \cdot n_{nc,2} \cdot u + K_{nc,2} \cdot (n_{замор,1} - n_{nc,1})} \right) + \quad (4.35)$$

$$c \cdot e^{\left(\frac{K_{nc,2} \cdot t}{n_{nc,2}}\right)}$$

$$c = n_{nc,2} \cdot \left(1 - \frac{q_1 + q_2}{K_{nc,2}} - \frac{q_1 \cdot (n_{nc,1} - n_{замор,1}) + K_{nc,1} \cdot u \cdot (n_{замор,1} - n_{1,61munB})}{K_{nc,1} \cdot n_{nc,2} \cdot u + K_{nc,2} \cdot (n_{замор,1} - n_{nc,1})} \right) \quad (4.36)$$

Для типа В зоны притяжения

В этом типе расчётная прямая линия достигается на пограничной линии между частью А и частью Б. В следующем этапе приведены решения дифференциальных уравнений по аналитическим формул (4.10) и (4.11) в части А с начальной точкой $\bar{b}_2(n_{nc,2}, n_{1,62munB})$:

$$\tilde{n}_1(t) = \frac{n_{nc,1} \cdot q_1}{K_{nc,1} \cdot u} + \left(n_{1,62munB} - \frac{n_{nc,1} \cdot q_1}{K_{nc,1} \cdot u} \right) \cdot e^{\left(\frac{K_{nc,1} \cdot u \cdot t}{n_{nc,1}}\right)} \quad (4.37)$$

$$\tilde{n}_2(t) = n_{nc,2} \cdot \left(\frac{q_1 + q_2}{K_{nc,2}} + \frac{e^{\left(\frac{K_{nc,1} \cdot u \cdot t}{n_{nc,1}}\right)} \cdot \left(-n_{nc,1} \cdot q_1 + K_{nc,1} \cdot n_{1,62munB} \cdot u \right)}{K_{nc,2} \cdot n_{nc,1} - K_{nc,1} \cdot n_{nc,2} \cdot u} \right) + c \cdot e^{\left(\frac{K_{nc,2} \cdot t}{n_{nc,2}}\right)} \quad (4.38)$$

$$c = n_{nc,2} \cdot \left(1 - \frac{q_1 + q_2}{K_{nc,2}} - \frac{K_{nc,1} \cdot n_{1,62munB} \cdot u - n_{nc,1} \cdot q_1}{K_{nc,2} \cdot n_{nc,1} - K_{nc,1} \cdot n_{nc,2} \cdot u} \right) \quad (4.39)$$

В процессе решения дифференциальных уравнений по аналитическим формул (4.14) и (4.15) с начинающей точкой $v_1(n_{2,61munB}, n_{nc,1})$ полученные результаты аналогичны с типам Б, кроме постоянного члена под этими уравнениями:

$$c = n_{2,61munB} - n_{nc,2} \cdot \left(\frac{q_1 + q_2}{K_{nc,2}} + \frac{q_1 \cdot (n_{nc,1} - n_{замор,1}) + K_{nc,1} \cdot u \cdot (n_{замор,1} - n_{nc,1})}{K_{nc,1} \cdot n_{nc,2} \cdot u + K_{nc,2} \cdot (n_{замор,1} - n_{nc,1})} \right) \quad (4.40)$$

Таким образом, вышеизложенные методы для расчёта разных типов зоны притяжения выполнялись с использованием математически-моделирующего

комплекса MATLAB 2019a при входных данных таблицы 4.1. В результате моделирования получены зависимости между параметром накопления обоих районов с зонами притяжения типа А и типа В (Рис 4.6).

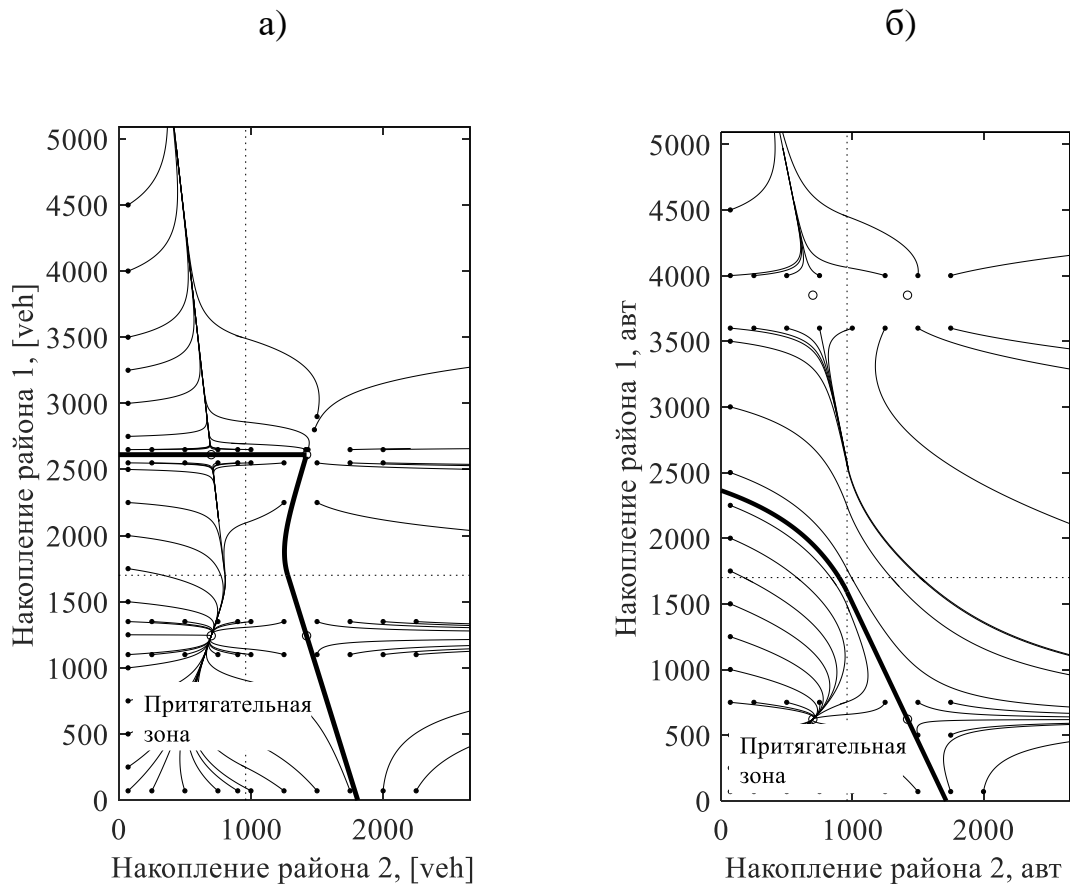


Рисунок 4.6 – Зоны притяжения при разных параметрах для управления дорожным движением в определённом времени мониторинга (с 0 до t_f): а) пограничный контроль $u = 0.4$; б) пограничный контроль $u = 0.8$

Несмотря на то, что в результате моделирования при пограничных контролях $u = 0.4$ и $u = 0.8$ не появлялся тип Б притягательной зоны. Однако путём исследований распределения значения пограничного контроля тип Б притягательной зоны показывался между значениями около 0.613 и 0.73 (Рис 4.7).

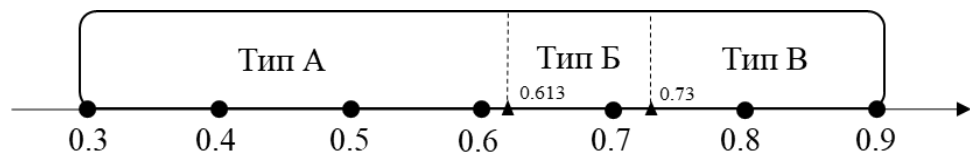


Рисунок 4.7 – Распределение значения пограничного контроля и их соответственных типов зоны притяжения в рассматриваемом районе

Результаты моделирования MATLAB, которые представляют зоны притяжения при разных параметрах для управления дорожным движением, показаны на следующих графиках:

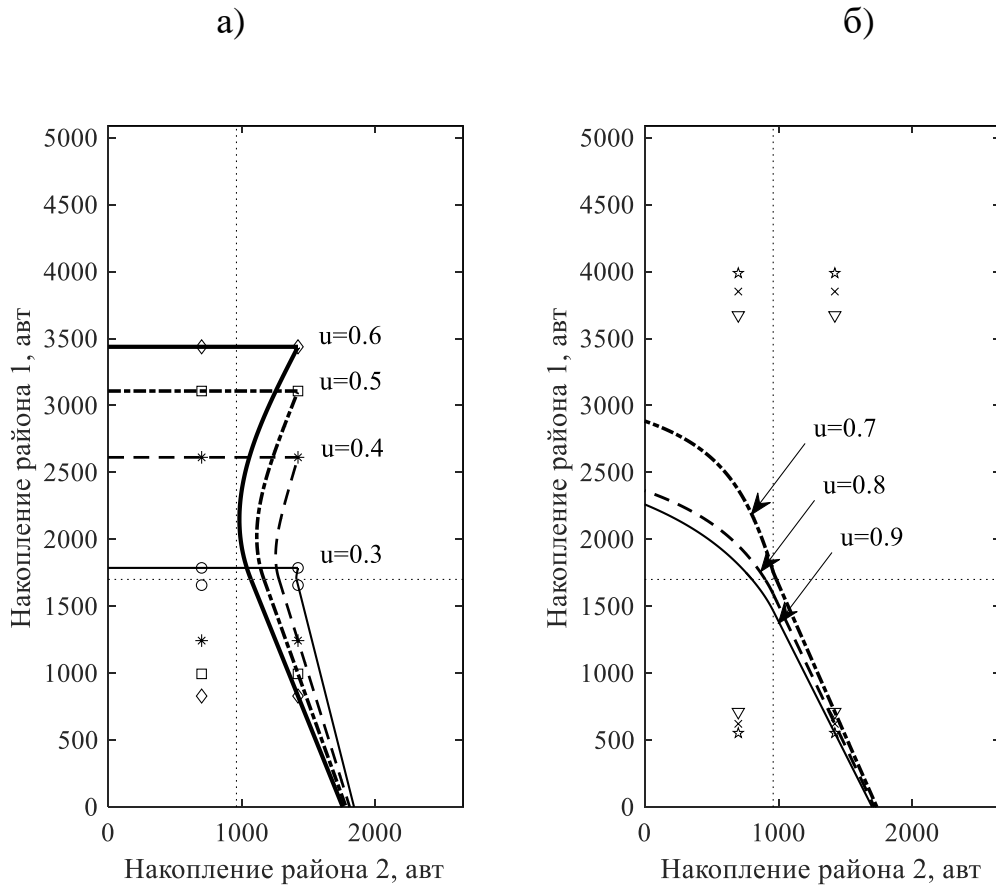


Рисунок 4.8 – Зоны притяжения при разных параметрах для управления дорожным движением в определённом времени мониторинга (с 0 до t_f): (а) тип А, при $u=0.3-0.6$ (б) тип Б и В, при $u=0.7-0.9$

Можно сделать вывод о том, что происходит уменьшение зоны притяжения при увеличении значения пограничного контроля для ситуаций типа Б и типа В. Однако постепенное увеличение зоны притяжения является нежелательным при увеличении значения пограничного контроля при ситуациях типа А. Это явление происходит ввиду возникновения заторовых ситуаций на улично-дорожной сети в двухзональной системе.

