

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Донской государственный технический университет»

На правах рукописи



Шэн Цзинсян

**РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ И
ТРАНСПОРТНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ В МАЛЫХ И СРЕДНИХ ГОРОДАХ
КИТАЙСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ**

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-2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава 1. Текущая ситуация с транспортным планированием и организацией дорожного движения в Китае	9
1.1 Некоторые особенности развития транспортного планирования и организации дорожного движения в Китае	10
1.2 Анализ структуры транспортного планирования в Китае	17
1.3 Действующая национальная система стандартов	22
1.4 План национальной комплексной сети	24
1.5 Местные соответствующие стандарты	39
1.6 Сравнение подходов транспортного планирования в Китае и других странах	42
1.7 Управление городским дорожным движением	45
Глава 2. Анализ модели транспортного планирования в малых и средних городах Китая	49
2.1 Четырехшаговая модель транспортного планирования	49
2.2 Развитие моделей транспортного планирования	53
2.3 Особенность подхода к транспортному планированию в малых и средних городах Китая	70
Глава 3. Исследование организации дорожного движения и транспортного планирования в городе Цзясян	81
3.1 Анализ дорожного движения в городе Цзясян	81
3.2 Методы проектирования и расчет параметров регулируемых пересечений	91
3.3 Создание новой системы для решения проблем с дорожным движением	100
Глава 4. Совершенствование организации дорожного движения на основе транспортного планирования	110
4.1 Основные направления организации дорожного движения	110
4.2 Критерии оценки условий дорожного движения	119
4.3 Внедрение и оценка результатов	124
Заключение	143
Список литературы	145
Приложение	157

Введение

Актуальность темы исследования.

С ростом автомобилизации и увеличением численности городского населения решение проблем мобильности становится все более сложным. Трудности, связанные с транспортным обеспечением, такие как транспортные заторы и длительное время в пути, не только влияют на качество жизни, но и являются источником значительных экономических потерь.

Комплексное исследование транспортных систем, существующих методов транспортного планирования и организации дорожного движения может дать полное и достоверное представление о пространственных и временных изменениях в состоянии транспортной системы. Это в свою очередь является ключевым условием разработки эффективных мероприятий и обеспечении обратной связи между реализуемыми мерами и фактическими изменениями в транспортной системе. В связи с этим в Китайской Народной Республике на государственном уровне уделяется значительное влияние как научному обеспечению транспортного планирования, так и практическому внедрению.

В 2019 году Госсовет КНР принял "План развития цифрового транспорта" в котором поставлены задачи создания удобной и бесперебойной городской транспортной системы на основе соблюдения закономерностей городского развития, целостности, системности в развитии цифровизации применительно к транспортному планированию и организации дорожного движения. В марте 2021 года в китайском документе «Схема планирования национальной комплексной транспортной сети» определены целевые параметры построения к 2035 году национальной комплексной сети, которая будет надежной и безопасной, экономически эффективной, экологичной, интеллектуальной, удобной и комфортной. Научное обоснование решения этих задач является основой достижения поставленных целей.

Малые и средние города являются важной частью городской системы Китая. Исследования в области транспортного планирования и управления движением в малых и средних городах обеспечивают поддержку и гарантию экономического и

социального развития городов и улучшения жизни населения. Тем более, что в Китае в настоящее время существует определенный разрыв в уровне решения задач функционирования транспортных систем между большими и средними городами. Особо актуальным это является для создания условий для интеграции городского планирования, организации дорожного движения, экономики транспорта, экологической среды, инновационных технологий.

Степень изученности проблемы.

Научные основы организации дорожного движения и транспортного планирования, практического применения этой области знаний, заложены в научных трудах ведущих российских, китайских ученых, а также ученых многих других стран: Агуреева И.Е., Бабкова В.Ф., Власова В. М. , Горева А.Э., Донченко В.В., Дорохина С.В., Евтюкова С.А., Еремина С.В., Жанказиева С.В., Зедгенизова А.В., Зырянова В. В., Клинковштейна Г.И., Клявина В.Э., Коноплянко В.И., Ли Жуйминь, Лу Хуапу, Михайлова А.Ю., Надер.Р., Новикова А.Н., Новикова И.А., Сильянова В.В., Стигсона Г., Тилгрена П., Трофименко Ю.В., Хаддора В., Шевцовой А.Г., Элвика Р., Якимова М.Р. и других.

Анализ исследуемой проблемы показал, что, несмотря на значимые научные результаты, в настоящее время как в науке, так и на практике существует разрыв между задачами транспортного планирования, организации дорожного движения и исследования в этой области являются актуальными.

В работе по транспортному планированию других малых и средних городов исследования необходимо сочетать с местными условиями для формулирования местных планов и разработки улучшенного транспортного планирования и интеллектуальной транспортной системы. Также необходимо найти подходы, который позволит выбрать лучшие решения при реализации различных мер по устранению причин дорожных заторов в малых и средних городах Китая.

Целью диссертационной работы является повышение эффективности функционирования дорожной сети городов на основе методов интеграции транспортного планирования и организации дорожного движения.

Задачи исследования:

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ подходов к транспортному планированию и организации дорожного движения, выявить основные интеграционные процессы при комплексном решении развития транспортных систем городов, используя опыт Китайской Народной Республики;
- осуществить сбор экспериментальных данных о транспортной системе и параметрах дорожного движения г. Цзясан с применением современных методов исследования;
- изучить свойства различных моделей транспортного планирования с выявлением подходов, обеспечивающих взаимосвязь задач транспортного и территориального планирования, организации дорожного движения;
- сформулировать принципы и способы улучшения транспортного планирования и организации дорожного движения в малых и средних городах, разработать структуру системы поддержки принятия решений, включающую функции интеллектуальных транспортных систем;
- применить результаты исследований для решения реальных задач организации дорожного движения на улично-дорожной сети г. Цзясан (КНР).

Объект исследования: процессы транспортного планирования и организации дорожного движения в малых и средних городах.

Предмет исследования: параметры дорожного движения на улично-дорожной сети городов.

Рабочая гипотеза заключается в предположении, что применение разработанных моделей и методов повысит уровень транспортного планирования и организации дорожного движения

Научная новизна работы:

- предложена классификация моделей транспортного планирования с учетом требований по интеграции транспортного и территориального развития по функциональным признакам, особенностей формализации, уровню детализации для макро и микроуровней, возможностям анализа процессов развития в динамике;

- получена модель, описывающая изменения не только параметров транспортного потока интенсивности, плотности и скорости, но учитывающая также среднее время поездки, что позволяет использовать модель для оценки условий движения на сетевом уровне;

- разработана методика оценки условий движения, включающая авторский вариант определения уровней обслуживания по предложенной модели и вариант модернизации принятых в КНР уровней обслуживания;

- разработана структура системы поддержки принятия решений по организации дорожного движения и транспортному планированию в средних и малых городах КНР, с учетом интероперабельности процессов в этих направлениях деятельности.

Теоретическая значимость работы определяется логически связанными моделью оценки условий дорожного движения, методикой применения предложенных уровней обслуживания и структурой системы принятия решений, объединяющих транспортное планирование и организацию дорожного движения.

Практическая значимость работы заключается в возможности применения нового метода планирования дорожного движения для улучшения управления дорожным движением и повышения эффективности дорожного движения.

Методы исследования.

В диссертационной работе использовались следующие методы исследования:

- литературные источники и научные публикации в области транспортного планирования и организации дорожного движения, моделирования транспортных потоков;

- экспериментальные исследования с использованием совокупности различных методов – дроны, данные навигационных систем Бэйдоу/GPS, транспортные детекторы;

- статистический анализ данных с использованием математических методов.

Положения, выносимые на защиту:

- классификация моделей транспортного планирования в соответствии с современными требованиями интеграции задач транспортного планирования,

организации дорожного движения, интеллектуальных транспортных систем;

- модель, описывающая зависимости между интенсивностью, плотностью, скоростью с учетом длины поездки с возможностью использования для оценки условий движения;

- методика оценки условий дорожного движения на основе разработанной модели, а также на основе скорректированных граничных значений параметров транспортного потока для уровней обслуживания;

- архитектура и процессы платформы системы поддержки принятия решений для управления дорожным движением и транспортного планирования в малых и средних городах Китайской Народной Республики;

Степень достоверности и апробация результатов.

Обоснованность и достоверность результатов диссертационной работы подтверждается применением современных технических средств при экспериментальных исследованиях, математических методов, апробацией результатов на научных конференциях.

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на ряде научно-практических конференций: IX международной научно-практической конференции «Информационные технологии и инновации на транспорте» (Орел, 2023 г.), IV международной конференции «Устойчивое и инновационное развитие в цифровом глобальном пространстве» (Ростов-на-Дону, 2024 г.), X международной научно-практической конференции «Информационные технологии и инновации на транспорте» (Орел, 2024 г.). Международной научно-практической конференции «Интеллектуальные транспортные системы в дорожном комплексе» (Ростов-на-Дону, 2024).

Результаты диссертационной работы используются Институтом планирования и проектирования г. Цзинин и Шаньдунским научно-исследовательским институтом дорожной техники Чжэнцзю что подтверждено актами внедрения.

Достоверность результатов. Подтверждена теоретически – посредством обоснования целей, задач и методологии исследования – и экспериментально –

путем внедрения нового метода анализа транспортных потоков для оценки эффективности транспортной системы. На основе интеграции интеллектуальных транспортных систем (ИТС) с традиционными методами планирования предложены решения по оптимизации дорожного движения в малых и средних городах КНР. Результаты исследования опубликованы в изданиях, индексируемых в Scopus/Web of Science, а также в журналах, входящих в перечень ВАК.

Личный вклад автора. Все ключевые результаты исследования, включая разработку методов оптимизации дорожного движения, получены автором самостоятельно.

Соответствие диссертационной работы паспорту специальности.

Выполненные исследования отвечают формуле паспорта научной специальности 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта: пункт 5. Организация и управление грузовыми и пассажирскими автомобильными перевозками, автотранспортными потоками, транспортное планирование и моделирование.

Публикации

Основные положения диссертации опубликованы в 9 статьях, в том числе 3 в изданиях из перечня рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций, 1 в изданиях, включенных в зарубежную аналитическую базу данных Scopus и Web of Science, 5 в изданиях, индексируемых РИНЦ.

Структура и объем работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 117 наименований и трех приложений. Текст диссертации изложен на 156 страницах, включает 22 таблиц, 15 рисунков.

Глава 1. ТЕКУЩАЯ СИТУАЦИЯ С ТРАНСПОРТНЫМ ПЛАНИРОВАНИЕМ В КИТАЕ

1.1 Некоторые особенности развития транспортного планирования и организации дорожного движения в Китае

Развитие транспортной системы тесно взаимосвязано с развитием народного хозяйства. С одной стороны, устойчивый экономический рост стимулирует расширение транспортной инфраструктуры, с другой – эффективное функционирование транспорта способствует дальнейшему развитию экономики. В Китае сформирована комплексная транспортная система, включающая авиационный, железнодорожный, автомобильный, водный и трубопроводный виды транспорта. Однако на фоне роста населения, увеличения числа автомобилей и роста пассажиро- и грузопотоков в транспортной сфере проявляются следующие проблемы:

I . Дисбаланс между ростом автомобильного парка и пропускной способностью дорог

В последние годы благодаря активному развитию автомобильной промышленности количество транспортных средств в Китае стремительно увеличивается как в городах, так и в сельской местности. Согласно статистическим данным, среднегодовой прирост автомобильного парка достигает 20%. Однако плотность дорожной сети остаётся на относительно низком уровне, особенно в городских районах, где показатель обеспеченности дорожной инфраструктурой на душу населения не превышает 10 км². Несмотря на расширение дорожной сети, темпы её развития отстают от скорости увеличения числа транспортных средств, что приводит к хронической перегрузке транспортной системы.

1. Нерациональная структура дорожной сети

Под влиянием исторических, градостроительных и проектных факторов во многих регионах Китая наблюдается несбалансированная структура дорожной сети. Соотношение магистральных, второстепенных и вспомогательных дорог не

соответствует принципам иерархической организации транспортной инфраструктуры. Даже при постоянном расширении основных магистралей после их ввода в эксплуатацию наблюдается концентрация транспортных потоков на новых участках, что снижает их эффективность их использования. Кроме того, недостаточная доля улиц с односторонним движением негативно влияет на интенсивность транспортных потоков. Наличие разрывов в дорожной сети, узких мест и низкая связность маршрутов, обусловленные плотной застройкой, также снижают пропускную способность транспортной системы.

2. Низкий уровень управления дорожным движением

В настоящее время зарубежные страны активно внедряют передовые технологии интеллектуального управления дорожным движением, обеспечивая комплексный контроль за перекрестками и транспортными потоками. В то же время в Китае уровень распространения интеллектуальных систем управления остается недостаточным. С технологической точки зрения, существующие решения не позволяют в полной мере учитывать взаимосвязь между пешеходами, транспортными средствами и дорожной инфраструктурой, а также не обеспечивают точного прогнозирования и регулирования транспортного спроса. Недостаточная информатизация управления, низкая пропускная способность дорог и неэффективное распределение потоков приводят к перерасходу транспортных ресурсов, увеличению заторов и ухудшению экологической обстановки [47, 53, 77, 113].

При планировании городских дорог в Китае зачастую учитывается лишь текущее зонирование территорий, тогда как в крупных и средних городах предпринимаются попытки прогнозирования будущего развития с учетом роста численности населения и увеличения транспортных потоков. Однако по сравнению с мировыми мегаполисами транспортное планирование в Китае остается недостаточно проработанным. Современный уровень организации дорожного движения в стране соответствует стандартам некоторых западных государств XX века, что на фоне растущего числа автомобилей усугубляет проблемы урбанизации.