Основные причины возникновения заторов при отсутствии управления пограничного контроля ($u = 0$) для входящего потока между двумя районам можно подразделить на следующие два случая:

Первый - экзогенный поток разрастается и приводит к затору на дорожной сети внутреннего района 2. Затем заторовая ситуация распространяется через границы внутреннего района 2 на внешний район 1, ввиду этого происходит затор во внешней зоне;

Второй – ситуация противоположна первому случаю. Первоначально возрастание транспортной нагрузки приводит к затору во внешнем районе 1. Затем поток стремится во внутренний район через границы района, и так приведёт к затору внутренней зоны 2.

После применения управления пограничного контроля для входящего потока между двумя районам заторы значительно замедлились сравнительно с обстановкой без управления ($u = 0$), которая приведена на рисунке 4.9. Отметим, что цельный район активно защищён от заторов на участках улично-дорожной сети в соответствии оптимизации этапа 2 и 3.

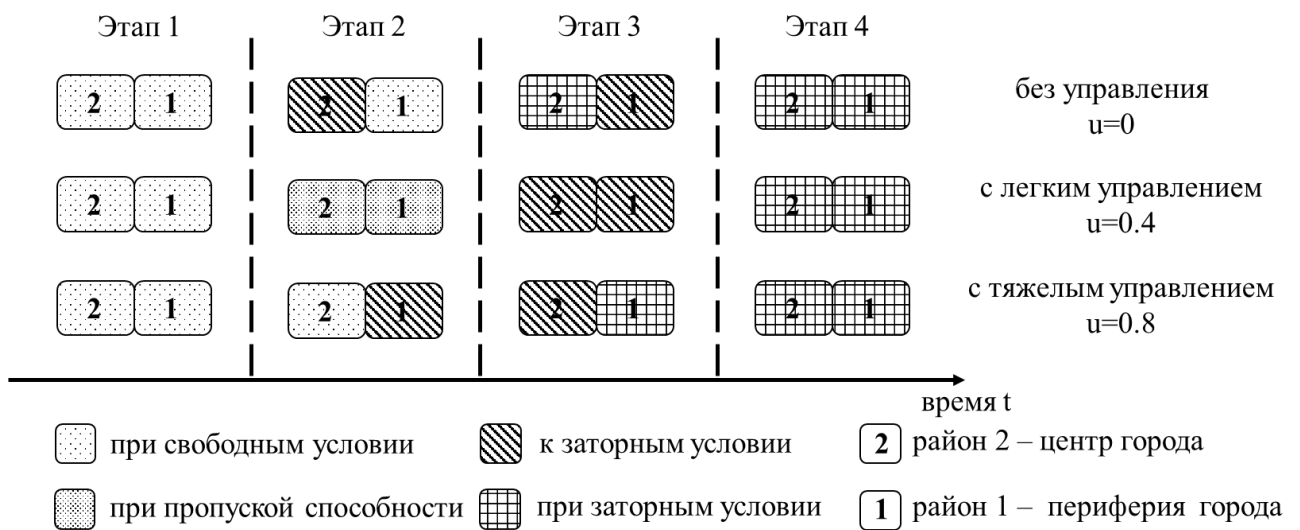


Рисунок 4.9 – Кусочная двухзональная система на основе макроскопической основной диаграммы транспортного потока

Для расширения применения вышеуказанных методы анализа состояния транспортного потока дополнительные исследования приспособивались к возможным конкретным условиям, проводящим при допуске о том, что позволит ограниченному транспортному потоку стремиться к производительному району и завершить свою поездку. Таким образом, исходные экзогенные потоки $q1$,

производящие в районе 1, разделяется на два направления транспортных потоков q_{11} (место назначения – район 1) и q_{12} (место назначения – район 2).

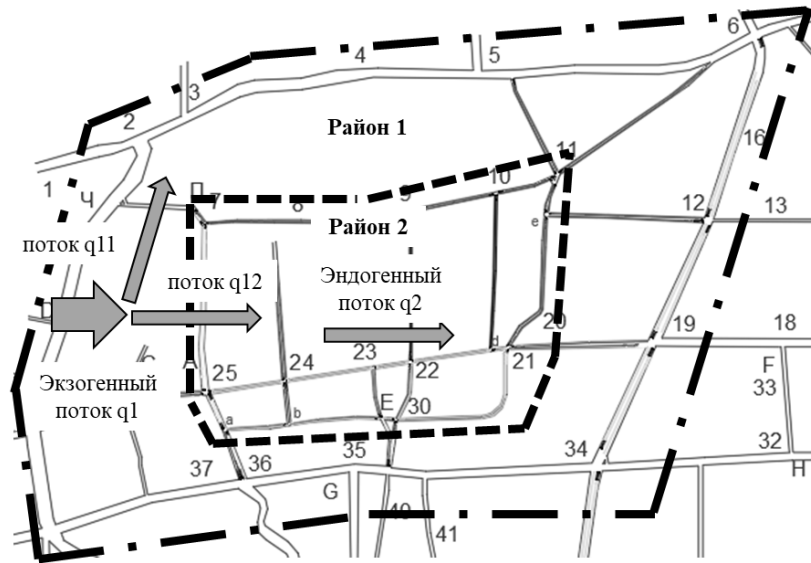


Рисунок 4.10 – Схема улично-дорожной сети при возможных конкретных условиях с разделенными потоками q_{11} и q_{12}

Естественно, отношения между накоплениями районов должны изменяться сложными дифференциальными уравнениями с тремя неизвестными:

$$\frac{dn_{11}(t)}{dt} = q_{11} - \frac{n_{11}(t)}{n_{11}(t) + n_{12}(t)} \cdot G_1(n_1(t)) \quad (4.41)$$

$$\frac{dn_{12}(t)}{dt} = q_{12} - \frac{n_{12}(t)}{n_{11}(t) + n_{12}(t)} \cdot G_1(n_1(t)) \cdot u(t) \quad (4.42)$$

$$\frac{dn_2(t)}{dt} = q_2 + \frac{n_{12}(t)}{n_{11}(t) + n_{12}(t)} \cdot G_1(n_1(t)) \cdot u(t) - G_2(n_2(t)) \quad (4.43)$$

где

q_{11} – транспортный поток, который завершить поездку в район 1;

q_{12} – транспортный поток, который завершить поездку в район 2;

n_{11} – накопление производится потоком q_{11} ;

n_{12} – накопление производится потоком q_{12} .

Аналогично, для конкретного анализа состояния транспортного потока в двухзональной системе улично-дорожной сети центральной части г. Цзинань при возможных конкретных условиях с разделенными потоками q_{11} и q_{12}

моделирование осуществлялось с использованием математически-моделирующего комплекса MATLAB 2019a на основе этих выводных дифференциальных аналитических уравнений с тремя неизвестными. Точки начинающего состояния накопления автомобилей выбираются входными координатами соответственных аналитических дифференциальных уравнений в определённом времени мониторинга дорожного движения. Приведена определённая доля пропорциональности разделенных потоков – $q_{11} = \left(\frac{3}{10}\right) \cdot q_1$ и $q_{12} = \left(\frac{7}{10}\right) \cdot q_1$.

В результате моделирования, прежде всего, получены зависимости между накоплениями автомобилей обоих районов с тремя неизвестными при разных параметрах для управления дорожным движением, приведены на рисунке 4.11, 4.12 и 4.13. Входные данные различных параметрах показаны на таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Входные данные различных параметрах для моделирования аналитического решения дифференциальных уравнений при разных частях дварайонной системы с разделенными потоками q_{11} и q_{12}

Основные информации макроскопической фундаментальной диаграммы			
Район 1	$K_{nc,1} = 0.171$ авт/с; $n_{nc,1} = 1700$ авт; $n_{затоп,1} = 5090$ авт;		
Район 2	$K_{nc,2} = 0.151$ авт/с; $n_{nc,2} = 960$ авт; $n_{затоп,2} = 2657$ авт;		
Входные данные для моделирования			
Параметры	Рис 4.11	Рис 4.12	Рис 4.12
поток q_{11}	$\left(\frac{3}{10}\right) \cdot 0.05$	$\left(\frac{3}{10}\right) \cdot 0.05$	$\left(\frac{3}{10}\right) \cdot 0.05$
поток q_{12}	$\left(\frac{7}{10}\right) \cdot 0.05$	$\left(\frac{7}{10}\right) \cdot 0.05$	$\left(\frac{7}{10}\right) \cdot 0.05$
Эндогенный потока q_2	0.06	0.06	0.06
Пограничный контроль u	0.5	0.6	0.8

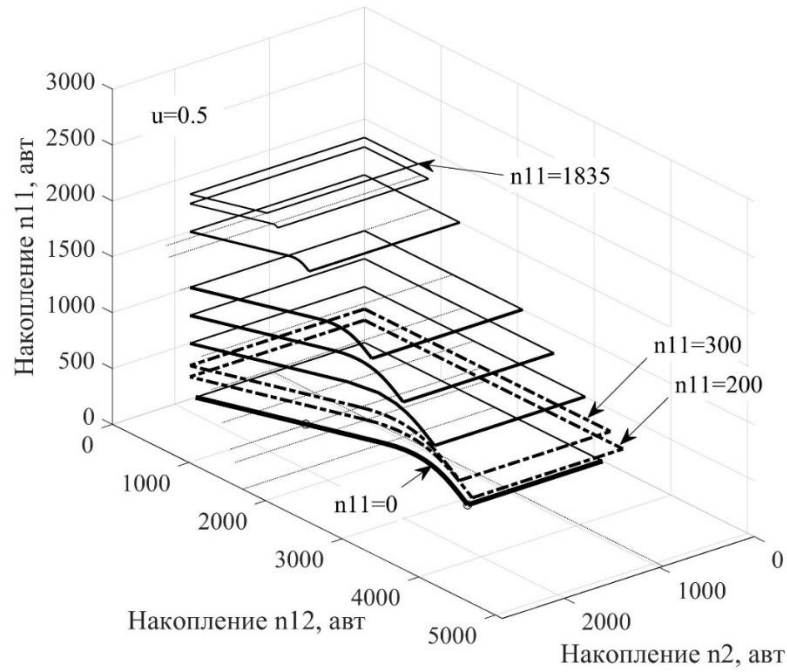


Рисунок 4.11 – Изменение притягательной зоны с экзогенной интенсивностью транспортного потока $q_{12}=(7/10)*q_1$ в граничном контроле $u=0.5$ при увеличении накопления до $n_{11}=1835$ авт