Следует отметить, что транспортное планирование как отрасль в Китае

начало развиваться лишь во второй половине XX века. Активное внимание к нему стало уделяться в период реформ и открытости на фоне устойчивого экономического роста и ускоренной урбанизации. Грамотное планирование транспортных систем способствует социально-экономическому развитию и поддерживает функциональность городской инфраструктуры.

Однако стремительный рост автомобилизации обострил такие проблемы, как заторы, загрязнение среды и аварийность, особенно в крупных городах и агломерациях. В связи с этим государственные органы стали уделять больше внимания транспортному планированию как инструменту устойчивого развития городов. В условиях цифровизации отрасль сталкивается с новыми вызовами и перспективами. С одной стороны, транспортные системы должны адаптироваться к социально-экономическим реалиям информационной эпохи, обеспечивая безопасность и эффективность перевозок. С другой стороны, внедрение информационных технологий позволяет пользователям получать актуальные данные о дорожной обстановке и принимать оптимальные маршрутные решения. Аналитические системы способны оптимизировать транспортные потоки, балансировать нагрузку на дорожную сеть и повышать общую эффективность работы городского транспорта [3, 13].

Китай начал применять электронную информацию и технологии автоматического управления в управлении транспортом в 1970-х годах. В 1980-х годах страна внедрила некоторые системы управления дорожным движением и начала базовые научно-исследовательские работы. В 1990-х годах началось строительство центров управления дорожным движением, а также проводились исследования по информационным системам для водителей, интеллектуальным технологиям управления дорожным движением и другим направлениям. В 2000 году была учреждена Координационная руководящая группа Национальной интеллектуальной транспортной системы (ИТС) и её экспертно-консультативный комитет, а в 2001 году завершено «Исследование структуры интеллектуальной транспортной системы Китая».

С 2001 по 2005 год в Пекине, Шанхае, Гуанчжоу и других городах были

реализованы демонстрационные проекты, ориентированные на внутригородские и междугородние автомобильные перевозки. Основными направлениями стали интеллектуальное управление дорожным движением, автоматизированная диспетчеризация транспорта, интеллектуальные системы управления автобусными маршрутами и создание интегрированных платформ для обработки дорожной информации. С 2006 по 2010 год при поддержке специальных проектов программы «863» был достигнут существенный прогресс в разработке ключевых технологий, включая интеллектуальное управление дорожным движением, системы повышения безопасности вождения, мониторинг состояния транспортных средств и раннее предупреждение аварий.

В период с 2011 по 2015 год были внедрены усовершенствованные системы управления транспортными потоками, автоматизированные системы общественного транспорта, информационные сервисы для пассажиров, системы реагирования на чрезвычайные ситуации и электронные системы взимания платы за проезд. С 2016 по 2020 год Государственный совет КНР утвердил «13-й пятилетний план создания современной комплексной транспортной системы», в котором интеллектуализация транспорта была определена как приоритетное направление развития.

В настоящее время многие города Китая добились значительных успехов в развитии интеллектуальных транспортных систем. В области управления дорожным движением были созданы комплексные системы, объединяющие сбор и анализ данных, управление сигналами светофоров и предоставление информации для пользователей. В сфере общественного транспорта к 2018 году были реализованы шесть ключевых функций интеллектуальных автобусных систем, включая мультиплатёжные решения и автоматизированные системы взаиморасчётов. Интеллектуальные парковочные системы обеспечили доступ к информации через интернет, мобильные приложения и автомобильную навигацию. Кроме того, ведутся исследования в области автономного вождения, включая создание тестовых полигонов и реального использования беспилотных автомобилей такси.

Интеллектуальное развитие интегрированной транспортной системы Китая достигло значительных успехов. В области интеллектуализации транспортной инфраструктуры скоростные автомагистрали лидируют по уровню автоматизации управления; активное развитие высокоскоростных железных дорог и внедрение цифровых технологий способствовали прогрессу в сфере железнодорожной информатизации и интеллектуальных систем; водный транспорт также добился определенных достижений в области передачи данных и коммуникации; информационные системы гражданской авиации Китая соответствуют передовым мировым стандартам.

В сфере интеллектуальных транспортных средств в Китае активно развивается система электронного взимания платы (ETC), и к настоящему времени в основном завершено создание общенациональной сети ETC для автомагистралей. В области интеллектуального управления и координации движения реализуются технологии анализа работы транспортных систем городских агломераций в режиме реального времени.

В сентябре 2017 года Министерство транспорта КНР опубликовало "План действий по интеллектуальному транспорту для повышения удобства передвижения (2017-2020)", направленный на создание системы интеллектуального транспортного обслуживания с участием бизнеса и развитие концепции "Интернет + удобный транспорт". Впоследствии в Китае были реализованы инициативы "Интернет + удобный транспорт", "Интернет+эффективная логистика", "План действий по интеллектуальному транспорту" и другие, началось внедрение технологий интернета вещей, больших данных, искусственного интеллекта и автономного вождения в транспортное управление, что ускорило развитие новых интеллектуальных транспортных решений.

В "Десятом пятилетнем плане (2001-2005)" при поддержке ключевых государственных научно-технических проектов, а также Национальной комиссии по развитию и реформам, Министерства транспорта и Министерства науки и техники были проведены исследования ключевых технологий, разработка

специализированного оборудования и прикладных систем с акцентом на интеллектуальное управление дорожным движением, системы диспетчеризации, платформы транспортной аналитики и другие направления, ориентированные на городской и междугородний автомобильный транспорт. Демонстрационные проекты были реализованы в 13 городах, включая Пекин, Шанхай, Гуанчжоу, Шэньчжэнь, Тяньцзинь и Чунцин [1,5,8,9].

История развития транспортного планирования в Китае включает ряд важных этапов: в 1978 году проведены исследования грузопотоков в Пекине и движения грузовиков в Шанхае; в 1981 году осуществлен опрос жителей Тяньцзиня о транспортных предпочтениях; в 1983 году проведено исследование перспектив развития городского транспорта; в 1984 году при разработке генплана Шэньчжэня впервые применена "четырёхшаговая модель транспортного планирования"; в 1985 году выпущен сборник по проектированию дорожной сети, а также начата работа над проектом комплексной транспортной системы Пекина; в 1986 году разработана модель интегрированной транспортной системы для мегаполисов; в 1992-1995 годах совместно со Всемирным банком проведено исследование стратегий развития городского транспорта, итогом которого стала "Пекинская декларация"; в 1995 году принят Кодекс планирования и проектирования городского дорожного движения; в 2010 году разработано Руководство по планированию интегрированных транспортных систем; в 2019 году утверждены стандарты для таких систем.

Кроме того, государством были приняты "Основные направления строительства сильного транспортного государства", а в марте 2021 года опубликована "Схема планирования национальной комплексной трехмерной транспортной сети".

Оптимизация структуры и содержания планирования городского транспорта была направлена на решение двух ключевых задач: укрепление взаимосвязи с системой городского планирования и поддержку планировочных и функциональных схем градостроительной деятельности, а также координацию и стандартизацию взаимодействия между различными уровнями и типами транспортного планирования для обеспечения преемственности решений.

С учётом механизмов городского планирования, управления строительством и практических потребностей, система планирования городского транспорта включает три уровня: комплексное планирование городской транспортной системы, которое представляет собой специализированный раздел генерального плана города и обеспечивает его разработку; специальное планирование городского транспорта, включая среднесрочное и краткосрочное отраслевое планирование, служащее основой для детальных управленческих решений и рабочих планов правительства; а также оценку влияния городских строительных проектов на дорожное движение (расширение планирования).

Следует отметить, что оценка транспортного воздействия, строго говоря, не относится к содержанию транспортного планирования, однако играет важную роль в поддержке процессов городского планирования, строительства и управления. При этом в различных городах применяются отличающиеся организационные подходы и методы управления на этапе реализации проектов.

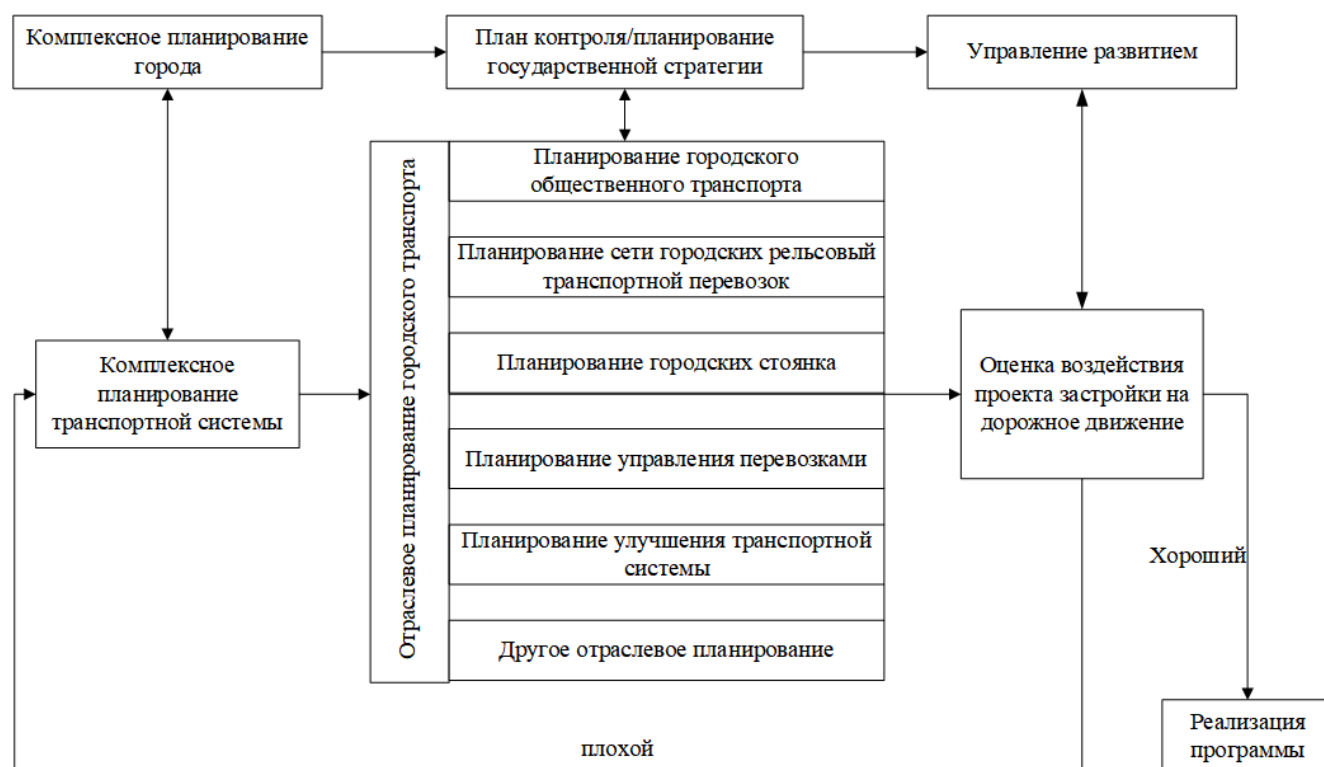


Рис. 1.1 - Система планирования и подготовки городского транспорта

Городское комплексное транспортное планирование включает в себя три основные составляющие: общий план, планы подсистем и реализацию плана.

(1) Общее планирование состоит из двух взаимосвязанных компонентов: стратегии развития транспорта и организации комплексной транспортной системы. Стратегия развития транспорта фокусируется на исследованиях политического и стратегического уровня, предполагая оптимизацию выбора модели транспортного развития на основе социально-экономических показателей города и его градостроительных целей. В рамках стратегии определяются взаимосвязи между транспортным развитием и планировкой городских и пригородных территорий, а также между транспортной системой и городским землепользованием. Формулируются стратегические цели развития комплексной транспортной системы, включая региональные аспекты и модальную структуру транспорта, разрабатываются соответствующие политики и стратегии. Организация комплексной транспортной системы направлена на создание функционально завершенной системы, координирующей работу городского транспорта в соответствии с генеральными целями развития и стратегией распределения транспортных ресурсов. Дополнительно устанавливаются принципы и требования к планированию и территориальному размещению объектов.

(2) Планирование подсистем охватывает восемь ключевых направлений: внешнюю транспортную систему, систему городских дорог, систему общественного транспорта, систему пешеходных и велосипедных перемещений, пассажирские транспортные узлы, систему городских парковок, систему грузовых перевозок, а также управление движением и транспортную информатизацию. Планирование подсистем осуществляется в соответствии с общими целями развития и стратегиями распределения ресурсов, определенными в генеральном плане. Основное внимание уделяется комплексному размещению объектов транспортной инфраструктуры, установлению нормативов землепользования и разработке конкретных мер по управлению каждой подсистемой.

(3) Реализация плана включает финальный план и гарантии его выполнения. Финальный план разрабатывается с учетом перспективных целей городского развития и финансовых возможностей муниципалитета, следуя принципам конкретности, необходимости и реализуемости. В нем предусматриваются

мероприятия по модернизации транспортной инфраструктуры и механизмы их реализации. Гарантии выполнения плана формулируются с акцентом на системность, эффективность и практическую осуществимость, включая механизмы управления реализацией, технико-экономическую политику и конкретные меры по обеспечению выполнения намеченных мероприятий.

1.2 Анализ структуры транспортного планирования в Китае

Транспортное планирование представляет собой сложный системный проект, охватывающий широкий спектр задач. Оно требует не только учета национальной и региональной политики социально-экономического развития, но и проведения комплексных исследований, включающих анализ социально-экономического положения региона, демографических характеристик, земельных и ресурсных потенциалов, состояния транспортной системы и факторов спроса. Кроме того, необходима систематическая и детальная аналитическая работа, направленная на прогнозирование динамики указанных элементов, а также на обоснованную разработку и оценку планировочных решений [94, 98].

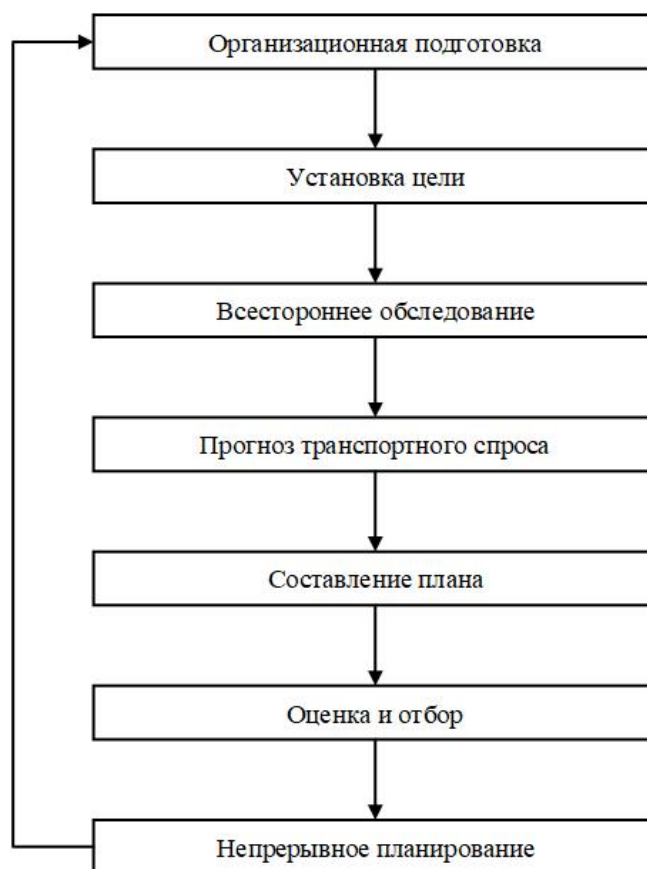


Рис. 1.2- Процесс планирования дорожного движения

Организационная подготовка

Первым шагом в транспортном планировании является организационная работа. Необходимо сформулировать общий план транспортного планирования, определить его задачи, уточнить ответственное подразделение с соответствующими полномочиями, создать техническую группу или консультативный орган для выполнения работы, а также наладить взаимодействие с государственными органами, принимающими решения, установить контакт и сотрудничество с другими профильными департаментами и, при необходимости, привлекать к обсуждениям представителей различных слоёв общества.

Установка цели

Для определения направленности транспортного планирования необходимо сформулировать его рабочие цели и цели развития транспортной системы. Рабочие цели включают содержание, требования, форму и объём конечных результатов, представленных в виде текстов, диаграмм и других материалов. Цели развития транспортной системы, отражённые в плане, заключаются в следующем:

(1) Обеспечение надлежащей доступности перевозок пассажиров и грузов.

Эта цель включает:

- ① Обеспечение движения по кратчайшим маршрутам
- ② Минимизацию транспортных издержек
- ③ Обеспечение достаточной пропускной способности системы
- ④ Обеспечение надлежащей безопасности системы.
- ⑤ Обеспечение достаточной надёжности системы

(2) Достижение экологического баланса. Эта цель подразумевает:

① Равномерное распределение производственных трудовых образовательных и жилых зон в регионе.

② Содействие рациональному землепользованию и развитию транспортной инфраструктуры

③ Снижение социальной напряжённости и устойчивое развитие региональной экономики и транспорта.

④ Уменьшение загрязнения воздуха и шума

3. Всестороннее обследование

Транспортное планирование требует комплексного исследования, включающего сбор экономических, социальных, экологических и транспортных данных. Целью является анализ предпосылок развития транспорта, его текущего состояния, спроса и тенденций для обоснования планировочных решений.

(I). Сбор данных по объекту исследования включает:

- ① электронные и туристические карты;
- ② социальноэкономические показатели, данные по землепользованию, численность населения, уровень автомобилизации (с разделением на городские и мегаполисные зоны), статистику ДТП (с дифференциацией по типам населённых пунктов), структуру транспортной администрации, состояние инфраструктуры, зоны контроля и нормативные акты в сфере дорожного движения, принятые за анализируемый период;
- ③ Таблица дорожных ресурсов длина, ширина, площадь, тип поперечного сечения и характер дороги

Табл. 1.1- Таблица дорожных ресурсов

Порядковый номер	Наименование дороги	Начальная и конечная точка дороги	Ширина (м)	Длина (м)	Тип поперечного сечения	Функционал дороги

④ Существующие меры контроля в основном включают установку существующих однополосных линий, введение участков с ограничением скорости, организацию зон с запретом парковки, выделение зон с ограничением уровня шума, создание транзитных маршрутов, выделение специальных полос для грузового транспорта, монтаж светофорных объектов, систем автоматической фиксации нарушений (электронная полиция), видеонаблюдение, размещение постов общественной безопасности, установку дорожных знаков, монтаж разделительных

ограждений, а также организацию парковочных зон следующих категорий: А. Общественные парковки общего пользования; В. Стоянки, входящие в состав зданий; С. Внеуличные парковочные площадки.

⑤ Анализ текущего состояния дорожной инфраструктуры

(1). Фотофиксация существующего состояния проектируемого перекрестка или участка дороги

Ключевые аспекты для съемки: 1. Конфигурация полос движения на каждом подъезде, система водоотведения, наличие дорожных знаков и применяемые методы регулирования; 2. Общая панорама перекрестка; 3. Выявление конфликтных точек (нерегламентированные или опасные ситуации).

Параметры наблюдения за перекрестком и методы контроля: 1. Фиксация фаз светофорного цикла, продолжительности периодов и длительности зеленой фазы; 2. Типология перекрестка, особенности организации движения, профиль поперечного сечения, применяемые методы регулирования, наличие автоматических систем фиксации нарушений и пешеходных светофоров.

(2). Исследование дорожной сети

Проверка соответствия фактической конфигурации перекрестка данным электронных карт. Анализ актуального состояния дорожной сети, включая недавно введенные объекты и перспективные проекты долгосрочного развития.

(3). Проведение исследования характеристик транспортных потоков с предоставлением дополнительных данных (текстовые описания, фотоматериалы, результаты натурных наблюдений)

(i) Анализ направлений движения транспортных потоков;

(ii) Исследование скоростных режимов транспортных средств.

4. Прогноз транспортного спроса

Проведенное исследование служит основой для дальнейшего планирования. На этапе анализа и прогнозирования требуется обработка данных, полученных в ходе опросов, а также применение специализированных методов моделирования для оценки будущей транспортной нагрузки. Эти методики позволят спрогнозировать уровень спроса на транспортные услуги в исследуемом регионе

на перспективу.

Сопоставление и обработка данных включает анализ интенсивности движения механизированного и немеханизированного транспорта в часы пик, детализированные данные о пропускной способности перекрестков, сводные показатели уровня загруженности перекрестков, а также структуру транспортного потока по типам ТС с анализом количественного соотношения между различными категориями транспортных средств в городской среде.

5. Разработка планировочных решений

На основе системного анализа текущей ситуации и прогнозных данных о транспортных потоках предлагается комплекс реализуемых решений для развития дорожной сети.

Организация дорожного движения учитывает конфигурацию перекрестков и выявленные проблемы, а также фактические направления транспортных потоков, что позволяет предложить пространственно-временное разделение движения для оптимизации безопасности и пропускной способности.

Подготовка предварительного проекта концентрируется на детальном анализе дорожной сети, проектировании перекрестков и организации парковочного пространства. В рамках проектирования рассматриваются геометрические параметры (конфигурация перекрестков, типология, ширина проезжей части, поперечный профиль, состав транспортного потока), меры по регулированию существующих перекрестков (методы контроля, размещение дорожных знаков, разметка, ограничения маневров), текущие параметры перекрестков (интенсивность потока, коэффициент насыщения), а также выявление проблемных зон.

Разработка схемы должна обеспечивать безопасность всех участников движения (автотранспорт, велосипедисты и пешеходы) и учитывать их взаимодействие.

6. Оценка и выбор оптимальных решений

Требуется провести технико-экономический анализ предложенных вариантов и выбрать оптимальные решения, сочетающие эффективность, реализуемость и

соответствие перспективным транспортным потребностям.

7. Непрерывность планировочного процесса

Планирование транспортной системы представляет собой динамичный итеративный процесс. Любой разработанный план требует постоянной корректировки с учетом изменяющихся условий. После реализации необходимы мониторинг работы транспортной системы, актуализация данных и ревизия плановых решений. Таким образом, эффективное транспортное планирование должно носить комплексный, скоординированный и непрерывный характер [103, 104, 107, 108, 111, 112].

1.3 Действующая национальная система стандартов

I . Действующая национальная система стандартов:

В Китае сформирована национальная система стандартов в сфере градостроительного и транспортного планирования. Основу данной системы составляет «Система стандартов инженерного строительства», принятая в 2003 году. Она включает 60 технических стандартов для городского и сельского планирования: 6 базовых стандартов, 17 общих стандартов и 37 специальных стандартов. Данная система обеспечивает нормативно-методическую базу для устойчивого развития городской инфраструктуры.

Спецификация планирования и проектирования городского дорожного движения (GB 50220-95) была обнародована и внедрена в 1995 году. На протяжении более 10 лет это был единственный технический стандарт для планирования городского дорожного движения. Однако как с точки зрения объема стандарта, так и применимости содержания, он постепенно начал отставать от актуальных потребностей.

Стандарт планирования и подготовки сети городских железнодорожных линий общественного транспорта (GB/T 50546-2009) был выпущен в 2009 году, а Технический стандарт для оценки воздействия строительных проектов на движение транспорта (CJJ/T 141-2010) – в 2010 году (Примечание: в таблице системы стандартов его название указано как «Технический стандарт для оценки воздействия дорожного движения на проекты городского строительства»). В состав

действующих стандартов и норм также входят «Нормы планирования городских дорожных перекрестков», «Нормы планирования городского внешнего дорожного движения» и «Нормы планирования городских парковочных мест.

Табл. 1.2- Система стандартов инженерного строительства и организации дорожного движения

Системный код	Название стандарта	Шифр стандарта
[1]1.3.1.11	Спецификации планирования сети городских железнодорожных линий общественного транспорта	GB/T 50546-2009
[1]1.3.1.12	Технические характеристики планирования сети городского общественного транспорта	
[1]1.3.1.13	Спецификации для методов управления сигналами городского дорожного движения	GA/T 527
[1]1.3.1.14	«Система индексов оценки управления городским дорожным движением»	CJJ/T 141-2014
[1]1.3.1.15	Технические требования к организации городского дорожного движения	GB/T 36670-2018
[1]1.3.1.16	Технический стандарт для оценки воздействия дорожного движения на строительные проекты	CJJ/T 141-2010
[1]1.3.1.17	Технические требования к планировке городских дорожных перекрестков	CJJ 152-2010
[1]1.3.1.20	Планирование и проектные спецификации городского дорожного движения	GB 50220-95
[1]1.3.1.21	Технические требования к проектированию городских дорог	CJJ 37-2012
[1]1.3.2.6	Спецификации планирования дорожного движения в деревнях и городах	GB 50220-95

Помимо Спецификации планирования и проектирования городского дорожного движения, в нормативно-правовую базу входят: «Закон о безопасности

дорожного движения КНР», «Положения о применении Закона о безопасности дорожного движения КНР», «Технические требования к проектированию городских дорог (CJJ 37-2012)», «Обследование потока дорожного движения (GAT 299)», «Применимые спецификации для методов управления сигналами городского дорожного движения (GA/T 527)», «Система индексов оценки управления городским дорожным движением», «Анализ дорожного движения и организация строительных проектов. Технические стандарты проектирования (CJJ/T 141-2014)», «Правила проектирования городских дорожных перекрестков (CJJ 152-2010)», «Технические требования к организации городского дорожного движения (GB/T 36670-2018)», «Требования к установке объектов дорожного движения на территории кампуса начальной и средней школы и детского сада (GA/T 1215-2014)», «Спецификации планирования городских дорожных перекрестков (GB 50647-2011)», «Проектирование и планирование городских дорог (CJJ 37-90)», «Спецификация для установки городских дорожных знаков и разметки (GB 51038-2015)» и другие [54, 66, 81, 90, 93].



Рис 1.3- Некоторые правила и стандарты дорожного движения

1.4 План национальной комплексной сети

В 2021 году в Китае был опубликован План национальной комплексной трехуровневой транспортной сети - стратегический документ высшего уровня, определяющий развитие интегрированной транспортной системы страны на

период с 2021 по 2035 год с перспективой до середины XXI века.

I. Основа для планирования

1. Текущая ситуация развития

С начала проведения политики реформ и открытости, особенно после XVIII съезда КПК, транспортная система Китая достигла значительных успехов. Под руководством Центрального комитета КПК во главе с Си Цзиньпином была сформирована масштабная инфраструктурная сеть, усовершенствована комплексная транспортная система, повышена пропускная способность и качество транспортных услуг, а также уровень удовлетворенности населения.

Достигнут прогресс в области научно-технических инноваций, что способствовало повышению технического уровня строительства и эксплуатации транспортных объектов. Ускорила модернизация отрасли, повысились показатели безопасности, интеллектуализации и экологичности. Расширяется международное сотрудничество в транспортной сфере, усиливается глобальное присутствие китайской транспортной инфраструктуры.

Развитие транспорта эффективно способствует сбалансированному территориальному развитию, координации городских и сельских районов и оптимизации размещения производительных сил, выполняя фундаментальную, инновационную и сервисную функции для социально-экономического развития страны и обеспечивая поддержку построения общества средней зажиточности.

Несмотря на достижения, в развитии транспортной системы Китая сохраняются недостатки, а проблема диспропорций и недостаточной развитости остается актуальной. Схема комплексной транспортной сети требует дальнейшего совершенствования, её структура нуждается в оптимизации, а взаимосвязь и устойчивость сети - в повышении.