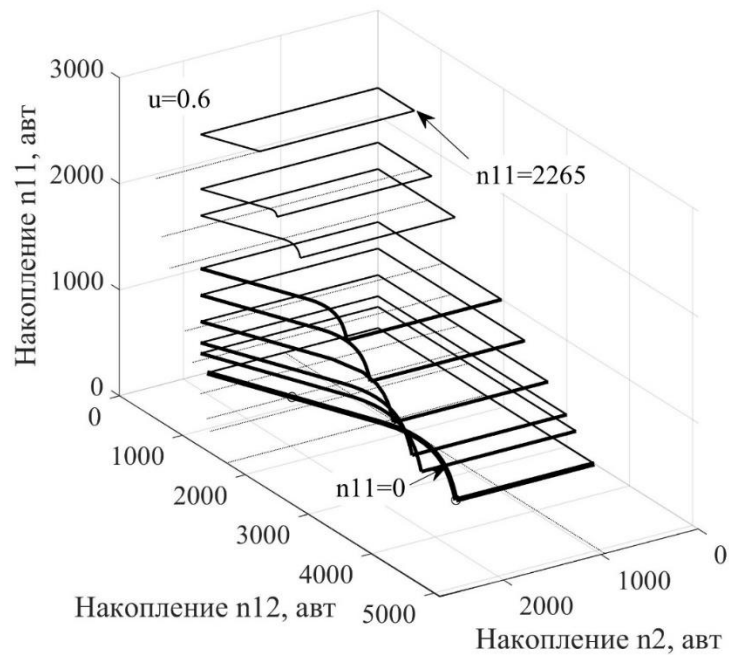


Рисунок 4.12 – Изменение притягательной зоны с экзогенной интенсивностью транспортного потока $q_{12}=(7/10)*q_1$ в граничном контроле $u=0.6$ при увеличении накопления до $n_{11}=2265$ авт

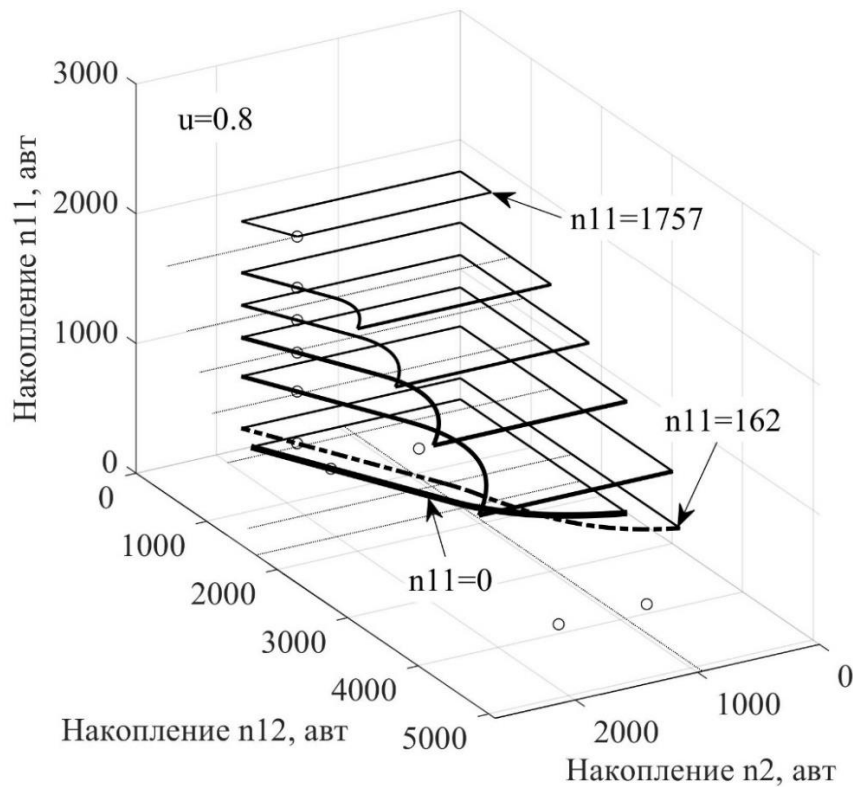


Рисунок 4.13 – Изменение зоны притяжения с экзогенной интенсивностью транспортного потока $q_{12}=(7/10)*q_1$ в граничном контроле $u=0.8$ при увеличении накопления до $n_{11}=1757$ авт

По результате моделирования можно делать вывод о том, что постепенное уменьшение зоны притяжения при увеличении значения пограничного контроля под ситуациями Рис.4.8 (б). Эти ситуации охарактеризуют положение, описывающий ускорение разрушения транспортной системы к затору движения при строгих контролях между границами районов. Наоборот, постепенное увеличение зоны притяжения является необыкновенным при увеличении значения пограничного контроля под ситуациями Рис.4.8 (а). Это явление проводится ввиду того, что при рациональных контролях позволяет развиваться предел зоны притяжения в два-районным системе.

Для исследования динамики системы с тремя неизвестными накоплениями районов модели закономерности изменения зоны притяжения сформированы при

пространственных координатах (Рис.4.11, 4.12, 4.13). По результате моделирования можно отметить, что в основном постепенное уменьшение зоны притяжения при увеличении накопления $n11$ и ужесточении применения пограничного контроля для управления входными потоками. Однако в процессе облегчения накопления $n11$ также недолговременно появились ситуации, при которых расширяют притягательные зоны большее чем начальное состояние $n11=0$ (выделяется пунктирными линиями). По аналогии с ситуациями Рис.4.8 (а), это явление проводится ввиду того, что ослабляется входный поток $q12$ в район 2 при увеличении потока $q11$, тем самым позволяет кратковременно развиваться предел зоны притяжения в два-районным системе.

4.4. Построение стабильных зон и их характеристики при изменениях параметров эндогенного и экзогенного потока в кусочной двухзональной системе

Необходимо подчеркнуть, что все вышеуказанные методы оптимизации и управления дорожным движением применялись с постоянным пограничным контролем за определенное время мониторинга. Стратегия оптимизации транспортного потока должна постоянно применяться с переменными методами управления дорожным движением, чередующими разные параметры пограничного контроля для различных транспортных условий на рассматриваемых районах.

Эти вопросы вызывают необходимости определения района включая все зоны притяжения для решения оптимизации дорожного движения при переменных параметрах пограничного контроля. Построение стабильных зон является практическим методом с учётом всех зон притяжения и нескольких кривых притяжения для зависимости изменения накопления в обоих районах.

Для построения стабильных зон сначала осуществлялись моделирование состояния транспортных потоков и их зон притяжения при соответственно максимального и минимального значений пограничного контроля по категории разных типов зон притяжения (Рис 4.14).

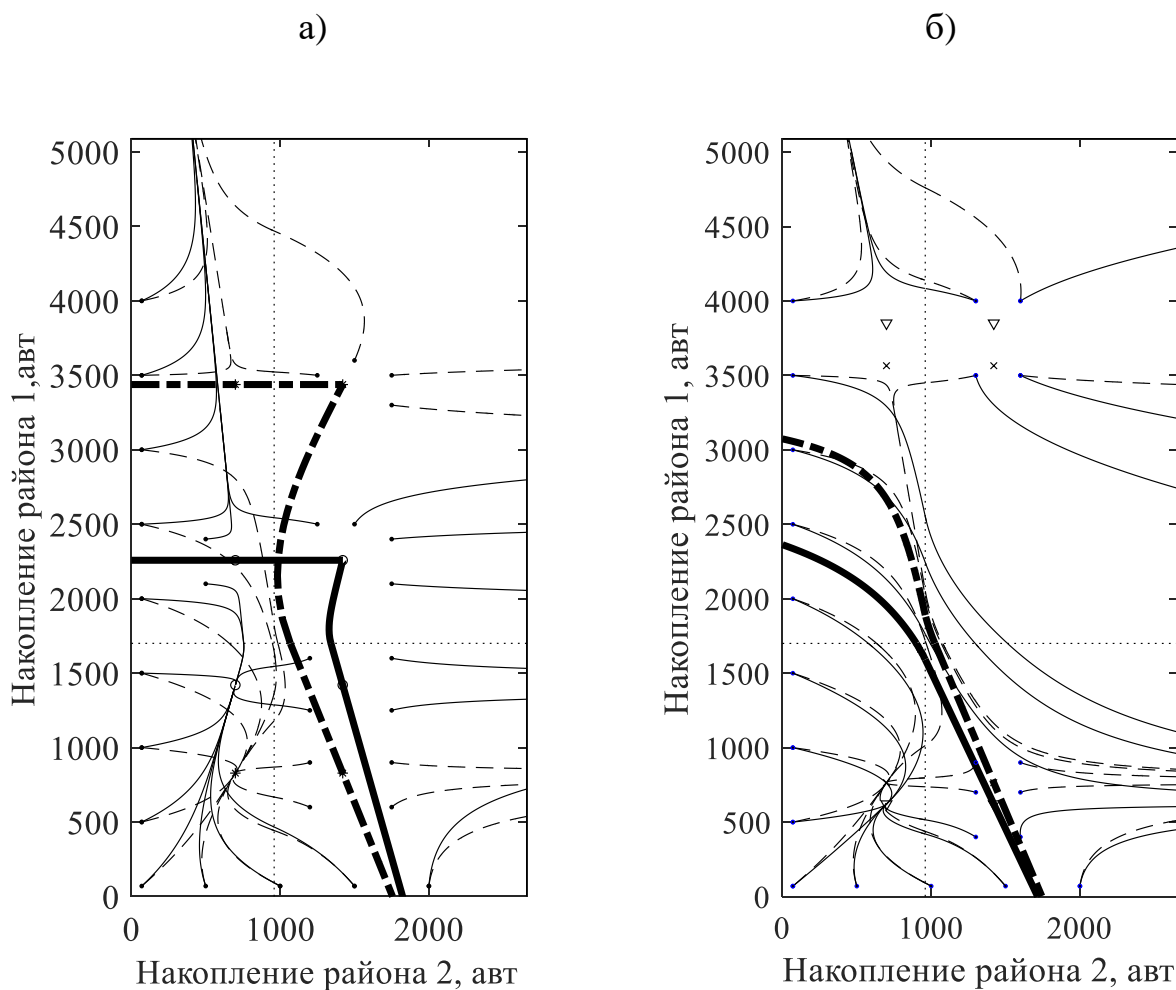


Рисунок 4.14 – Состояние транспортных потоков и соответственные зоны притяжения при разных параметрах для управления дорожным движением: (а) при $u = 0.35$ и 0.6 (б) при $u = 0.65$ и 0.8

Таким образом, стабильная зона типа А сформировалась верхней граничной линией зоны притяжения при пограничных контролях $u = 0.6$, правой граничной линией притягательной зоны при пограничных контролях $u = 0.35$, линией с обратным расчётам зоны притяжения при пограничных контролях $u = 0.35$. По закономерности изменения на рисунке 3.8 стабильная зона тип Б полностью сформировалась граничной линией зоны притяжения при пограничных контролях $u = 0.65$. Стабильные зоны разных типов приведены на рисунке 4.15. До сих пор построенные стабильные зоны показывали динамический интервал измененных пограничных контролей, который обрабатывается отдельно при разных стратегиях управления дорожным движением.