Требуется усиление интеграции между видами транспорта, повышение уровня ресурсоэффективности, углубление взаимодействия с сопутствующими отраслями и улучшение потенциала поддержки всей отраслевой цепочки. Качество и эффективность транспортного обслуживания остаются недостаточно высокими, современная логистическая система требует совершенствования, а способности к

инновациям, уровень безопасности и экологичности нуждаются в дальнейшем развитии. Сохраняются сложности в реализации реформ ключевых направлений транспортной отрасли.

2. Тенденции и потребности

Новые внутренние и международные условия предъявляют повышенные требования к ускоренному строительству мощной транспортной системы и созданию современной высококачественной национальной комплексной транспортной сети. Приоритетными направлениями развития являются: усиление роли инноваций с акцентом на интеллектуальное развитие транспорта; повышение координации между различными видами транспорта и обеспечение сбалансированного развития городских и сельских транспортных систем; переход к "зелёным" технологиям с учётом экологических требований и рационального использования территорий; расширение международной транспортной связности для обеспечения стабильности глобальных цепочек поставок; ориентация на потребности населения для повышения качества жизни.

Реализация этих направлений позволит обеспечить качественный, эффективный, справедливый, устойчивый и безопасный транспортный комплекс, который сыграет ключевую роль в стимулировании экономического роста, повышении производительности, снижении издержек и укреплении национальной экономики, создав тем самым надёжную основу для построения современного социалистического государства.

3. Спрос на транспорт

Спрос на пассажирские перевозки демонстрирует устойчивый рост с возрастающими требованиями к качеству, разнообразию и персонализации услуг. Прогнозируется, что в период 2021-2035 годов среднегодовой темп роста пассажиропотока (включая автомобильные перевозки) составит около 3,2%. Увеличится доля перевозок высокоскоростным железнодорожным транспортом, авиацией и автомобилями, особенно в сегментах международных поездок и перевозок в городских агломерациях. Наибольшая концентрация спроса сохраняется в восточных регионах Китая, при этом центральные и западные

регионы демонстрируют ускоренные темпы роста.

Объём грузовых перевозок продолжает увеличиваться, с особым ростом спроса на дорогостоящие, малотоннажные и срочные грузы. Ожидается, что в 2021-2035 годах среднегодовой темп роста грузооборота составит 2%, а в сегменте экспресс-доставки - 6,3%. Внешнеторговые перевозки сохраняют устойчивую положительную динамику, при этом объём насыпных грузов останется высоким в среднесрочной перспективе. Основной объём грузопотока по-прежнему приходится на восточные регионы, однако центральные и западные регионы демонстрируют более высокие темпы роста.

II. Цели развития

К 2035 году будет в основном построена современная высококачественная национальная интегрированная трехмерная транспортная сеть, характеризующаяся удобством, бесперебойностью функционирования, экономической эффективностью, экологичностью, высокой пропускной способностью, интеллектуальностью, технологической продвинутой, безопасностью и надежностью. Данная система обеспечит международное и внутреннее сообщение, трехмерную транспортную доступность крупных городов по всей стране и эффективное покрытие узлов на уровне уездов.

Транспортная инфраструктура станет основой для реализации стратегий "Национального транспортного кольца 123" (1-часовая доступность мегаполисов, 2-часовой доступ к городским агломерациям, 3-часовое покрытие крупных городов по всей стране) и "Глобального кольца 123 экспресс-грузопотока" (1-дневная доставка внутри страны, 2-дневная доставка в соседние страны, 3-дневная доставка в крупные города мира).

Качество, интеллектуальность и экологичность транспортной системы будут находиться на одном из самых высоких мировых уровней. Транспортный комплекс полностью адаптируется к растущим потребностям населения в повышении качества жизни, обеспечит надежную защиту национальной безопасности и создаст условия для реализации социалистической модернизации в Китае.

Цели развития на 2035 год:

Доступность и комфорт. Охват населения высокоскоростным транспортом будет значительно расширен. За исключением отдельных отдаленных районов, страна достигнет 15-минутной доступности национальных автомагистралей, 30-минутной доступности автострад и 60-минутной доступности железных дорог для административных центров окружного уровня. Для городов префектурного и муниципального уровня будет обеспечена 45-минутная доступность высокоскоростных железных дорог и 60-минутная доступность аэропортов. Практически все города префектурного уровня будут связаны однодневной транспортной доступностью. Время в пути от комплексных пассажирских узлов до городских центров не превысит 30 минут, а время пересадки между узлами в пределах города — 1 часа. Это позволит значительно повысить доступность транспортной инфраструктуры, улучшить удобство пассажирских перевозок и реализовать концепцию «транспортного круга 123» (1 день между городами, 2 часа между агломерациями, 3 часа между крупнейшими городскими кластерами).

Экономическая эффективность. Национальная транспортная сеть станет работать более продуктивно: возрастет доля мультимодальных перевозок, повысится эффективность грузоперевалки, оптимизируется транспортная структура и снизятся логистические затраты. Транспортные узлы получат почтовые функции и обеспечат бесперебойную интеграцию с почтовой инфраструктурой, что позволит реализовать систему «глобальной экспресс-доставки 123» (1 день по стране, 2 дня в соседние государства, 3 дня в ключевые мировые центры).

Экологичность и ресурсосбережение. Уровень эффективности использования ресурсов в транспортных коридорах существенно повысится. Строительство инфраструктуры будет соответствовать принципам устойчивого развития: снизится энергопотребление на единицу транспортной работы, сократятся выбросы CO₂ контроля выйдет на передовые мировые стандарты.

Технологичность и инновации. Транспортная инфраструктура будет полностью оцифрована. Будет завершено развертывание интеллектуальных транспортных систем, включая навигационные сервисы Beidou и полный охват

объектов мониторингом. Технологии умного транспорта (беспилотные поезда, подключенные автомобили, интеллектуальные летательные аппараты и суда) достигнут мирового уровня.

Безопасность и надежность. Повысится долговечность и безопасность транспортных средств, устойчивость инфраструктуры к чрезвычайным ситуациям и надежность перевозки стратегических грузов. Будет создана комплексная система мониторинга и спасения для всех видов транспорта, что выведет транспортную безопасность на лидирующие мировые позиции.

Табл. 1.3- Основные показатели комплексной трехмерной транспортной сети Китая в 2035 году

Порядковый номер	Показатель		Целевое значение
1	Доступность и комфорт	Доля населения, имеющего доступ к услугам скоростного транспорта в течение 1 часа	Более 80%
2		Получасовая доступность от центра города до интегрированных пассажирских транспортных узлов	Более 90%
3	Экономическая эффективность	Доля мультимодальных пересадок в течение 1 часа	Более 90%
4		Использование пропускной способности основного каркаса национальной интегрированной трёхмерной транспортной сети	65%-85%
5	Экологичность и ресурсосбережение	Рост комплексного использования земельного пространства для новой мультимодальной транспортной инфраструктуры в основных коридорах	80%
6		Доля озеленённой транспортной инфраструктуры	95%
7	Технологичность и инновации	Темпы оцифровки транспортной инфраструктуры	90%
8	Безопасность и надежность	Соотношение мультимодальных связей в	Более 95%

Порядковый номер	Показатель		Целевое значение
		приоритетных областях	
9		Уровень завершённости строительства объектов безопасности национальной интегрированной трёхмерной транспортной сети	95%

К середине XXI века будет завершено формирование современной высокоэффективной национальной трехмерной транспортной сети, включающей инфраструктуру мирового уровня. Это обеспечит сбалансированность транспортного спроса и предложения, высокое качество и равную доступность услуг, а также надежную безопасность. Активное внедрение новых технологий позволит достичь цифровизации, сетевой интеграции, интеллектуализации и экологизации транспортной системы. В результате пассажирские перевозки станут безопасными, удобными и комфортными, а логистика - эффективной, экономичной и надежной. Реализация этих преобразований создаст условия, при которых "путешествия будут приносить удовольствие, а транспортные процессы - осуществляться оптимальным образом", что в конечном итоге сформирует многогранную транспортную державу.

III. Оптимизация национальной интегрированной транспортной схемы

1. Создание комплексной национальной интегрированной транспортной сети

Национальная интегрированная трехмерная транспортная сеть соединяет все административные районы уездного уровня и выше, пограничные пункты, объекты национальной обороны и основные рекреационные зоны по всей стране. Ориентируясь на интеграцию, сеть будет сосредоточена на устранении недостатков, подчеркивании связности, улучшении конфигурации и повышении эффективности, а также будет уделять больше внимания оптимизации использования ресурсов и повышению качества сопутствующих услуг.

Совершенствование инфраструктуры включает развитие железнодорожного, автомобильного, водного, воздушного транспорта и почтово-логистической

системы. Формируемая транспортная сеть основывается на железных дорогах как главной опоре, автомобильных дорогах как фундаменте, а также на полном использовании сравнительных преимуществ водного и воздушного транспорта.

К 2035 году общая протяженность национальной транспортной сети (без учета зарубежных участков международных маршрутов) составит около 700 000 километров. В том числе: около 200 000 километров железных дорог, 460 000 километров автомобильных дорог и 25 000 километров высококачественных водных путей. Инфраструктурный комплекс также включает 27 крупных прибрежных портов, 36 крупных портов внутренних водных путей, около 400 аэропортов гражданской авиации и около 80 узлов почтовой и экспресс-доставки.

2. Ускорение создания основной структуры эффективной национальной интегрированной транспортной сети

Основной каркас национальной транспортной сети состоит из ключевых транспортных коридоров, которые являются главными артериями межрегиональных, межгородских, межпровинциальных и международных перевозок. Он служит опорой для пространственного развития и территориальной безопасности, а также представляет собой магистральную сеть с наивысшей эффективностью распределения ресурсов и максимальной интенсивностью перевозок.

3. Создание многоуровневой интегрированной национальной комплексной системы транспортных узлов

Для этого необходимо:

Построить национальную комплексную систему транспортных узлов "три в одном", включающую комплексные транспортные узловые кластеры, города-хабы, порты и станции-хабы.

Сформировать четыре международных комплексных транспортных узла в Пекине-Тяньцзинь-Хэбэе, дельте реки Янцзы, районе Большого залива Гуандун-Гонконг-Макао и Бийском экономическом кольце Чэнду-Чунцин для глобальной интеграции.

Ускорить создание около 20 международных и 80 национальных

комплексных городов-транспортных узлов.

Обеспечить развитие международных и национальных узловых портов.

IV. Содействие высококачественному развитию интегрированного транспорта

1. Содействие безопасности

Укрепление потенциала в области охраны и безопасности:

Совершенствование механизмов раннего предупреждения, профилактики и контроля рисков транспортной безопасности.

Развитие многоканальных, многорежимных и резервных транспортных коридоров в городских кластерах, ключевых регионах, портах, промышленно-энергетических базах и зонах природных рисков для повышения устойчивости сетей.

Повышение безопасности логистики продовольствия, энергоносителей и стратегических материалов, укрепление стабильности промышленных и логистических цепочек.

Усиление потенциала в сфере безопасности судоходства, морских и глубоководных спасательных операций, включая полярные регионы, модернизация систем надзора за движением и SAR (поиск и спасение).

Защита критической информационной инфраструктуры, включая сети транспорта и судов, усиление кибербезопасности и технологического суверенитета.

Повышение уровня безопасности транспортного оборудования:

Совершенствование системы пропаганды и обучения в сфере безопасности, направленное на повышение осведомленности населения о принципах безопасности и верховенства закона.

Повышение уровня безопасности транспортной инфраструктуры:

Развитие системы управления безопасностью на всех этапах жизненного цикла современных инженерных сооружений, включая проектирование, строительство и эксплуатацию, а также совершенствование нормативно-правовой базы, стандартов и регламентов в области транспортной безопасности.

Усиление превентивного обслуживания и диагностики транспортной

инфраструктуры, внедрение систем долгосрочного мониторинга, совершенствование сбора и анализа данных, методов тестирования, ремонта и восстановления с целью своевременного выявления и устранения потенциальных угроз.

Внедрение инновационных материалов, технологий и методик для повышения долговечности и эксплуатационных характеристик транспортной инфраструктуры.

Оптимизация системы ответственности за безопасность, применение современных методов управления рисками, усиление контроля за ключевыми объектами инфраструктуры, минимизация эксплуатационных угроз и комплексное повышение уровня безопасности транспортных объектов.

Совершенствование системы защиты от чрезвычайных ситуаций на транспорте:

Формирование интегрированного механизма координации в сфере управления ЧС, обеспечивающего межведомственное, межотраслевое и мультимодальное взаимодействие, а также разработку научно обоснованных комплексных планов реагирования.

Создание центра обработки больших данных по транспортным ЧС для обеспечения эффективного обмена информацией между участниками процесса.

Развертывание унифицированной сети аварийного оповещения, обеспечивающей оперативность, надежность и функциональную адаптивность в различных условиях.

Модернизация аварийно-спасательного оборудования с акцентом на стандартизацию, модульность и повышение эффективности логистики в чрезвычайных ситуациях.

Развитие многоуровневой системы резервирования транспортных ресурсов, включая создание запасов оборудования, материалов и мощностей для наземных, водных и авиационных операций.

Оптимизация размещения аварийно-спасательных объектов (баз, пожарных станций), развитие вспомогательной инфраструктуры (аварийные коридоры,

системы связи, склады), а также повышение оперативности реагирования и восстановления после ЧС.

Внедрение системы мониторинга и оценки рисков в транспортной отрасли, включая контроль за перевозкой опасных грузов на всех этапах логистического процесса.

2. Содействие интеллектуальному развитию

Повышение уровня интеллектуального развития:

Ускорение наращивания научно-технического инновационного потенциала транспорта, содействие цифровизации и сетевой связности транспортной инфраструктуры.

Содействие применению технологий спутниковой связи, технологий связи нового поколения, высокоточных спутников дистанционного зондирования, искусственного интеллекта и других отраслевых приложений, создание полномасштабной, заменяемой и безопасной базовой сети высокоточного обслуживания "Бэйдоу", содействие широкомасштабному применению отраслевых терминалов "Бэйдоу". Это позволит создать высокоточную платформу географической информации о дорожном движении и ускорить независимые инновации и применение технологии информационного моделирования зданий в различных областях.