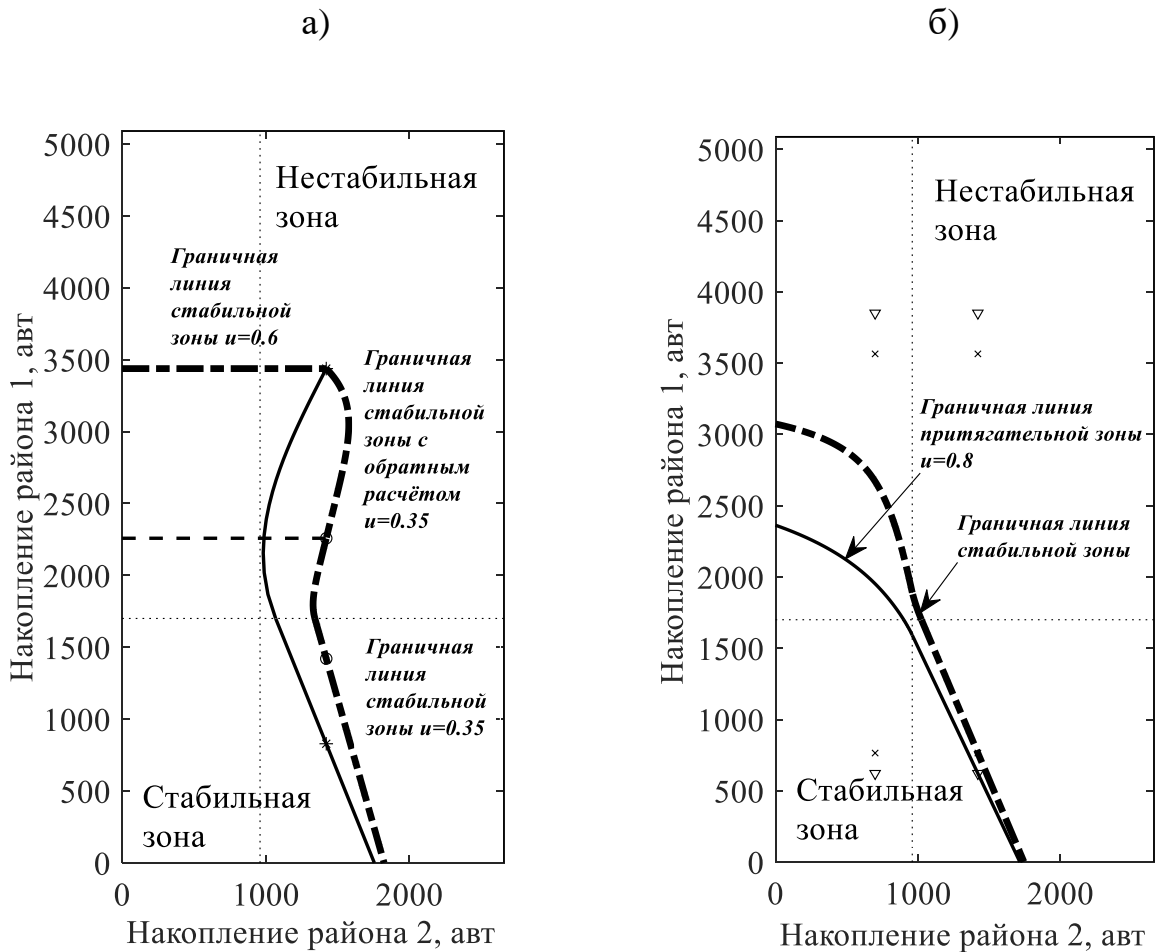


Рисунок 4.15 – Стабильные зоны при разных параметрах для управления дорожным движением в определённом времени мониторинга (с 0 до t_f): (а) при $u = 0.35$ и 0.6 (б) при $u = 0.65$ и 0.8

Из всех полученных формул и математических моделирования состояния транспортных потоков изменение параметров эндогенного и экзогенного потока является одним из самых важных элементов влияния управления дорожным движением. Для всестороннего исследования стабильной зоны под влиянием экзогенного потока $q1$ и эндогенного потока $q2$ сформировались математические модели с разными измененными значениями транспортных потоков (Рис 4.16 и Рис 4.17). В той или иной мере разные внешние и внутренние транспортные потоки приводят к изменению стабильной и нестабильной зон.

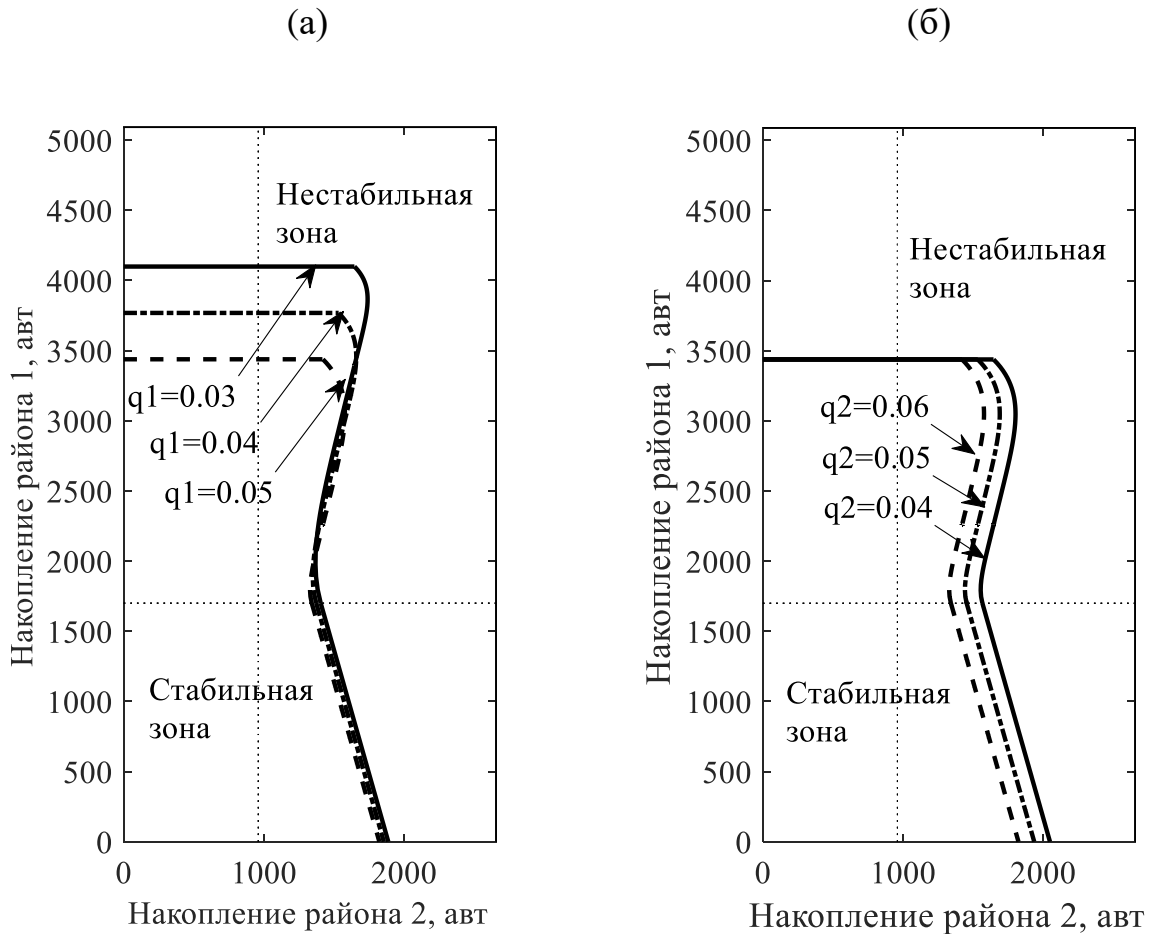


Рисунок 4.16 – Изменения стабильных зон типа А для управления дорожным движением с разными значениями экзогенного потока $q1$ и эндогенного потока $q2$: (а) при $q1=0.03, 0.04, 0.05$; (б) при $q2=0.04, 0.05, 0.06$;

Большие изменения стабильной зоны типа А происходят при увеличении экзогенного потока $q1$, который принесёт к выдавливанию пространственного распространения эндогенного потока $q2$, и проводит к уменьшению стабильной зоны. Увеличение эндогенного потока $q2$ только приводит к изменению правой граничной линии стабильной зоны, следовательно приведет к уменьшению стабильной зоны типа А.

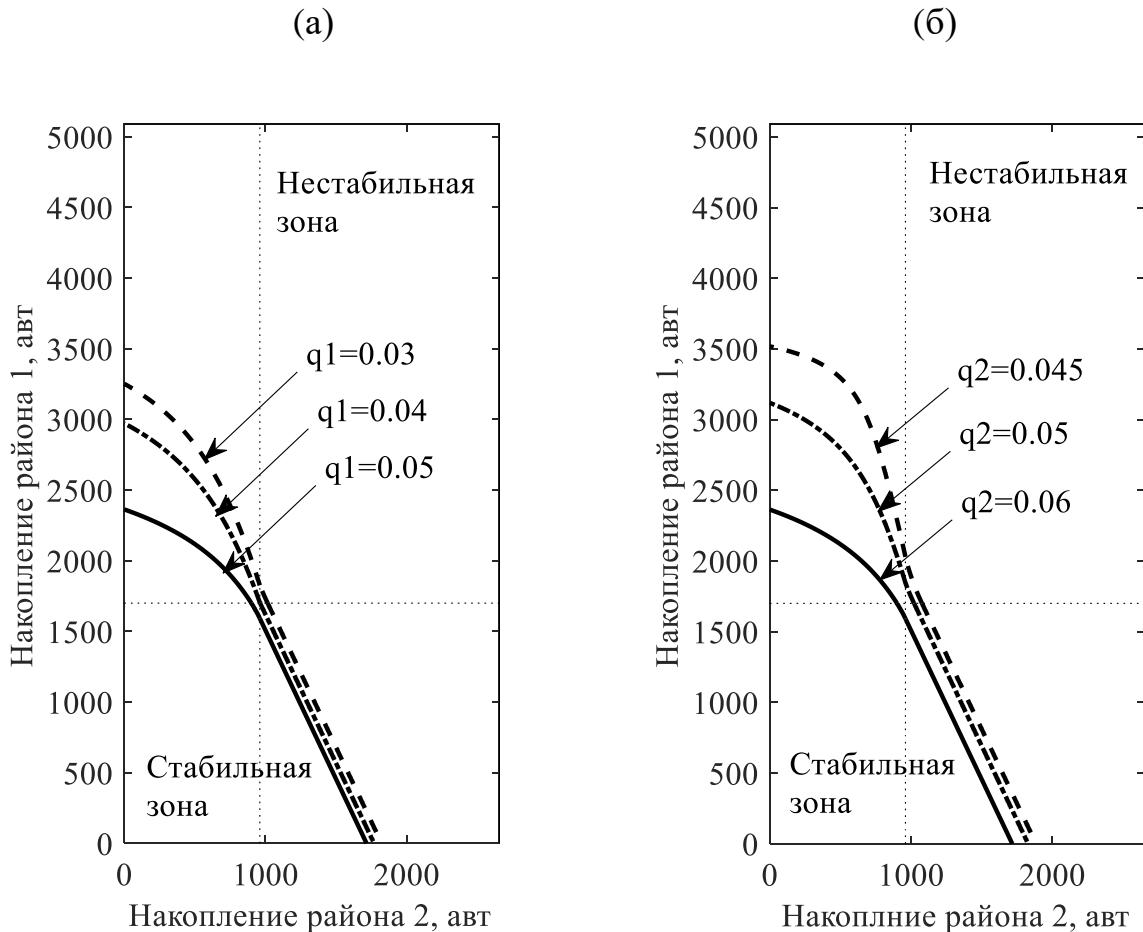


Рисунок 4.17 – Изменения стабильных зон типа Б и В для управления дорожным движением с разными значениями экзогенного потока $q1$ и эндогенного потока $q2$: (а) при $q1=0.03, 0.04, 0.05$; (б) при $q2=0.045, 0.05, 0.06$;

Аналогичная закономерность изменения стабильной зоны тип Б и В показывается при увеличении экзогенного потока $q1$, и приводит к уменьшению стабильной зоны. Однако, имеется большая амплитуда изменения граничной линии стабильной зоны перед параметром накопления в 1000 автомобилей района 2, затем стремится к стабильному и определённом изменению. В отличие от ситуации изменения стабильной зоны типа А (б) увеличение эндогенного потока $q2$ приводит к изменению цельной граничной линии стабильной зоны тип Б и В ввиду того, что применяется строгая стратегия ограничения дорожного движения на границы обоих района рассматриваемой улично-дорожной сети.