Всестороннее развитие системы мониторинга дорожного движения, синхронизация планирования и строительства с дорожной инфраструктурой, развертывание активных средств раннего оповещения в ключевых районах, расширение возможностей многомерного мониторинга, точного управления и совместных услуг.

Усиление исследований и разработок интеллектуальных транспортных средств и ключевого специализированного оборудования, а также содействие применению интеллектуальных сетевых транспортных средств (интеллектуальные автомобили, автономное вождение, координация транспортных средств и инфраструктуры) и интеллектуальных транспортных средств авиации общего назначения.

Поощрение логистических парков, портов, аэропортов и грузовых станций к широкому применению IoT, автоматизации и других технологий, содействие внедрению автоматизированных трехмерных складов, управляемых транспортных средств, интеллектуального транспортировочного, сортировочного и погрузочно-разгрузочного оборудования. Это позволит создать комплексную систему транспортного центра больших данных и усовершенствовать комплексную транспортную информационную платформу.

Усовершенствование механизма открытого обмена научно-техническими ресурсами и создание ряда инновационных платформ с международным влиянием.

Ускорение интеллектуальной модернизации существующих объектов.

Использование новых технологий для развития транспортной инфраструктуры, повышения качества и модернизации существующей транспортной инфраструктуры, повышения эффективности использования объектов и уровня обслуживания.

Использование современных технологий управления для повышения уровня интеллектуального планирования движения поездов и управления транспортом всей железнодорожной сети.

Развитие интеллектуального управления дорожной сетью и информационными услугами для путешественников, совершенствование оборудования для мониторинга дорожного движения и вспомогательных сетей.

Усиление онлайн-мониторинга состояния эксплуатации высококачественных внутренних водных путей, развитие сотрудничества между судами и берегом, а также автоматизированных терминалов и верфей.

Создание системы управления воздушным движением нового поколения, обеспечение интеллектуального обслуживания воздушного движения, управление потоками и воздушным пространством, а также обмен информацией между всеми сторонами. Она будет способствовать синергетическому развитию интеллектуальных сетевых транспортных средств и "умных" городов, созданию интегрированной системы зондирования городских дорог, зданий и общественных объектов, а также созданию "умной" платформы для путешествий на основе

платформы информационного моделирования городов и интеграции динамических и статических городских данных.

3. Содействие устойчивому развитию и гуманизации транспортной сферы

Экологизация и низкоуглеродное развитие транспортной инфраструктуры:

Для достижения экологически устойчивого развития транспортного сектора необходимо реализовать следующие меры:

Оптимизация взаимодействия транспортной инфраструктуры и экологического пространства, включая защиту значимых экологических зон, минимизацию воздействия на уязвимые территории и сохранение сельскохозяйственных земель.

Внедрение проектов экологической реставрации и модернизации транспортных систем, направленных на создание экологически безопасных транспортных сетей.

Развитие научных исследований и внедрение инновационных строительных технологий, способствующих снижению шумового загрязнения, вредных выбросов (включая СО₂) и других Н

Совершенствование системы мониторинга и управления экологическими рисками, включая меры по предотвращению загрязнения, а также внедрение механизмов экологической компенсации.

Реструктуризация транспортной системы с акцентом на развитие мультимодальных логистических парков и специализированных железнодорожных линий, что позволит перевести значительную часть грузоперевозок (включая сыпучие грузы и контейнеры) на железнодорожный и водный транспорт.

Повышение доли возобновляемых и альтернативных источников энергии в транспортном секторе, внедрение энергоэффективного оборудования, переработка строительных отходов и стимулирование перехода к низкоуглеродной энергетической системе.

Снижение экологического следа за счёт минимизации использования упаковочных материалов, их повторной переработки и внедрения экологичных альтернатив.

Гуманизация транспортной инфраструктуры и услуг

Для повышения качества транспортного обслуживания и обеспечения его доступности для всех категорий граждан предлагаются следующие направления работы:

Совершенствование транспортной инфраструктуры и стандартов обслуживания с учётом разнообразных потребностей различных социальных групп.

Развитие безбарьерной среды за счёт модернизации инфраструктуры и оборудования, что повысит уровень мобильности и комфорта для маломобильных граждан.

Адаптация транспортных услуг к потребностям пожилого населения в условиях демографического старения.

Внедрение инновационных сервисов, направленных на повышение качества и персонализацию транспортных услуг.

Пропаганда транспортной культуры через образовательные и информационные кампании, способствующие повышению правовой грамотности и этики участников дорожного движения.

4. Укрепление потенциала управления

Углубление реформы транспортной отрасли.

Углубление реформ по упрощению администрирования, делегированию полномочий, объединению управления и оптимизации услуг, постоянная оптимизация бизнес-среды, формирование единого, открытого, конкурентного и упорядоченного транспортного рынка.

Создание и усовершенствование институционального механизма для высококачественного развития комплексного трехмерного транспорта страны, а также усовершенствование системы стратегического планирования развития комплексного транспорта.

Продвижение рыночно-ориентированной реформы конкурентных сегментов железнодорожной отрасли, углубление реформы национальной системы управления воздушным движением, осуществление разделения бизнеса универсального почтового обслуживания и конкурентного бизнеса.

Усовершенствование механизма консультаций по вопросам политики в области транспорта и территориального развития, городского и сельского строительства, экологии и охраны окружающей среды, поощрение интеграции многочисленных нормативных актов, повышение единства политики, согласованность правил и синергетический эффект от реализации.

Ускорение разработки стандартов и норм для комплексных транспортных узлов, мультимодальных перевозок, новых видов бизнеса, усиление координации стандартов для различных видов транспорта и создание системы стандартов, соответствующей высококачественному развитию.

Укрепление международных обменов и сотрудничества в области транспорта, активное участие в международных транспортных организациях, содействие международному взаимному признанию стандартов и усиление интернационализации китайских стандартов.

Создание нового механизма управления интегрированным транспортом на основе больших данных и обмена кредитной информацией.

Укрепление верховенства закона на транспорте. Мы будем:

Придерживаться принципа верховенства закона и углублять строительство верховенства закона в транспортном секторе.

Содействовать процессу формулирования и пересмотра ключевых законодательных проектов в области интегрированного транспорта, способствовать эффективному сближению правовых систем различных видов транспорта и совершенствовать систему интегрированных транспортных законов и правил.

Всесторонне укреплять стандартизацию строительства, повышать потенциал и уровень группы по обеспечению соблюдения транспортного законодательства, строгого соблюдения норм, справедливого и цивилизованного правоприменения.

Внедрять систему ответственности за популяризацию закона, создавать благоприятные условия для верховенства закона в отрасли и включать требования верховенства закона во все процессы комплексного транспортного планирования, строительства, управления, эксплуатации и обслуживания, а также обеспечения безопасности производства.

Усиление формирования транспортных талантов:

Оптимизация структуры команды талантов, усиление строительства междисциплинарных научно-исследовательских групп, создание ряда влиятельных ведущих талантов и инновационных команд в области транспортной науки и техники.

Поддержка духа образцовых работников и мастеров, совершенствование систематического механизма внедрения, выращивания, использования, оценки, перетекания и стимулирования талантов, а также механизма управления для руководства строительством отраслевой культуры с социалистическими основными ценностями.

Усиление работы по выращиванию инновационных, прикладных и квалифицированных талантов, формулирование высококачественного кадрового состава из преданных, чистых и ответственных людей и создание армии квалифицированных работников [29,86].

1.5 Местные соответствующие стандарты:

В области планирования городского дорожного движения многие организации местного самоуправления составили и внедрили местные технические стандарты. Эти задачи сыграли определенную роль в накоплении опыта в обогащении технических стандартов городского планирования. С другой стороны, из-за отсутствия национальных стандартов и относительного отставания внедрение местных стандартов также отражает фактические местные потребности в подготовке и управлении городским транспортным планированием и обеспечивает поддержку и основу для разработки национальной системы стандартов. В соответствии с различиями в уровне стандартов, содержании, функциях и т.д. местные стандарты городского транспорта просто классифицируются следующим образом:

(1) Стандарты и руководящие принципы городского планирования:

«Стандарты и руководящие принципы планирования Шэньчжэня», «Технические стандарты и руководящие принципы управления городским планированием Гуанчжоу (муниципальное планирование)», «Стандарты и руководящие принципы

планирования города Хуэйчжоу» и т.д.

Этот тип стандарта основан на опыте стран (регионов) и крупных городов, таких как Сингапур и Гонконг, ссылается на аналогичные технические стандарты и руководящие принципы этих городов и регионов с аналогичным уровнем экономического и социального развития и сочетает цели и требования городского развития с реальной ситуацией. разработанные стандарты и руководящие принципы городского планирования охватывают все уровни и профессиональные категории городского планирования, отличаются высоким профессионализмом и конкретным содержанием. Это важная основа для подготовки и управления городским планированием и смежным планированием. Взяв в качестве примера «Стандарты и руководящие принципы городского планирования Шэньчжэня», его основное содержание включает в себя три основные части: городское землепользование, городской дизайн и управление зданиями, дорожное движение и муниципальные инженерные сооружения. Среди них секция дорожного движения и коммунальных инженерных сооружений разработала конкретные положения о показателях планирования дорожной сети, показателях планирования автовокзалов и показателях парковки для строительства гаражей-стоянок.

(2) Руководящие принципы планирования городского транспорта:

«Руководство по комплексному планированию городского транспорта в провинции Цзянсу», «Руководство по подготовке планирования городского общественного транспорта в провинции Сычуань», «Спецификации планирования городского дорожного движения в Чунцине и проектирования маршрутов», «Технические рекомендации по оценке воздействия на дорожное движение строительных проектов в провинции Чжэцзян (пробная реализация)» и так далее.

Класс стандартов формулируется на основе фактической ситуации и потребностей региона, направляет и стандартизирует работу по планированию городского транспорта в регионе и выполняет роль планирования и подготовки технических руководящих документов. Взяв в качестве примера «Руководство по комплексному планированию городского транспорта в провинции Цзянсу», его основное содержание включает общие принципы, организацию и утверждение

планирования, набросок текста планирования и технические рекомендации по планированию. В контексте отсутствия руководящих стандартов для планирования городского транспорта на национальном уровне эти руководящие принципы сыграли очень важную роль в продвижении планирования городского транспорта в регионе, регулируя и направляя подготовку планирования и управление им.

(3) Технические стандарты для специального планирования и проектирования дорожного движения:

«Планирование и проектные спецификации пересечения городской дорожной плоскости Шанхая», «Технические стандарты планирования, проектирования и управления пересечением городской дорожной плоскости города Ухань (проект для обсуждения)», «Стандарты охраны земель городского строительства Пекина, Шанхай, Цзянсу, Чжэцзян», «Технические требования к установке дорожных знаков», «Правила проектирования безбарьерных объектов городского железнодорожного транспорта Пекина», «Правила проектирования безбарьерных объектов Пекинской пешеходной эстакады и подземного перехода (сборник)» и так далее.

Этот тип стандарта основан на текущей ситуации для устранения недостатков в аналогичных стандартах на национальном и отраслевом уровнях, а также на технических стандартах планирования городского движения, подготовленных различными городами с целью лучшей стандартизации планирования и проектирования дорожного движения. Разработка этих стандартов обеспечивает богатую исследовательскую базу для подготовки национальных и отраслевых стандартов. Некоторые местные стандарты внедряются во всех административных подразделениях и являются в высшей степени инновационными. Например, «Правила установки дорожных указателей для туристических достопримечательностей (точек)» в Шанхае, Цзянсу и Чжэцзяне являются первым региональным стандартом дорожного движения в дельте реки Янцзы.

(4) Стандарты распределения парковочных мест для строительных проектов: «Стандарты распределения парковочных мест в городских зданиях города Уху (пробное испытание) (2008)», «Временные стандарты определения

парковочного места в проекте строительства города Линьхай», «Стандарты планирования распределения парковочных мест в проекте строительства города Цзинань (2007)», «Стандартные правила распределения парковочных мест в проекте строительства города Чунцин (2006)», «Правила установки парковки для городского строительного проекта провинции Чжэцзян (Библиотека) и строительные стандарты распределения (2005)», «Стандарт распределения парковки для строительного проекта Тяньцзиня (Библиотека) (2004)» и так далее.

Из-за разного уровня экономического развития, планировки городов и уровня владения автотранспортом в каждом городе уровень управления парковками в нем сильно отличается. Следовательно, он обладает отличительной городской особенностью при определении плановых показателей.

1.6 Сравнение подходов транспортного планирования в Китае и других странах

I. Сравнение законов и нормативных актов

Табл. 1.4- Сравнение законов и нормативных актов

РФ	КНР	США
Закон о безопасности дорожного движения	Закон о безопасности дорожного движения Китайской Народной Республики	Национальный закон о безопасности дорожного движения и автотранспортных средств
Закон об организации дорожного движения	Правила управления городскими дорогами	
Постановление правительства РФ о разработке Программ комплексного развития транспортной инфраструктуры	Руководящие мнения Министерства транспорта по содействию строительству новой инфраструктуры в области транспорта	Федеральный закон о финансировании инфраструктуры и занятости (ИЖА)
	Меры по управлению дорожным движением на автомагистралях	
	Несколько мнений о дальнейшем укреплении управления городским планированием и строительством	

II. Различия в планировании и проектных спецификациях

Зарубежные страны обладают значительным опытом в области проектирования и управления городскими дорогами, а также разработали хорошо структурированные нормативы и стандарты, применяемые в теории и на практике. В Китае дорожное планирование начало развиваться позднее, что привело к наличию ряда недостатков в нормативах, особенно в детальном проектировании дорожной инфраструктуры, включая планирование перекрестков.

В зарубежных нормативах четко регламентированы функциональные и эксплуатационные требования к каждому элементу дорожной инфраструктуры. Особое внимание уделяется детальному проектированию, такому как радиус поворота, организация направляющих островков и других элементов, с приведением соответствующих примеров для наглядного пояснения. В отличие от этого, отечественные нормативы носят более обобщенный характер, и для многих аспектов детального проектирования отсутствуют единые и четко сформулированные стандарты.

Зарубежные стандарты разрабатываются с учетом реальных потребностей дорожного движения и предусматривают адаптацию к различным условиям окружающей среды и ландшафта. При этом допускается гибкая корректировка обязательных требований на основе комплексного анализа прилегающих территорий. В то же время китайские нормативы отличаются жесткостью и недостаточной вариативностью, что ограничивает их применение в разнообразных планировочных ситуациях.

Периодичность актуализации зарубежных нормативов составляет в среднем 5–8 лет, что позволяет оперативно вносить изменения в соответствии с развитием транспортных систем. В Китае процесс обновления нормативной базы происходит медленнее, из-за чего некоторые параметры устаревают и не соответствуют динамично меняющейся городской транспортной инфраструктуре.

Важным аспектом зарубежных стандартов является концепция распределения приоритетов движения (right-of-way), которая учитывает интересы всех участников дорожного движения и стремится обеспечить баланс их прав. В китайских нормативах распределение приоритетов зачастую прописано

недостаточно четко, что приводит к неоднозначности в дорожной ситуации.

Кроме того, зарубежные стандарты предусматривают детальную классификацию дорожных знаков и разметки с четкими требованиями к их применению. В Китае нормативное регулирование в этой области требует дальнейшего совершенствования.

III. Различия в концепциях планирования и проектирования дорог

Большинство китайских специалистов в сфере градостроительного планирования приходят в профессию после получения традиционного инженерного образования. В результате они обладают техническими навыками проектирования, но испытывают дефицит знаний в области законодательства, систем управления и методов вовлечения социальных групп в процесс планирования. При разработке транспортных проектов многие из них ограничиваются формальным соблюдением нормативных требований вышестоящих инстанций, определяя ключевые параметры проектирования без глубокого анализа содержания планировочных решений. В некоторых случаях изучение вопросов планирования транспортной инфраструктуры происходит лишь на этапе реализации проектов, тогда как на стадии городского стратегического планирования этим аспектам уделяется недостаточное внимание. Это приводит к упрощённому подходу и массовому тиражированию однотипных решений в дорожном планировании Китая.

В зарубежной практике подготовка специалистов по планированию основывается на трёх ключевых принципах:

транспортного инженера должна быть направлена на комплексное решение проблем городского и регионального развития;

проведение долгосрочной оценки государственной политики, включая вопросы ресурсопользования и экологии;

взаимосвязанных этапа: согласование целей, разработку и реализацию проектов, а также мониторинг общественной реакции.

Зарубежные специалисты в области транспортного планирования демонстрируют глубокое понимание нормативно-правовой базы, процедур

согласования и структуры заинтересованных сторон. Это позволяет им прогнозировать институциональную реакцию, анализировать баланс затрат и выгод для всех участников процесса и эффективно координировать их требования [7, 11, 12, 14, 18].

1.7 Управление городским дорожным движением

I. Определение транспортного потока и факторы, влияющие на него

Городской транспорт является ключевым элементом функционирования городской инфраструктуры, а эффективное управление транспортными потоками играет важную роль в устойчивом развитии города и обеспечении мобильности населения.

Транспортный поток — это количество транспортных средств или пешеходов, проходящих через определённый участок дорожной сети или транспортный узел за единицу времени. Данный показатель служит основой для оценки состояния транспортной системы и разработки стратегий управления дорожным движением.

На формирование транспортных потоков влияет ряд факторов, среди которых можно выделить следующие:

Демографические показатели — численность и структура населения города напрямую определяют интенсивность и распределение транспортных потоков. В густонаселённых районах, как правило, наблюдается более высокая плотность движения.

Состояние дорожной инфраструктуры — пропускная способность дорог зависит от их протяжённости, качества покрытия, количества полос, организации светофорного регулирования и других параметров.

Градостроительная политика и землепользование — рациональное планирование городских территорий и распределение функциональных зон способствует снижению транспортной нагрузки и повышению эффективности дорожного движения.

Структура транспортных средств — состав и количество используемого транспорта, а также предпочтения жителей в выборе способов передвижения оказывают значительное влияние на формирование транспортных потоков.

II. Стратегии управления транспортными потоками

Для оптимизации дорожного движения, снижения заторов и повышения пропускной способности транспортной сети городские администрации могут применять следующие стратегии:

Совершенствование дорожной сети — научно обоснованное проектирование транспортной инфраструктуры с учётом перспективного роста нагрузки, включая рациональное расположение дорог, обеспечение их связности и достаточной пропускной способности.

Оптимизация светофорного регулирования — внедрение адаптивных систем управления светофорами, позволяющих динамически корректировать длительность сигналов в зависимости от реальной дорожной ситуации.

Развитие транспортной инфраструктуры — расширение дорожной сети, увеличение количества парковочных мест и строительство многоуровневых парковок способствуют повышению пропускной способности транспортной системы.

Стимулирование использования общественного и немоторизованного транспорта — развитие сетей метро, трамваев и автобусных маршрутов, а также создание комфортных условий для пешеходов и велосипедистов позволяют сократить число личных автомобилей на дорогах.

Внедрение интеллектуальных транспортных систем (ИТС) — применение технологий мониторинга и анализа транспортных потоков в режиме реального времени, а также предоставление пользователям актуальной информации для выбора оптимальных маршрутов [10, 15, 16, 17, 19].

Выводы по главе

В первой главе рассмотрена текущая ситуация с транспортным планированием в Китае и многоаспектные проблемы, препятствующие его развитию. Стремительный рост национальной экономики сопровождался развитием транспортной отрасли, однако одновременно проявились такие

проблемы, как дисбаланс между быстрым увеличением количества автомобилей и пропускной способностью дорог, нерациональная структура транспортной сети, низкий уровень управления движением и относительная отсталость методологии городского дорожного планирования. Для решения этих задач Китай достиг определенных успехов во внедрении интеллектуальных транспортных систем, включая автоматизированные системы управления дорожным движением, интеллектуальные системы общественного транспорта и парковочные решения, а также разработал национальные стратегии, такие как План действий по интеллектуальному транспорту (2017–2020 гг.), направленные на повышение удобства транспортной системы.

С точки зрения структуры транспортного планирования, его реализация представляет собой сложный системный процесс, требующий масштабных исследований, сбора данных о социально-экономических, земельных, транспортных и экологических факторах для формирования и оценки планировочных решений. Процедура планирования включает этапы организационной подготовки, постановки целей, комплексного исследования, прогнозирования транспортной системы, разработки плана, оценки альтернатив и непрерывного корректирующего планирования.

В Китае сформирована система стандартов транспортного планирования, включающая базовые, общие и специализированные нормативы, такие как *Кодекс планирования и проектирования городских дорог (GB 50220-95)*. Параллельно региональные власти разрабатывают локальные технические стандарты, адаптированные к местным условиям. Сравнение методов транспортного планирования Китая с зарубежными практиками выявляет различия в законодательной базе, характеристиках транспортных объектов, нормативах проектирования и концептуальных подходах к организации дорожного движения. В то время как другие страны обладают значительным опытом в этой сфере, Китай начал системную работу позднее и продолжает совершенствовать свои методы.

В целом, транспортное планирование в Китае сталкивается с комплексом вызовов на фоне динамичного развития и требует постоянного совершенствования

через углубленный анализ, стандартизацию и применение итеративных подходов к планированию.

Глава 2. АНАЛИЗ МОДЕЛИ ТРАНСПОРТНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ В МАЛЫХ И СРЕДНИХ ГОРОДАХ КИТАЯ

2.1. Четырехшаговая модель транспортного планирования

Четырехшаговая модель транспортного планирования представляет собой методологию, в которой территориальные факторы рассматриваются как

экзогенные (внешние) параметры. Данная модель позволяет оценить экономический эффект от модификаций транспортной системы при неизменных характеристиках территориальных единиц. Хотя модель дает возможность анализировать статические срезы за различные временные периоды, она не учитывает динамические изменения в условиях использования территории и, как следствие, не позволяет оценить выгоды пользователей при таких изменениях. Применение четырехшаговой модели наиболее эффективно при наличии детализированных данных о территориальном развитии и состоянии транспортной инфраструктуры.

Классическая четырехшаговая модель используется для прогнозирования транспортного спроса в рамках определенного района. Название модели обусловлено ее структурой, которая включает четыре последовательных этапа:

1. **Генерация поездок** – оценка частоты совершения поездок;
2. **Распределение поездок** – определение пространственного распределения поездок;
3. **Выбор вида транспорта** – анализ предпочтений пользователей при выборе способа передвижения;
4. **Нагрузка транспортной сети** – распределение поездок по элементам транспортной инфраструктуры.

Генерация поездок (частота совершения поездок)

Цель: прогнозирование генерации и притяжения трафика для различных типов территориально-функциональных зон (жилых, коммерческих и др.) в рамках исследуемого региона.

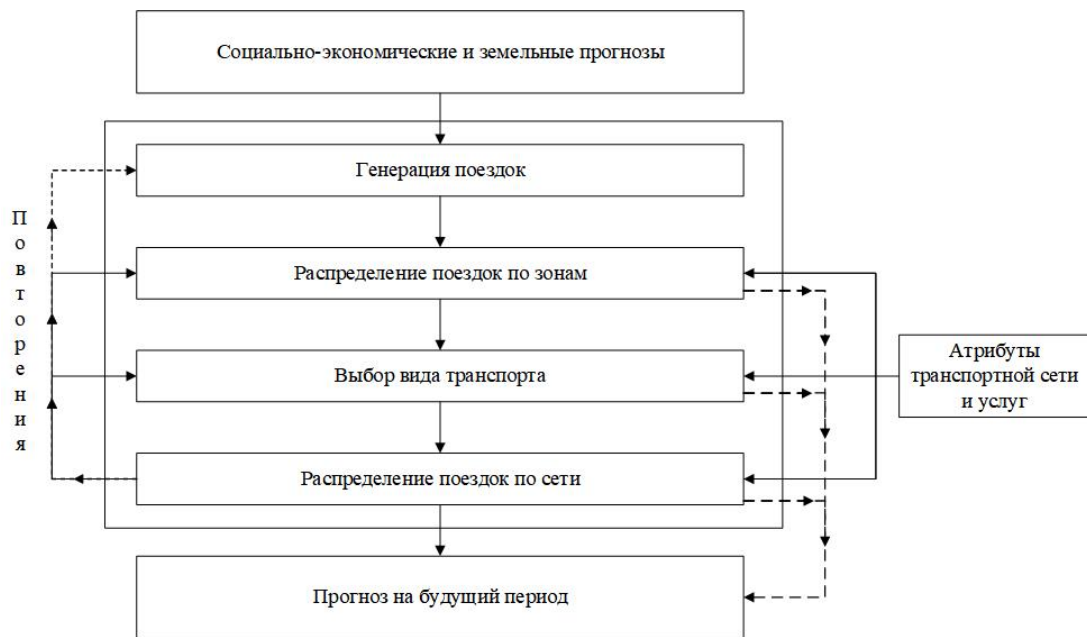


Рис 2.1- Схема Четырехшаговая модель транспортного планирования

Методы: применяются методы среднего генерируемого трафика, коэффициента роста, анализа временных рядов, регрессионный анализ и др.

Ограничения: требуются точные исходные данные, включающие численность населения, параметры землепользования и социально-экономические показатели.

Распределение поездок по территории

Цель: преобразование данных о генерации и притяжении трафика в матрицу корреспонденций между зонами для определения объемов перемещений между пунктами отправления и назначения.

Методы: используются метод коэффициента роста, гравитационное моделирование и др. Гравитационная модель основана на аналогии с физическим законом тяготения, где объем поездок между зонами прямо пропорционален их социально-экономической привлекательности и обратно пропорционален величине транспортного сопротивления (расстояние, время, стоимость).

Ограничения: необходимо точное определение транспортных зон, параметров транспортного сопротивления и калибровка модели.

Выбор вида транспорта

Цель: распределение прогнозируемых поездок по видам транспорта (передвижение пешком, велосипед, общественный транспорт, личный автомобиль

и др.).

Методы: применяются логит-модели, метод кривых переноса и др., учитывающие факторы выбора транспорта (время, стоимость, комфорт и пр.).

Ограничения: требуются детальные данные о характеристиках транспортных средств (скорость, тарифы, вместимость) и результатах социологических исследований о предпочтениях населения.

Распределение поездок по транспортной сети

Цель: моделирование распределения транспортных потоков по сети для оценки ее эффективности и оптимизации инфраструктуры.

Методы: используются методы "все или ничего", итеративного распределения, стохастического и равновесного распределения, позволяющие оценить загрузку сети, время перемещения и иные параметры.

Ограничения: необходимы точные данные о параметрах дорожной сети (категория дорог, пропускная способность, организация движения) и валидные модели транспортных потоков.

В связи со сложностью учета всех факторов реальной транспортной системы в модели приняты следующие упрощения:

- дискретность временных интервалов;
- агрегирование пользователей по социально-демографическим признакам;
- группировка пользователей по типам активности;
- зонирование территории моделирования;
- классификация маршрутов передвижения.

Исходные данные, необходимые для модели, включают социально-экономические характеристики района (население и рабочая сила, рабочие места и услуги, количество учеников и мест обучения), данные о транспортной системе (сценарии транспортной сети, характеристики загрузки сети, количество пассажиров в сети), данные о транспортной мобильности населения (общее количество поездок, поездки по направлениям, регионам, видам транспорта, среднее расстояние и время в пути). Полученные данные являются основой для моделирования и зонирования транспортного предложения.