Нужно подчеркнуть, что вышеуказанные изменения стабильных зон может появляться в любом моменте времени мониторинга дорожного движения. Поэтому

в дальнейшем работе конкретные стратегии оптимизации дорожного движения определяются в этих динамических стабильных зонах.

4.5. Конкретная стратегия оптимизации дорожного движения на основе макроскопической фундаментальной диаграммы транспортного потока

Возможность получения информации о завершённых поездках в определённом времени мониторинга является важной характеристикой определения для проектирования оптимизации дорожного движения. В процессе изменения кривых зависимости накопления обоих районов координаты накопления начального и законченного состояния прогнозируются в двухзональной системе на основе макроскопической основной диаграммы транспортного потока. Однако для тех, что только достигает незаконченное состояние автомобилей в определённом времени мониторинга, алгоритм оптимизации дорожного движения изменяется в том случае, что способствует к конкретной ситуации.

Для решения относительно параметра завершённых поездок применяется вышесказанная теория максимума для оптимизации дорожного движения на уравнение целевой функции для управления транспортными потоками (4.2). В дальнейшем превращение дифференциальное уравнение (4.3) и (4.4) интегрируется следующим видом:

$$n_{1,f} + n_{2,f} = \int_0^{t_f} (q_1(t) + q_2(t)) dt - \int_0^{t_f} G_2(n_2(t)) dt + n_{1,0} + n_{2,0} \quad (4.44)$$

Оптимальная стратегия управления получена для решения завершившихся поездок с подстановкой уравнения (3.2):

$$J = \max \left(-n_{1,f} - n_{2,f} + \int_0^{t_f} (q_1(t) + q_2(t)) dt + n_{1,0} + n_{2,0} \right) \quad (4.45)$$

относительно параметра незавершённых поездок применяется принцип максимума Понтрягина (Pontryagin maximum principle - PMP) [106]. Применение принципа максимума Понтрягина следующего вида:

$$H = \frac{K_{nc,1}}{n_{nc,1}} \cdot n_1(t) \cdot u(t) \cdot (p_1(t) - p_2(t)) + p_1(t) \cdot q_1 + p_2(t) \cdot \left(q_2 - \frac{K_{nc,2}}{n_{nc,2}} \cdot n_2(t) \right) + \frac{K_{nc,2}}{n_{nc,2}} \cdot n_2(t) \quad (4.46)$$

где H – значение Гамильтониана для решения оптимизации дорожного движения;

$p_1(t)$ и $p_2(t)$ – переменные стоимости при выполнении следующих условий:

$$\frac{dp_1}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial n_1} = \frac{K_{nc,1}}{n_{nc,1}} \cdot u(t) \cdot (p_1(t) - p_2(t)) \quad (4.47)$$

$$\frac{dp_2}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial n_2} = \frac{K_{nc,2}}{n_{nc,2}} \cdot (p_2(t) - 1) \quad (4.48)$$

Следовательно, оптимальная стратегия управления получена для решения незаконченного состояния при переменным стоимости:

$$u(t) = \begin{cases} u_{\max}, & p_2(t) - p_1(t) > 0 \\ u_{\min}, & p_2(t) - p_1(t) < 0 \end{cases} \quad (4.49)$$

Таким образом, в рассматриваемой двухзональной системе выполняется 4 сочетания стратегии для управления дорожным движением, обслуживающего проектный вариант оптимизации с различными состояниями транспортного потока:

(1) оптимальная стратегия управления для решения относительно параметра завершенных поездок при максимальном контроле u_{\max} ;

(2) оптимальная стратегия управления для решения относительно параметра завершенных поездок при минимальном контроле u_{\min} ;

(3) оптимальная стратегия управления для решения относительно параметра незавершенных поездок при максимальном контроле u_{\max} ;

(4) оптимальная стратегия управления для решения относительно параметра незавершенных поездок при минимальном контроле u_{\min} .

Распространения сочетания стратегии управления дорожным движением приведена на рисунке 4.18.

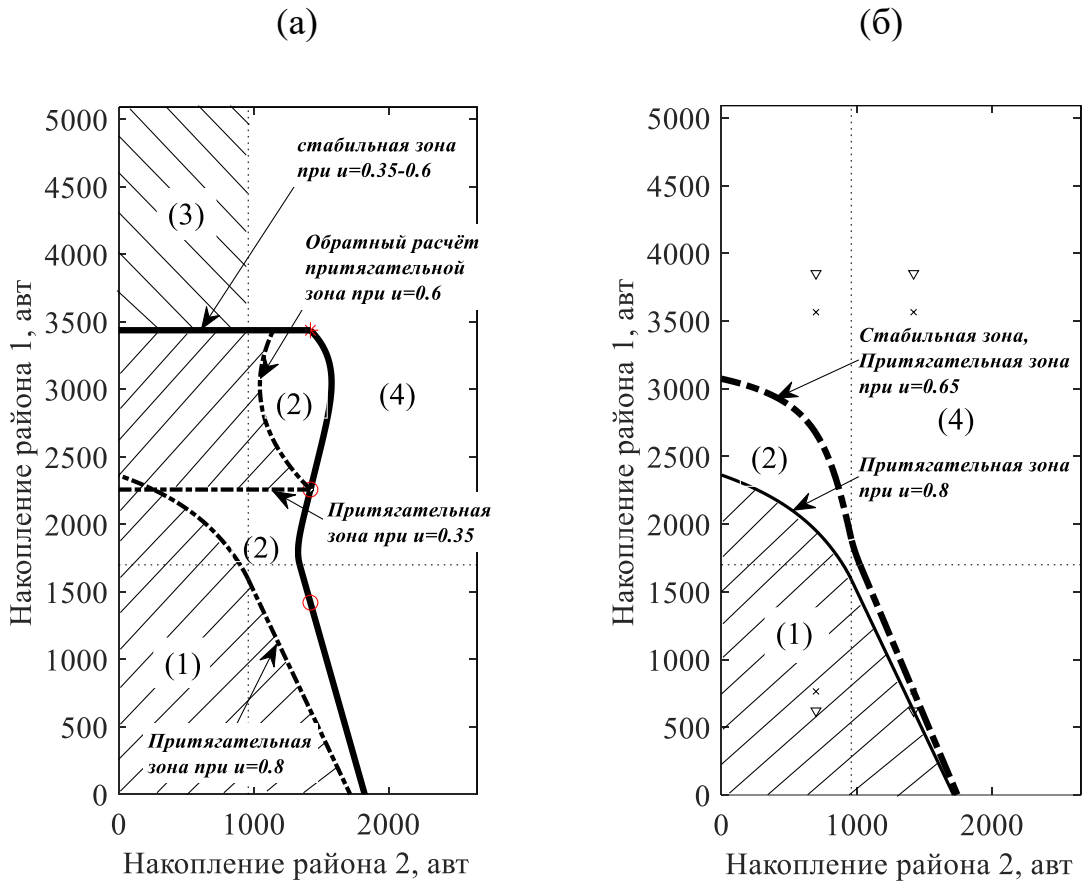


Рисунок 4.18 – Проектный вариант оптимизации транспортного потока для рассматриваемого района с многообразными стратегиями управления дорожным движением: (а) при $u = 0.35-0.6$; (б) при $u = 0.65-0.8$

Проектный вариант оптимизации транспортного потока отдельно относится к двум случаям, применяющимся по конкретной ситуации дорожного движения, соответственно контроль $u = 0.35-0.6$ и $u = 0.65-0.8$. Нужно подчеркнуть, что выполняется 4 сочетания стратегии управления дорожным движением при $u = 0.35-0.6$, однако только 3 сочетания при $u = 0.65-0.8$, поскольку разного приемного объема рассматриваемых зон. Поэтому для каждой многозональной системы дорожного сети необходимо сформироваться собственный характеристический вариант оптимизации транспортного потока.

Вывод по главе 4

1. На основе полученной макроскопической основной диаграммы транспортного потока с использованием данных фрагмента центральной части улично-дорожной сети г. Цзинань (КНР) была построена кусочная двухзональная система. В двухзональной системе было указано движение эндогенных потоков и экзогенных потоков через пограничной линии обоих районов. По состоянию транспортного потока 4 части были выделены на схеме двухзональной системы для управления дорожным движением.

2. Для анализа состояния дорожного движения кривые зависимости накопления автомобилей обоих районов были сформированы по динамике системы об изменении данных параметров макроскопической основной диаграммы транспортного потока. Целевая функция для оптимизации дорожного движения была описана при конкретных условиях двухзональной системы. В процессе обработки дифференциальные уравнения о кривых зависимости накопления автомобилей обоих районов точки равновесия и их методы расчёта были получены при разных состояниях транспортного потока. В результате математического моделирования MATLAB закономерности движения кривых зависимости накопления автомобилей обоих районов были показаны с разными значениями пограничного контроля.

3. По анализу закономерности движения кривых зависимости накопления автомобилей обоих районов зоны притяжения и методы их расчёта были получены при разных ситуациях в двухзональной системе. Следовательно, на основе зон притяжения при максимальном и минимальном значении пограничного контроля стабильные зоны их алгоритмы были получены путём математического моделирования MATLAB. Характеристика стабильных зон при изменениях параметров эндогенного и экзогенного потока была показана в любом моменте времени мониторинга дорожного движения.