Модель транспортного обеспечения — это набор схем территориальной транспортной и маршрутной сети с подробными характеристиками: длина участков, допустимое направление движения, интенсивность и пропускная способность, установленная скорость, параметры перекрестков, методы регулирования, остановки общественного транспорта, парковки. Перечень необходимых параметров зависит от целей исследования. Модель также включает информацию о маршрутах общественного транспорта: расписания, интервалы движения, время в пути между остановками.

Первым этапом транспортного планирования является расчет количества поездок для определения прибытий и отъездов в каждой транспортной зоне. Объемы перемещений оцениваются отдельно для разных целей (трудовые, культурно-бытовые, прочие) на основе данных о пространственном распределении населения и объектов, генерирующих и привлекающих поездки, а также показателей мобильности (среднее число поездок в день для каждой цели).

Второй этап — распределение поездок между зонами — предполагает формирование матрицы корреспонденций, отражающей количество поездок между точками отправления и назначения.

Третий этап — модальное разделение поездок — включает распределение по видам транспорта с учетом следующих факторов: характеристики транспорта (скорость, время в пути, включая пешеходные и ожидаемые отрезки, возможность пересадок, стоимость проезда), социально-экономический статус пользователей (наличие автомобиля, уровень дохода, семейный состав, потребность в авто для бизнеса), а также параметры поездки (цель, длительность, наличие и стоимость парковки в пункте назначения).

Четвертый этап — назначение маршрутов в сети в соответствии с выявленными транспортными потребностями.

К недостаткам четырёхшагового подхода к транспортному планированию относятся:

Высокие требования к данным и сложность их актуализации. Четырёхшаговый подход предполагает использование значительных массивов

данных обследования дорожного движения, сбор и обновление которых сопряжены с высокими временными и финансовыми затратами.

Низкая точность прогнозирования. Поскольку метод основывается на исторических данных и анализе сложившихся тенденций, он может оказаться недостаточно эффективным для прогнозирования неожиданных изменений спроса или долгосрочных структурных сдвигов в транспортном поведении.

Недостаточный учёт немоторизованных видов транспорта и пешеходов. Традиционная четырёхшаговая модель ориентирована преимущественно на автомобильные потоки, что приводит к игнорированию потребностей пользователей немоторизованного транспорта и пешеходов.

Ограниченность статического анализа. Метод опирается на статические модели транспортных потоков, которые не способны в полной мере отразить динамические изменения и сложную природу транспортных процессов.

Длительный цикл планирования. Процесс от сбора данных до реализации плана занимает значительное время, что может привести к несоответствию между планировочными решениями и актуальными транспортными потребностями.

Недостаточный учёт экологических и социальных факторов. В рамках четырёхшагового подхода экологические и социально-экономические аспекты зачастую рассматриваются поверхностно, что может повлечь негативные последствия для окружающей среды и общества.

Низкая адаптивность к новым технологиям. С развитием инновационных технологий, таких как каршеринг и автономные транспортные средства, традиционный четырёхшаговый подход демонстрирует ограниченную гибкость, требуя постоянной модернизации методологической базы [20, 23, 82, 89, 115].

2.2 Развитие моделей транспортного планирования

Моделирование взаимосвязей между транспортной системой и землепользованием представляет собой ключевую концепцию в сфере градостроительного планирования. Его основная цель заключается в анализе взаимодействия и взаимного влияния инфраструктуры транспорта и пространственного распределения функциональных зон.

Уровень принятия решений

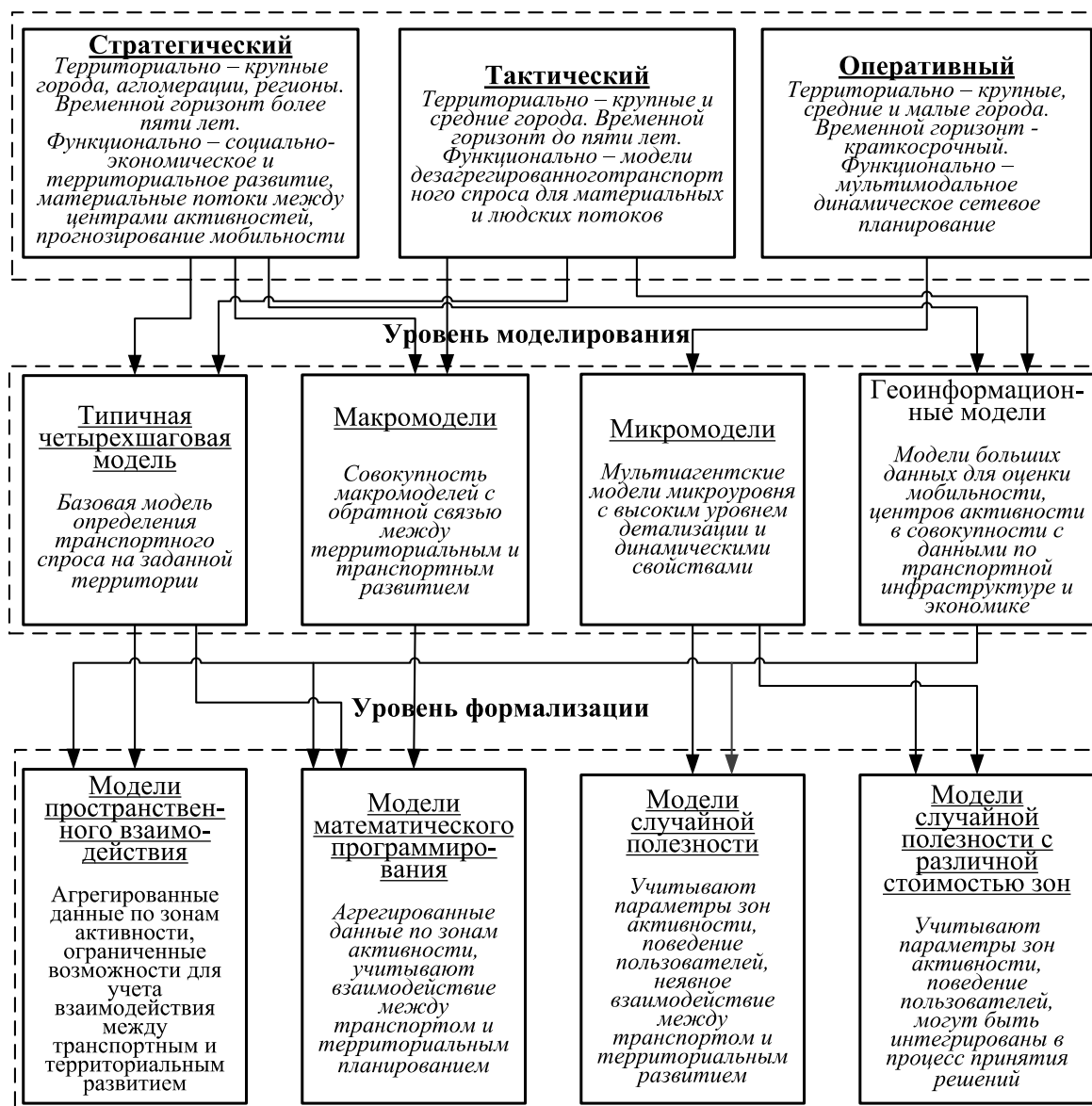


Рис. 2.2 - классификация моделей транспортного планирования

В процессе анализа рассматривается двусторонняя интерактивная связь между транспортом и землепользованием. В обзоре предложены три критерия, отражающие эту взаимосвязь: уникальность местоположения, сложные процессы принятия решений и взаимодействие между транспортом и землепользованием. Уникальность местоположения отражается в его неоднородности и неделимости, в то время как процесс принятия решений включает в себя многовариантность выбора людьми транспорта и места деятельности. Отношения между транспортом и землепользованием носят циклический характер и взаимодействуют друг с другом, поэтому необходимо изучить процесс взаимной корректировки между

ними.

Для удобства анализа модели были разделены на три категории: модели пространственного взаимодействия, модели математического программирования и модели случайной полезности.

– Модели пространственного взаимодействия включают модель Лоури, комплексное землепользование, транспорт в Лидсе и комплексный транспортный пакет по землепользованию.

– Модели математического программирования включают технику оптимального размещения действий в зонах и информационную систему землепользования с проективной оптимизацией.

– Модели случайной полезности включают модель Анаса, инструмент для комплексного анализа местоположения и транспорта и интегрированную модель расположения жилых и рабочих мест.

Из данного исследования были исключены модели, которые в первую очередь фокусируются на экономических изменениях, а не на взаимосвязи между транспортом и землепользованием, такие как модели «затраты-выпуск», динамические имитационные модели и модель землепользования DELTA.

I. Модели пространственного взаимодействия

Моделирование пространственного взаимодействия представляет собой один из наиболее разработанных и широко применяемых методов анализа территориальных систем. В рамках данного подхода исследуемая территория разделяется на ряд зон в соответствии с выбранными критериями, после чего оценивается интенсивность перемещений (поездов) между всеми возможными парами зон.

Ключевым элементом модели является совместная функция, учитывающая два основных фактора:

транспортные затраты между зонами,

уровень социально-экономической активности в каждой из зон.

Математически данная зависимость выражается следующей формулой:

$$T_{ij} = kR_i T_i f(c_{ij}) \quad (2.1)$$

Где:

T_{ij} - количество пространственных взаимодействий между точками i и j .

k - константа

R_i и E_j - уровень активности в местах i и j соответственно

$f(c_{ij})$ - функция стоимости транспортировки между зонами i и j

Данный тип моделей предполагает, что интенсивность пространственных взаимодействий прямо пропорциональна уровню активности между локациями и обратно пропорциональна транспортному сопротивлению между ними. Эта концепция аналогична закону всемирного тяготения Ньютона, поэтому подобные модели часто называют гравитационными.

Основы моделирования пространственного взаимодействия были заложены в работе Лоури (1964) «Модель мегаполиса», где исследуется взаимосвязь между транспортной системой и землепользованием. Согласно модели, размещение рабочих мест определяет локализацию жилых районов, которые, в свою очередь, формируют спрос на услуги, создавая занятость в сервисном секторе. Это приводит к увеличению численности населения, требующего дополнительных услуг, и процесс продолжается до достижения равновесия. Таким образом, ключевым фактором в модели является расположение базового сектора экономики.

Несмотря на простоту, модель Лоури обладает высокой обобщающей способностью, включая различные виды активности и транспортные компоненты. Она легла в основу множества адаптированных версий, таких как Time-Oriented Metropolitan Model (ТОММ), где введена дезагрегация домохозяйств по доходам и элементы квазидинамики. Другие модификации предполагают использование систем промежуточных возможностей для определения жилой застройки и оценки влияния новой инфраструктуры.

Уилсон (1970) усовершенствовал модель Лоури, применив принцип максимизации энтропии. В его подходе была разработана метрика привлекательности жилых локаций, учитывающая их атрибуты, но не связанная с конкретными характеристиками. Домохозяйства классифицировались по доходу, локальному уровню заработной платы, типу жилья и ценовым колебаниям. Уилсон

выделил четыре типа поведения при выборе места жительства, отражающие городскую динамику с учётом пространственных взаимодействий, транспортной доступности и изменяющейся привлекательности районов. Однако модель не учитывала системную взаимосвязь транспорта и землепользования, поскольку опиралась на заданные параметры локационных преимуществ и транспортных затрат.

Маккетт (1983) выявил ограничения моделей Лоури-Уилсона в анализе взаимодействия транспорта и землепользования и предложил интегрированную модель Leeds Integrated Land-use Transport (LILT) для оценки влияния транспортных барьеров и политических решений. Модель LILT объединяет этапы распределения и модального выбора из моделей спроса на поездки с подходом Лоури-Уилсона, а также включает распределение транспортных потоков в рамках исследования International Study Group on Land-use Transport Interaction (ISGLUTI) для учёта перегруженности дорожной сети.

LILT детально описывает взаимозависимость транспортных затрат и распределения населения, жилья, рабочих мест и других факторов. В ней домохозяйства классифицируются по социальному статусу и способам передвижения, а для распределения жилых и рабочих зон применяется система пространственного взаимодействия. Модель прошла апробацию в ряде исследований и подтвердила свою эффективность.

Орьяни и Харрис (1996) определили ITLUP (The Integrated Transportation Land-Use Package), разработанную Путманом в начале 1970-х годов и усовершенствованную в течение трёх десятилетий, как наиболее часто используемую модель пространственного взаимодействия. ITLUP состоит из трёх субмоделей: DRAM (The Disaggregated Residential Allocation Model), EMPAL (The Employment Allocation Model) и CALIB (программа калибровки, которая оценивает коэффициенты уравнений в DRAM и EMPAL). DRAM, модель распределения жилья, дезагрегирует домохозяйства и прогнозирует их местоположение, используя систему пространственного взаимодействия. EMPAL прогнозирует местоположение рабочих мест по типам, учитывая привлекательность и время

запаздывания. CALIB — это программа калибровки для оценки коэффициентов в DRAM и EMPAL. ITLUP был интегрирован в METROPILUS, который объединяет его с ГИС-программой ArcView, предлагая улучшенный графический интерфейс, расширенный анализ данных и совместимость с пакетами транспортного моделирования, такими как EMME/2 и TRANPLAN.

ITLUP и LILT имеют схожую структуру, оба включают этап распределения трафика. LILT был связан с итеративным ограничением мощности нагрузки, основанным на методе Франка-Вольфа, для распределения трафика с ограничением пропускной способности, а ITLUP использует инкрементный подход, постепенно загружая трафик в сеть. Обе модели рассматривают этап распределения как отдельную модель, которая может не идеально сбалансировать время в пути с расположением жилых и рабочих мест. Тем не менее, они считаются передовыми по сравнению с другими моделями пространственного взаимодействия, поскольку пытаются учесть эффект перегруженности транспортной сети. Учёт перегруженной сети обеспечивает более реалистичный способ оценки влияния изменений транспортных расходов и политики.