4. Конкретная стратегия оптимизации дорожного движения на основе макроскопической основной диаграммы транспортного потока была получена для завершённых и незавершённых поездок. В итоге в рассматриваемой двухзональной

системе выполняется 4 сочетания стратегии для управления дорожным движением, обслуживающего проектный вариант оптимизации с различными состояниями транспортного потока:

(1) оптимальная стратегия управления для решения относительно параметра завершенных поездок при максимальном контроле u_{max} ;

(2) оптимальная стратегия управления для решения относительно параметра завершенных поездок при минимальном контроле u_{min} ;

(3) оптимальная стратегия управления для решения относительно параметра незавершенных поездок при максимальном контроле u_{max} ;

(4) оптимальная стратегия управления для решения относительно параметра незавершенных поездок при минимальном контроле u_{min} .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе полученные результаты являются теоретической и практической основой решения проблемы, заключающейся в разработке методов управления дорожным движением на сетевом уровне. Полученные теоретические подходы, опыты о применении данных, макромодели и методы исследования носят прикладной характер и могут быть использованы городскими районами для оптимизации дорожного движения при сложных условиях улично-дорожной сети.

Основные полученные результаты и выводы диссертации:

1. Полученные в диссертационной работе результаты являются теоретической и практической основой решения задач, заключающихся в разработке методов управления дорожным движением на сетевом уровне. Доказательство применения макроскопической основной диаграммы транспортного потока для двухзональной и в дальнейшем для многозональной системы управления дорожным движением открывает новые возможности с учетом развития технических средств и методов мониторинга параметров транспортного потока в интеллектуальных транспортных системах.

2. Для получения достоверных значений параметров макроскопической основной диаграммы транспортного потока сетевого уровня – эффективности, наполнения, производительности разработана и применена методика получения и обработки данных для двухзональной системы управления дорожным движением с контролем по периметру зон, на основе которой производится классификация состояния транспортного потока и оценка условий движения. Рекомендованы апробированные автором современные цифровые технологии интеллектуального видеонаблюдения для получения транспортных данных.

3. Проведен вариантный анализ представления макроскопической фундаментальной диаграммы, содержащий различные сочетания зависимостей между ее параметрами: эффективностью и средней плотностью, производительностью и накоплением, эффективностью и накоплением при изменении параметров светофорного регулирования и улично-дорожной сети.

4. Разработан новый способ классификации состояния транспортного потока, отличающийся от существующих интегрированной оценкой параметров как в нескольких зонах, так и на границах зон с выделением стабильного и нестабильного состояния и значений параметров макроскопической основной диаграммы, характеризующих устойчивую совокупность параметров.

5. Разработана математическая модель оптимизации распределения транспортных потоков с целевой функцией производительности сети с программной реализацией следующих стратегий управления:

- стратегия управления по критерию оптимизации числа завершенных поездок при контроле потоков по периметру зон управления и адаптивном светофорном регулировании;

- стратегия управления по критерию оптимизации числа завершенных поездок при контроле потоков по периметру зон управления и многопрограммном управлении;

- стратегия управления по критерию оптимизации числа незавершенных поездок при контроле потоков по периметру зон управления и адаптивном светофорном регулировании;

- стратегия управления по критерию оптимизации числа незавершенных поездок при контроле потоков по периметру зон управления и многопрограммном управлении.

6. Для реальных данных г. Цзынань (КНР) разработаны рекомендации по реализации зонального управления дорожным движением с мониторингом эндогенных и экзогенных потоков на границах зон на основе параметра накопления макроскопической основной диаграммы транспортного потока, оптимизацией параметров производительности и эффективности сети и определением условий стабильного функционирования рассматриваемых зон. Применение такого метода обеспечивает повышение производительности на сетевом уровне на 13-17%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анохин Б. Б. Оценка условий движения при различных уровнях загрузки дорог / Анохин Б. Б., Лаврентьева О. П. // Дороги и мосты: сборник ст. - ФГУП РосдорНИИ. - Вып.18/2. - М., 2007.
2. Агуреев И. Е., Атлас Е. Е., Пастухова Н. С. Хаотическая динамика в математических моделях транспортных систем // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып.3. Тула: Ид-во ТулГУ, 2012. С. 372-390.
3. Агуреев, И.Е., Елагин М. Ю. Методика обоснования структуры транспортной системы города и внедрения в ней интеллектуальных элементов // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах: сборник трудов двенадцатой международной научно-практической конференции. СПб. – 2016. – с. 197-203
4. Басков, В.Н. Оценка уровня адаптации транспортного потока к улично-дорожной сети / В.Н. Басков, Е.И. Видманова // Вестник СГТУ. – 2013. – № 2 (71). – С. 355-360.
5. Брайловский Н. О. Управление движением транспортных средств / Брайловский Н. О., Грановский Б. Н. // – М.: Транспорт, 1976. – 110 с.
6. Буслаев А. П. Вероятностные и имитационные подходы к оптимизации автодорожного движения / А. П. Буслаев, А. В. Новиков, В. М. Приходько, А. Г. Таташев, М. В. Яшина // под ред. чл.-корр. РАН В. М. Приходько, – М.: Мир, 2003. – 368 с.
7. Блинкин, М.Я. Системная оценка условий движения на базе модели Хермана-Пригожина / М.Я. Блинкин, Б.А. Ткаченко // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния, Екатеринбург: Изд-во АБМ, 2009. – с.135-143.
8. Вол М. Анализ транспортных систем / М. Вол, Б. Мартин; пер. с англ. – М.: Транспорт, 1981. – 516 с.
9. Вукан Р. Вучик. Транспорт в городах удобных для жизни / пер. с англ. А. Калинина под научн. ред. М. Блинкина.: Территория будущего; Москва; 2011 г.

10. Власов, В.М. Методика оценки показателей «уровней обслуживания движения», адаптированных к городским условиям / В.М. Власов, В.Н. Богумил // Вестник МАДИ. – 2015. – № 4(43), с. 69 – 78

11. Власов В. М. Концепция построения ИТС в России / Власов В. М. // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах: сборник докладов 9-й международной научно-практической конференции, – СПбГАСУ, 2010, – с. 35 - 41.

12. Гаврилов А. А. Моделирование дорожного движения / Гаврилов А. А. // – М.: Транспорт, 1980. – 189 с.

13. Государственное статистическое управление Китайской Народной Республики, ссылка: <http://www.stats.gov.cn/>.

14. Географическая информационная система [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.gisa.ru/13058.html> (Дата обращения: 10.06.2017 г.).

15. Гончаров, В.В. Эффективность функционирования улично-дорожной сети (УДС) города / В.В. Гончаров, М.Л. Мошкевич // Будущее науки. – 2015. – № 2. – с. 44–47

16. Горбунов, Р.Н. Оценка качества функционирования улично-дорожных сетей на основе данных систем ГЛОНАСС/GPS / Р.Н. Горбунов, Ж.Т. Пиров // Матлы V Международной научно-практической конференции «Современные проблемы безопасности жизнедеятельности: интеллектуальные транспортные системы и ситуационные центры», 2018. – Казань: Центр инновационных технологий, 2018. – с. 104-108.

17. Доклад структуры улично-дорожной сети крупных городов Китая в 2020 года / Центр исследования дорожно-транспортной безопасности Министерства общественной безопасности КНР, – 2020, –82с.

18. Донченко, В.В. Проблемы обеспечения устойчивости функционирования городских транспортных систем: Монография. / В.В. Донченко. – М.: ИКФ «Каталог», 2005. –184 с.

19. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управления ими. – М.: «Транспорт», 1972., 424 с.

20. Жанказиев С. В. Современное представление о маршрутном ориентировании участников дорожного движения в интеллектуальных транспортных системах / Жанказиев С. В. // Средства и технологии телематики на автомобильном транспорте: сборник научных трудов МАДИ, – М.: Издательство МАДИ, 2008, – с. 220 - 232.

21. Жанказиев, С. В. Интеллектуальные транспортные системы в автомобильно-дорожном комплексе / В. М. Приходько, В. М. Власов, А. М. Иванов // Книга под общ. ред. В. М. Приходько; МАДИ. – М.: ООО «Мэйлер», 2011. – 487 с.

22. Жанказиев, С. В. Интеллектуальные транспортные системы: учеб. пособие / Жанказиев С. В. // – М.: МАДИ, 2016. – 120 с.

23. Зедгенизов А.В., Зедгенизова А.Н., Михайлов А.Ю. Городские транспортные системы: вектор развития науки проектирования. Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах: сб. докладов 10 международной конференции «Организация и безопасность движения в крупных городах. Инновации: ресурс и возможности»; СПбГАСУ. – СПб., 2012. – 516 (130-135) с.

24. Зедгенизов А. В. Оценка качества организации дорожного движения на основе транспортного спроса: монография. – Иркутск :Изд-во ИРНИТУ, 2019 – 196 с.

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

26. Зырянов, В.В. Критерии оценки условий движения и модели транспортных потоков / В.В. Зырянов // – Кемерово: Кузбасский политехнический институт, 1993. – 164 с.

27. Зырянов В. В. Анализ параметров двухкомпонентных моделей кинетической теории транспортного потока / Зырянов В. В. // Известия Ростовского государственного строительного университета. Ростов-на-Дону, №3, 1998.

28. Зырянов В. В. Применение моделирования для оценки проектов транспортной инфраструктуры / Зырянов В. В., Кочерга В. Г. // Сборник Научных Трудов ОАО "ГИПРОДОРНИИ". 2012. № 3. с. 7-12.

29. Зырянов В. В. Методы оценки адекватности результатов моделирования / Зырянов В. В. // Инженерный вестник Дона, – Учредители: Ростовское региональное отделение общероссийской общественной, организации «Российская инженерная академия», –2013. № 2 (25). с. 132.

30. Зырянов В. В. Моделирование дорожного движения / Зырянов В. В. // монография – Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2015. -163с.

31. Зырянов В. В. Особенности применения основной диаграммы транспортного потока на сетевом уровне / Зырянов В. В. // Известия волгоградского государственного технического университета. Серия: наземные транспортные системы, – Волгоградский государственный технический университет, –2013, – С. 71-74.

32. Зырянов, В. В. Динамическая маршрутизация транспортных потоков как метод снижения транспортной нагрузки на элементы УДС / Зырянов В. В., Феофилова, А. А., Чуклинов, Н. Н. // Мир транспорта и технологических машин. 2018. № 1 (60). – С. 74-80.

33. Зырянов В. В. Анализ сетевой макромодели на примере улично-дорожной сети г. Цзинань (КНР) / Зырянов В. В., Цзянг Х. // Прогрессивные технологии в транспортных системах: сборник конференции, г. Оренбург, Оренбургский государственный университет, – 2019. – С. 556-651.

34. Зырянов В. В. Применение макроскопической фундаментальной диаграммы транспортного потока с использованием данных системы видеонаблюдения на улично-дорожной сети г. Цзинань КНР / Зырянов В. В., Цзянг Х. // Десятая всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2021): труды конференции, Санкт-Петербург: Изд-во АО «ЦТСС», – 2021. – С. 574-580.

35. Ивахненко А.М., Яшуков А.В., Саркиев В.М., Ошорова В.В., Нгуен Т. Алгоритмы введения временных ограничений или прекращения движения автомобилей в целях регулирования пропускной способности дорог // Трансп.: Наука, техн., упр./ ВИНТИ РАН.— 2018 № 12.— С. 51-57.
36. Клинковштейн Г. И., Афанасьев М. Б. Организация дорожного движения: Учеб. для вузов.— 5-е изд., перераб. и доп. — М: Транспорт, 2001 — 247 с.
37. Капитанов В. Т. Управление транспортными потоками в городах / Капитанов В. Т., Хилажев Е. Б. // — М.: Транспорт, 1985. — 94 с.
38. Клинковштейн Г. И. Организация дорожного движения: учебник для вузов / Клинковштейн Г. И., Афанасьев М. Б. // — М.: Транспорт, 2001. — 231 с.
39. Кочерга В. Г. Интеллектуальные транспортные системы в дорожном движении: учебное пособие / Кочерга В. Г., Зырянов В. В., Коноплянко В. И. // - Ростов н/Д: Рост. гор. ун-т, 2001. - 108 с.
40. Кременец, Ю.А. Технические средства организации дорожного движения / Ю.А. Кременец. — М.: Транспорт, 1990. — 255 с.
41. Коноплянко В. И. Организация и безопасность дорожного движения: учебник / М.: Высшая школа, 2007. 384 с.
42. Корчагин В.А. Искусственный интеллект и управление / В.А. Корчагин, В.Э. Клявин // Мир дорог. 2017. №94. С. 76-77.
43. Печерский М. П. Автоматизированные системы управления дорожным движением в городах / Печерский М. П., Хорович Б. Г. // — М.: Транспорт, 1979. — 176 с.
44. Левашев, А. Г. Развитие критериев оценки качества обслуживания на городском пассажирском транспорте / А.Г. Левашев, М.И. Шаров // Вестник Иркутского государственного технического университета. — 2015. — № 7. — С. 174—178.
45. Левашев А.Г. Михайлов А.Ю. Головных И.М. Проектирование регулируемых пересечений: Учеб. пособие - Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007 - 208 с.

46. Михайлов, А. Ю. Интегральный критерий оценки качества функционирования улично-дорожных сетей / А.Ю. Михайлов // Известия ИГЭА. – 2004. – № 2 (39). – с. 50–53.

47. Новиков, А.Н. Совершенствование дорожной сети для повышения пропускной способности с использованием средств транспортной телематики / А.Н. Новиков, В.А. Голенков, Ю.Н. Баранов, А.А. Катунин, А.С. Бодров // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2014. – № 6. – С. 128-139.

48. Плотников А.М. Разработка схем организации движения транспортных и пешеходных потоков на регулируемых перекрестках. Учебное пособие Ин-т безопасности дорожного движения. - Санкт-Петербург: Нестор-История, 2010. – 109 с.

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

50. Сильянов, В. В. Пропускная способность автомобильных дорог / В.В. Сильянов, Е.М. Лобанов, Ю.М. Ситников, Л.Н. Сапегин. – М.: Транспорт, 1972. – 152с.

51. Сильянов, В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения / В.В. Сильянов– М.: Транспорт, 1977. – 303 с.

52. Трофименко Ю.В. Транспортное планирование: формирование эффективных транспортных систем крупных городов: монография/Ю.В. Трофименко, М.Р. Якимов- М.: Логос, 2013. С.17-25.

53. Якимов, М. Р. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов: монография / М.Р. Якимов. – М.: Логос, 2013. – 188 с.

54. Ardekani, S. Urban network-wide variables and their relation. / Ardekani, S., Herman, R. // Transportation Science 21, – 1987, 1–16.

55. Asakura, Y. OD matrices estimation model using AVI data and its application to the Han-Shin express way network. / Asakura Y., Hato E., Kashiwadani M.// Transportation, – 2000, –vol. 27(4), 419–438.

56. Asakura, Y. Reliability Measures of an Origin and Destination Pair in a Deteriorated Road Network with Variable Flows. / Asakura Y. // *Transportation Networks: Recent Methodological Advances*, – 1999, 273–287.

57. Addison, J.D. A mathematical model for dynamic traffic assignment. In: Daganzo, C.F. (Ed.), / Addison, J.D., Heydecker, B.G. // *Transportation and Traffic Theory, Proceedings of the 12th International Symposium on Transportation and Traffic Theory*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, – 1993, pp. 171–184.

58. Boyacı B. Exploring the effect of variability of urban systems characteristics in the network capacity / Boyacı B., Geroliminis N. // In: *Transportation Research Board Annual Meeting*, – 2011, Washington, DC.

59. Buisson C. Exploring the Impact of the Homogeneity of Traffic Measurements on the Existence of Macroscopic Fundamental Diagrams. / Buisson C., Ladier C. // *Transportation Research Records, Journal of the Transportation Research Board*. – 2009.

60. Chen, X. Origin-Destination estimation based on automatic vehicle identification data / Chen X. // *Tsinghua university*. – 2015.

61. Chen, C. Detecting Error and Imputing Missing Data for Single-Loop Surveillance Systems / Chen C., Kwon J., Rice J., Skabardonis A., Varaiya P. // *Transportation Research Record*, –2003, (1855), 160–167.

62. Chang M.F. Trip time versus stop time and fuel consumption characteristics in cities / Chang M.F., Herman R. // “*Transp. Sci.*” – 1981, –vol.15, –№3, 183–209.

63. Chang M.F. An attempt to characterize traffic in metropolian areas / Chang M.F., Herman R. // “*Transp. Sci.*” – 1978, –vol.12, 58–79.

64. Courbon T. Cross-Comparison of Macroscopic Fundamental Diagram Estimation Methods. / Courbon T., Leclercq L. // *Procedia Social and Behavioral Sciences* 20, – 2011, Pages 417–426.

65. Daganzo, C.F. The nature of freeway gridlock and how to prevent it. In: Lesort, J.B. (Ed.) / Daganzo C.F. // *Transportation and Traffic Theory, Proceedings of the 13th International Symposium on Transportation and Traffic Theory*. Pergamon–Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, – 1996, pp. 629–646.

66. Daganzo, C.F. Queue spillovers in transportation networks with a route choice. / Daganzo C.F. // *Transportation Science* 32 (1), – 1998, 3–11.
67. Daganzo C.F. Urban gridlock: macroscopic modeling and mitigation approaches. / Daganzo C.F. // *Transportation Research Part B* 41 (1) – 2007, 49–62.
68. Daganzo C.F. Macroscopic relations of urban traffic variables: bifurcations, multivaluedness and instability / Daganzo C.F., Gayah V.V., Gonzales E.J. // *Transportation Research Part B* 45 (1), – 2011, 278–288.
69. Daganzo C.F. An analytical approximation for the macroscopic fundamental diagram of urban traffic / Daganzo C.F., Geroliminis N. // *Transportation Research Part B* 42 (9), – 2008, 771–781.
70. Geroliminis, N. Properties of a well-defined macroscopic fundamental diagram for urban traffic / Geroliminis N., Sun J. // *Transportation Research Part B* 45 (3), – 2011, 605– 617.
71. Geroliminis N. Existence of urban-scale macroscopic fundamental diagrams: some experimental findings. / Geroliminis, N., Daganzo, C.F. // *Transportation Research Part B* 42 (9), – 2008, 759–770.
72. Geroliminis N. Hysteresis Phenomena of a Macroscopic Fundamental Diagram in Freeway Networks / Geroliminis N., Sun J. // *Transportation Research Part A* 45, – 2011b, Pages 966-979.
73. Godfrey J.W. The mechanism of a road network / Godfrey J.W. // *Traffic Engineering and Control*, – 1969, –vol.11, 323–327.
74. Gayah V.V. Exploring the Effect of Turning Maneuvers and Route Choice on a Simple Network / Gayah V.V., Daganzo C.F. // *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, no. 2249, – 2011, Pages 15-19.
75. Gary A. D. Travel Time Estimation on Arterials / Gary A. D., Hui X. // *Access to Destinations Study Publications*, University of Minnesota, MN/RC 2007-35.
76. He, N. Study on Urban Road Impedance Function Model – A Case Study of Dalian City / He N., Zhao S.C. // *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, – 2014 –vol. 31(2), 104–108.

77. Herman R. Characterizing traffic conditions in urban areas / Herman R., Ardekani S.A. // "Transp. Sci." – 1984, –vol.18, –№3, 101–139.
78. Herman R. Trip time-stop time studies of extreme driver behaviors / Herman R., Malakhoff L.A., Ardekani S.A. // "Transp. Res." – 1998, –vol.22A, –№6, 427–433.
79. Herman R.A. two-fluid approach to town traffic / Herman R. Prigogine I. // "Science" – 1979, –vol.204, 148–151.
80. Helbing D. Derivation of a fundamental diagram for urban traffic flow / Helbing D. // The European Physical Journal B, – 2009, Pages 229-241.
81. Haddad, J. On the stability of traffic perimeter control in two-region urban cities. / Haddad, J., Geroliminis, N. // Transportation Research Part B 46, – 2012, 1159–1176.
82. Haddad J., Ramezani M., Geroliminis N. Cooperative traffic control of a mixed network with two urban regions and a freeway // Transportation Research Part B: Methodological, – 2013. – vol. 54. – C. 17– 36. DOI: 10.1016/j.trb.2013.03.007.
83. Haddad J. Optimal perimeter control synthesis for two urban regions with aggregate boundary queue dynamics // Transportation Research Part B: Methodological, – 2017. – vol. 96. – C. 1 – 25. DOI: 10.1016/j.trb.2016.10.016.
84. Haddad J. Mirkin B. Coordinated distributed adaptive perimeter control for large-scale urban road networks // Transportation Research Part C: Emerging Technologies, – 2017. – vol. 77. – C. 495 – 515. DOI: 10.1016/j.trc.2016.12.002.
85. Hansen, C. Estimation af nye speed-flow kurver. / Hansen, C. // Technical note (unpublished results), – 2011.
86. He, N. Study on Urban Road Impedance Function Model – A Case Study of Dalian City / He N., Zhao S.C. // Journal of Highway and Transportation Research and Development, – 2014 –vol. 31(2), 104–108.
87. Ji Y. Investigating the Shape of the Macroscopic Fundamental Diagram Using Simulation Data / Ji Y., Daamen W., Hoogendoorn S.P., Hoogendoorn-Lanser S., Qian X. // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, no. 2161, – 2010, Pages 40-48.

88. Ji Y. Spatial and temporal analysis of congestion in urban transportation networks. / Ji Y., Geroliminis N. // In: Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, DC, – 2011.
89. Kalman R.E. Contributions to the theory of optimal control. / Kalman R.E. // *Boletín Sociedad Matemática Mexicana* 5 – 1960, 102–119.
90. Khalil, H.K. *Nonlinear Systems*, third ed. Prentice Hall. / Khalil, H.K. – 2002.
91. Kouvelas A., Saeedmanesh M., Geroliminis N. Enhancing model-based feedback perimeter control with data-driven online adaptive optimization // *Transportation Research Part B: Methodological*, – 2017. – vol. 96. – C. 26– 45. DOI: 10.1016/j.trb.2016.10.011.
92. Li, X. A Traffic State Detection Tool for Freeway Video Surveillance System / Li X., She Y., Luo D., Yu Z. //13th COTA International Conference of Transportation Professionals (CICTP 2013), *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 96. – 2013. – P. 2453 – 2461.
93. Liu, Q. The establishment of traffic flow data platform and statistical analysis based on vehicle license plate recognition / Liu, Q. // Beijing jiaotong university. – 2009.
94. Liu, J. Vehicle License Plate Recognition System with High Performance / Liu J., Song J., Ding L., Ma H., Li P. // *Acta Automatica Sinica*, – 2003 –vol. 29(3), 457–464.
95. Laval J. The Effect Of Signal Timing And Network Irregularities In The Macroscopic Fundamental Diagram / Laval J. // Georgia Institute of Technology, – 2010.
96. Mahmassani, H. Performance of urban traffic networks. In: Gartner, N.H., Wilson, N.H.M. (Eds.), / Mahmassani, H., Williams, J.C., Herman, R. // 10th International Symposium on Transportation and Traffic Theory. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, – 1987.
97. Mussone, L. A Neural Network Approach to Motorway OD Matrix Estimation from Loop Counts / Mussone L., Grant-Muller S., Chen H. // *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, – 2010 –vol. 10(1), 88–89.

98. Mei, D. Research on obtaining vehicle OD matrix and dynamic traffic assignment simulation based on license plate date / Mei D. // People's public security university of China. – 2017.
99. Manzo S. Investigating uncertainty in BPR formula parameters: a case study / Manzo S., Nielsen O.A., Prato C.G. // Strategisk forskning i transport og infrastruktur, Danmarks Tekniske Universitet, – 2013.
100. Mazloumian A. The spatial variability of vehicle densities as determinant of urban network capacity / Mazloumian A., Geroliminis N., Helbing D. // Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences 368 (1928), – 2010, 4627–4647.
101. Nanne van der Zijpp. Dynamic OD-Matrix Estimation on Motorway Networks / Nanne van der Zijpp // – 1996.
102. Nanne van der Zijpp. Dynamic OD-Matrix Estimation from Traffic Counts and Automated Vehicle Identification Data. / Nanne van der Zijpp // Transportation Engineering Section, – 1997, –vol.17(6), 435–447.
103. Nanne van der Zijpp. A Dynamic Traffic Forecasting Application on the Amsterdam Beltway. / Nanne van der Zijpp // International Journal of Forecasting, – 1997, –vol.13(1), 87–103.
104. Nielsen, O.A. Estimation of speed-flow and flow-density relations on the motorway network in the greater Copenhagen region. / Nielsen, O.A., Jørgensen, R.M. // IET Intelligent Transport Systems, 2, 2, 120-131, – 2008.
105. Ozbay, S. Automatic Vehicle Identification by Plate Recognition. / Ozbay S., Ercelebi E. // Proceedings of World Academy of Science Engineering & Technology, – 2005.
106. Pontryagin, L. The Mathematical Theory of Optimal Processes. / Pontryagin, L., Boltyanskii, V., Gamkrelidze, R., Mishchenko, E. // Wiley-Interscience, NY. – 1962.
107. Road Traffic Safety Law of the People's Republic of China / Standing Committee of the Tenth National People's Congress of the People's Republic of China, - 2003.

108. Sastry, S. *Nonlinear Systems: Analysis, Stability, and Control*. Springer. / Sastry, S. – 1999.
109. Spiess, H. Conical volume-delay functions. / Spiess, H. // *Transportation Science*, Vol. 24, No.2, 1990.
110. Skabardonis, A. Improved Speed-Flow Relationship for Planning Applications. / Skabardonis A., Dowling R. // *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1572, National Research Council, Washington, D.C., – 1997, pp. 18-23.
111. Smeed, R.J. Road capacity of city centers. / Smeed, R.J. // *Traffic Engineering and Control* 8 (7), – 1966, 455–458.
112. Tam, M. L. Using Automatic Vehicle Identification Data for Travel Time Estimation in Hong Kong / Tam M. L., Lam W.H.K. // *Transportmetrica*, – 2008 –vol. 4(3), 179–194.
113. *Traffic Assignment Manual*. U.S. Department of Commerce, Bureau of Public Roads, June 1964.
114. *Transportation Research Record, Special Report 209: Highway Capacity Manual*. National Research Council, Washington, D.C., 2000.
115. Thomson, J.M. Speeds and flows of traffic in Central London: 2. Speed-flow relations. / Thomson, J.M. // *Traffic Engineering and Control* 8 (12), – 1967, 721– 725.
116. Wang, S. Improvement Study on BPR Link Performance Function / Wang S., Wang L., Gao L., Gui X., Chen X. // *Journal of Wuhan University of Technology*, – 2009 –vol. 33(3), 446–449.
117. Wardrop, J.G. Journey speed and flow in central urban areas. / Wardrop, J.G. // *Traffic Engineering and Control* 9 (11), – 1968, 528–532.
118. Xu F. Impacts of Traffic Management Measures on Urban Network Microscopic Fundamental Diagram / Xu F., He Z., Sha Z. // *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, vol. 13, No.2, – 2013, Pages 185-190.
119. Xie, C. Calibration-Free Arterial Link Speed Estimation Model Using Loop Data. / Xie C., Cheu R., and Lee D. // *ASCE J. of Transportation Engineering*, Nov/Dec -2001, pp. 507-514.

120. Zahavi, Y. Traffic performance evaluation of road networks by the a-relationship. / Zahavi, Y. // Parts I and II. Traffic Engineering and Control 14 (5 and 6), – 1972, 228–231, 292–293.

121. Zhang, Y. Traffic flow theory / Zhang Y., Yang L., Liu L., Zhang X. // Harbin institute of technology press. – 2016. – P. 51–63.

122. Zhou, H. Analyzing multiple types of behaviors from traffic videos via nonparametric topic model. / Zhou H., Yu H., Hu R., Zhang G., Hu J., He T. // Journal of Visual Communication and Image Representation. – 2019. – V.64.

123. Zhang L. A comparative study of Macroscopic Fundamental Diagrams of urban road networks governed by different traffic signal systems / Zhang L., Garoni T.M., de Gier J. // Transportation Research Part B, Preprint submission, – 2011.

124. Zhang L., Garoni T., Gier J. A comparative study of Macroscopic Fundamental Diagrams of arterial road networks governed by adaptive traffic signal systems // Transportation Research Part B: Methodological, – 2013. – vol. 49. – P. 1– 23. DOI: 10.1016/j.trb.2012.12.002.

125. Zhao, Y. The propagation of uncertainty through travel demand models; an explanatory analysis. / Zhao, Y., Kockelman, M. // Annals of Regional Science, 36, 145-163, – 2001.

Приложение А



山东正衢交通工程研究院
Shandong Zhengqu Traffic Engineering Research
Institute

250000, 中华人民共和国山东省济南市市中区经七路 28-1
号

E-mail: 15820098309@163.com

2022 年 4 月 7 日

证明

关于俄罗斯联邦科学与高等教育部顿河国立技术大学副博士研究生姜海岩的题为“网络层级的交通流管理方法发展”的毕业论文研究结果使用意见,该论文将呈报申请 2.9.5-“汽车交通管理”专业副博士学位答辩

经研究,副博士研究生姜海岩的题为“网络层级的交通流管理方法发展”的毕业论文在智能交通系统发展中具有理论价值和研究意义。其材料和基本研究结果拓展了基于交通流宏观基本图的交通流优化方法,可以适用于复杂城市路网的区域边界控制管理。

山东正衢交通工程研究院院长
综合交通研究所所长
工学博士,教授



白翰

ПЕРЕВОД



**Шаньдунская научно-исследовательская
академия транспортной инженерии Чжэнцзюй**
**Shandong Zhengqu Traffic Engineering Research
Institute**

250000, ул. Цзинци 28-1, район Шичжун, г. Цзинань,
провинция Шаньдун, Китайская Народная Республика
E-mail: 15820098309@163.com
Дата: 07. апреля. 2022 г.

АКТ

об использовании результатов диссертационного исследования Цзянг Хайянь на тему: «Развитие методов управления дорожным движением на сетевом уровне», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности (2.9.5) - Эксплуатация автомобильного транспорта

Диссертационная работа выполнена Цзянг Хайянь в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Донской государственный технический университет (ДГТУ)» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Диссертационная работа на тему «Развитие методов управления дорожным движением на сетевом уровне» является теоретической основой и научно-исследовательским значением в развитии интеллектуальной транспортной системе. Материалы и основные результаты исследования обеспечивают расширению методов оптимизации дорожного движения на основе макроскопической основной диаграммы транспортного потока, могут быть использованы к управлению пограничного контроля на улично-дорожной сети города Цзинань, имеющего сложную топологическую структуру.

Президент Шаньдунской научно-исследовательской
академии транспортной инженерии Чжэнцзюй,
Директор Института комплексных
транспортных исследований,
доктор технических наук, профессор

Бай Хан

Приложение Б



山东交通学院 交通与物流工程学院

Shandong Jiaotong University, School of Transportation and Logistics Engineering

250357, 中华人民共和国山东省济南市长清区大学科技园海棠路 5001 号

学院电话: +86-531-8068-7246

2022 年 4 月 7 日

证明

关于俄罗斯联邦科学与高等教育部顿河国立技术大学副博士研究生姜海岩的题为“网络层级的交通流管理方法发展”的毕业论文研究结果作为教学材料的使用意见, 该论文将呈报申请 2.9.5 - “汽车交通管理”专业副博士学位答辩

副博士研究生姜海岩的题为“网络层级的交通流管理方法发展”的毕业论文的研究材料和结果使得适用于复杂城市路网的交通流优化算法更加完善, 其基本研究结果可以作为教学材料应用于普通高等学校“交通工程”本科专业的实验研究课程。

山东交通学院 交通与物流工程学院
分党委副书记, 院长
山东正衢交通工程研究院理事长
山东省交通与物流工程协会副会长
北京交通大学兼职教授
工学博士, 教授



张萌萌

ПЕРЕВОД



**Шаньдунский транспортный университет (ШТУ)
Институт «инженерия транспорта и логистики»**

**Shandong Jiaotong University, School of Transportation and
Logistics Engineering**

250357, ул. Хайтан, 5001, Университетский научно-
технический парк, район Чанцин, г. Цзинань, провинция
Шаньдун, Китайская Народная Республика

Тел.: +86-531-8068-7246

Дата: 07. апреля. 2022 г.

АКТ

О внедрении в учебный процесс Института «инженерия транспорта и логистики» ШТУ результатов диссертационного исследования Цзянг Хайянь на тему: «Развитие методов управления дорожным движением на сетевом уровне», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности (2.9.5) - Эксплуатация автомобильного транспорта

Материалы и результаты диссертационного работы Цзянг Хайянь на тему: «Развитие методов управления дорожным движением на сетевом уровне» позволяют усовершенствованию алгоритма оптимизации дорожного движения на сложной улично-дорожной сети города, внедрены в учебный процесс и используются как учебные материалы при подготовке специалистов по направлению «инженерия транспорта» института управления при чтении лекций и проведении практически-лабораторных занятий по бакалаврскому программе.

Директор Института «инженерия транспорта и логистики» ШТУ,
Председатель Шаньдунского научно-исследовательского академии транспортного инженерии Чжэнцуй,
Вице-президент Шаньдунской Ассоциации инженеров транспорта и логистики,
доктор технических наук, профессор

Чжан Мэнмэн