Модель пространственного взаимодействия предсказывает количество поездок, учитывая транспортные расходы и уровень активности в месте проживания. Модель широко используется в исследованиях со времён Лоури (1964), и ей отдают предпочтение за её полноту и концептуальную простоту. Макетт (1985) отмечает, что модель является гибкой и может быть адаптирована для конкретных целей исследования. Тем не менее, модель не может отразить особенности взаимодействия транспорта и землепользования, такие как уникальные характеристики мест, детальное описание индивидуальных процессов принятия решений и явное взаимодействие между транспортом и землепользованием.

Хотя модели пространственного взаимодействия имеют преимущества для понимания пространственных отношений и пространственного поведения, они также обладают некоторыми недостатками. Во-первых, такие модели часто требуют большого количества входных данных, предъявляют высокие требования к точности и полноте данных, а также требуют больших затрат на сбор и обработку

данных. Во-вторых, модели пространственного взаимодействия могут быть слишком сложными, что приводит к большому расходу вычислительных ресурсов и снижению эффективности работы. Кроме того, модели могут быть менее объяснительными, что затрудняет интуитивное понимание процесса принятия решений в рамках модели. Наконец, модели пространственного взаимодействия могут быть чрезмерно чувствительны к некоторым конкретным пространственным характеристикам, игнорируя другие важные непространственные факторы, что может привести к ограниченной способности модели к обобщению.

II. Модели математического программирования

Модели математического программирования представляют собой инструмент, позволяющий лицам, принимающим решения, оптимально распределять ресурсы в условиях заданных ограничений для формирования наиболее эффективной пространственной структуры. В отличие от описательных подходов, данные модели ориентированы на минимизацию затрат или максимизацию выгод. Их ключевая цель заключается в прогнозировании будущих результатов для эффективного проектирования, что способствует решению актуальных городских проблем, таких как транспортная доступность и эффективность инфраструктуры. Данная задача является одной из приоритетных в долгосрочной перспективе для специалистов в области транспортного планирования.

Основное допущение моделей математического программирования состоит в том, что процесс принятия решений может быть формализован путём выделения ключевых количественных показателей, включаемых в целевую функцию (например, временные или финансовые затраты). Оптимизация целевой функции осуществляется при соблюдении заданной системы ограничений.

$$\begin{cases} \text{Min } Z(x) \\ \text{s. t. } g_j \geq b_j = 1, 2, \dots, J \end{cases} \quad (2.2)$$

Где:

$Z(\cdot)$ - целевая функция.

$g_j(\cdot)$ - набор ограничений

Математические модели планирования впервые были использованы

Гербертом Стивенсом в 1960 году для анализа взаимодействия дорожного движения и землепользования. Исследование основывалось на методах линейного программирования и было направлено на оптимизацию планирования, обеспечивающую баланс между транспортным спросом и использованием земельных ресурсов в контексте устойчивого городского развития.

Модель ввела понятие «экономии» — разницы между общим бюджетом домохозяйства и его расходами, что позволило отразить поведение домохозяйств при выборе места жительства. В рамках модели предполагается, что рациональные домохозяйства стремятся максимизировать свои сбережения, то есть способность оплачивать аренду жилья. Поскольку все домохозяйства моделируются как рациональные агенты, итоговое распределение жилья соответствует условию Парето-оптимальности, являющемуся критерием экономической эффективности: ни одна группа домохозяйств не может увеличить свои сбережения без уменьшения сбережений других групп или снижения общего благосостояния района.

Однако модель имеет ряд существенных ограничений. Она упрощённо описывает характеристики местоположения и не учитывает влияние региональных различий и особенностей на размещение объектов активности и маршруты поездок. Кроме того, модель недостаточно точно отражает индивидуальные процессы принятия решений и взаимосвязь между транспортной системой и землепользованием, а также требует значительных объёмов данных, что ограничивает её практическое применение.

Инструмент TOPAZ (Technique for the Optimal Placement of Activities in Zones) представляет собой усовершенствованную модель общего планирования, разработанную в ходе практических исследований. Его ключевая функция заключается в распределении видов деятельности с целью максимизации чистой выгоды от пространственных взаимодействий и землепользования. Первоначально TOPAZ моделировал транспортные потоки как результат взаимодействия между зонами активности, но впоследствии модель была дополнена методом максимизации энтропии Уилсона, что позволило количественно оценивать пространственные взаимодействия в форме поездок между зонами.

Структурно TOPAZ имеет сходство с моделью Герберта-Стивенса: обе используют методы линейного программирования и основаны на принципе максимизации. Важным преимуществом TOPAZ является способность моделировать взаимную адаптацию транспортной системы и структуры землепользования. При включении транспортной субмодели архитектура TOPAZ приобретает черты двухуровневой оптимизационной задачи, где транспортная модель занимает нижний уровень. Теоретически, реализация двухуровневой оптимизации в TOPAZ позволила бы эндогенно определять объёмы транспортных потоков.

POLIS (The Projective Optimisation Land-use Information System) – информационная система проективной оптимизации землепользования, разработанная для прогнозирования параметров землепользования, занятости, жилищного фонда, населения и транспортного спроса. В отличие от последовательных моделей Лоури, данная система применяла методы нелинейного программирования для принятия одновременных решений, выступая альтернативой модели PLUM.

В основу POLIS заложена модифицированная модель Уилсона, дополненная формулой избытка Уильямса с позиции математического программирования. Модель предполагает, что выбор места жительства домохозяйств определяется местом работы, способом передвижения и потребительским поведением. Несмотря на сложную структуру, POLIS представляет собой модель пространственного взаимодействия с двойными ограничениями, аналогичную модели Уилсона, и фокусируется на анализе взаимосвязи между транспортом и землепользованием.

Значительным достижением в области координации транспорта и землепользования стало создание интегрированных моделей, объединяющих назначение сети и пространственное взаимодействие. Эти модели преодолевают ограничения предшественников, предполагавших фиксированные транспортные издержки. Их ключевая инновация – эндогенное определение транспортных затрат через взаимодействие транспорта и землепользования, что позволяет учитывать перегрузку транспортных сетей.

Среди расширений интегрированных моделей выделяется модель Кима, описывающая влияние транспортного спроса на размещение объектов с учетом эндогенного зонального спроса на поездки, издержек перегрузки и оптимального производства. Шеффи предлагает показатель привлекательности местоположения, который может быть фиксированным индексом или функцией спроса. При использовании гравитационной функции структура модели сходна с моделью Эванса.

Чу отмечает, что единая модель недостаточно учитывает вариативность поведения в зависимости от уровня «захвата» (конкуренции за ресурсы). Для решения этой проблемы в сетевых моделях применялись подходы Догита и Чу, основанные на декомпозиции пользователей на две стадии, отражающие разное поведение. Обобщенная модель требует дополнительной классификации групп пользователей для более точного описания решений, что позволяет отразить разнообразие стратегий.

Современные комплексные модели, такие как разработки Лама и Хуанга (1992a, b) и Нагурни и Донга (2002), объединяют различные методологические подходы. Традиционные модели опираются на однородность пользователей, разделяя их на классы при расчете транспортных затрат, где взаимодействие между классами задается экзогенными параметрами. В отличие от них, многокатегорийные модели явно учитывают взаимодействие между группами пользователей с близкими поведенческими паттернами.

В таких моделях транспортное сопротивление одной категории зависит от потоков как этой, так и других категорий, причем взаимодействие может быть асимметричным, что исключает выпуклую формулировку в терминах математического программирования. Лам и Хуанг (1992a) интегрировали метод нормализации Ван Влиета (1986), а Нагурни и Донг (2002) предложили подход вариационных неравенств, обладающий большей общностью и способный учитывать асимметричные взаимодействия.

Интегрированная модель была расширена для анализа эндогенных издержек, связанных с размещением экономической деятельности населения (Oppenheim,

1993). В рамках данной модели привлекательность местоположения и маршруты передвижения рассматриваются как функция затрат на размещение, а транспортная перегруженность выступает в качестве примера пространственного барьера. Согласно ряду теоретических подходов, лица, принимающие решения, выбирают местоположение, стремясь минимизировать совокупные затраты, включающие как стохастические издержки размещения, так и детерминированные транспортные расходы. Первоначально модель Оппенгейма применялась для исследования спроса на поездки, однако её потенциал позволяет также раскрыть взаимосвязь между транспортной системой и землепользованием. В модели затраты на размещение являются эндогенными и непосредственно связаны с альтернативными издержками, при этом она способна рассчитывать как альтернативные затраты на размещение, так и транспортные расходы, хотя механизм их взаимодействия остаётся недостаточно изученным.

Модели математического программирования ориентированы на поиск оптимального распределения субъектов, принимающих решения, в пределах заданной территории, с акцентом на формирование эффективной городской структуры в контексте минимизации издержек или максимизации выгод. Ранние версии таких моделей основывались на методах линейной и нелинейной оптимизации, тогда как более поздние модификации интегрировали распределение транспортных потоков в модели пространственного взаимодействия, что позволило детальнее проанализировать взаимовлияние транспорта и землепользования.

Данный класс моделей отличается простотой математического аппарата, однако не учитывает эмпирические характеристики исследуемых территорий. Его применение ограничено в рамках оценочных процедур из-за отсутствия учёта локальных особенностей, поскольку в расчётах используются агрегированные показатели (например, численность населения или площадь зоны). Кроме того, модель не обеспечивает точного отражения индивидуальных процессов принятия решений. Несмотря на дезагрегацию населения, её агрегированный характер затрудняет моделирование поведения отдельных агентов. В то же время модель эффективно описывает взаимодействие транспорта и землепользования, особенно

в комбинированных вариантах, где транспортные расходы определяются эндогенно посредством взаимной корректировки этих двух факторов. Предлагаемый подход демонстрирует частичную эффективность, поскольку предполагает фиксированную привлекательность местоположений и инициирует взаимодействие исключительно через транспортные компоненты.

К недостаткам моделей математического программирования относятся:

Ограниченность теоретических допущений – математические модели часто основываются на ряде допущений, которые могут не учитывать всю сложность реальных процессов.

Высокие требования к данным – для построения эффективных моделей необходимо большое количество точных данных, сбор и обработка которых могут быть ресурсоемкими.

Вычислительная сложность – решение некоторых задач, особенно крупномасштабных или нелинейных, требует значительных вычислительных мощностей и времени.

Низкая адаптивность – после разработки математические модели могут плохо адаптироваться к динамично изменяющимся условиям, требуя частых корректировок.

Сложность интерпретации – результаты сложных моделей могут быть трудны для понимания, особенно для неспециалистов, что ограничивает их практическое применение.

Чрезмерное упрощение – в погоне за математической строгостью модели могут излишне упрощать реальные процессы, приводя к искажению результатов.

Проблема локальных оптимумов – в оптимизационных задачах алгоритмы могут находить локально оптимальные решения вместо глобально оптимальных.

Учет неопределенностей – модели не всегда адекватно учитывают все факторы неопределенности, что может приводить к некорректным прогнозам и рискам при принятии решений.

III. Модели случайной полезности

Модели случайной полезности анализируют взаимосвязь между транспортными системами и землепользованием через призму максимизации полезности лицами, принимающими решения. Данные модели позволяют объяснить зависимость между характеристиками территорий и поведением потребителей.

Каждый индивид характеризуется функцией полезности, которая отражает его предпочтения относительно атрибутов местоположения и собственных свойств. Однако не все атрибуты мест и потребителей поддаются измерению. Для учета ненаблюдаемых факторов в модель вводится случайная компонента. Таким образом, общая полезность альтернативы i представляется в виде суммы наблюдаемой и стохастической составляющих.

$$U(i) = V_i + \varepsilon_i, \forall i \in a \quad (2.3)$$

Где:

V_i - систематические компоненты альтернатив.

Систематические компоненты альтернатив включают наблюдаемые факторы, влияющие на индивидуальный выбор, такие как время поездки, стоимость, уровень комфорта и другие аналогичные параметры. Данные факторы называются систематическими, поскольку они являются общими для всех индивидов либо могут быть точно измерены.

ε_i - случайные компоненты альтернативы. К случайным компонентам относятся ненаблюдаемые факторы, оказывающие влияние на выбор индивида, например, личные предпочтения, эмоциональное состояние или непредвиденные обстоятельства. Эти факторы считаются случайными, поскольку они варьируются среди различных людей и не могут быть полностью предсказаны или измерены. Для моделирования неопределённости, связанной с индивидуальным выбором, случайный компонент обычно описывается с помощью вероятностного распределения.

a - набор выбора индивидуума. Под множеством выбора понимается совокупность всех доступных индивиду вариантам транспорта, маршрутов,

времени отправления и других параметров, которые учитываются при планировании перевозок в заданных условиях.

Вероятность того, что любая альтернатива будет выбрана индивидуумом, определяется следующим образом

$$\begin{aligned} P(i) &= \text{prob}[U_i \geq U_{i'}, \forall i' \in a] \\ &= \text{prob}[V_i + S_i \geq \text{Max}(V_{i'} + S_{i'}), \forall i' \in a, i' \neq i] \end{aligned} \quad (2.4)$$

В практических приложениях модели случайной полезности часто сталкиваются с многомерными пространствами выбора, где множество допустимых альтернатив не всегда четко определено. Например, при моделировании выбора места жительства и способа передвижения возможны ситуации, когда для определенных локаций отсутствуют отдельные виды транспорта (например, общественный транспорт), что создает структурные зависимости между характеристиками местоположения и доступными транспортными опциями.

В анализе многомерных задач принятия решений применяются два ключевых подхода: совместная и вложенная логит-модели. Совместная модель предполагает одновременный выбор с учётом наблюдаемых факторов всех измерений при игнорировании их ненаблюдаемых компонентов. В отличие от неё, вложенная модель рассматривает последовательный выбор, включающий как наблюдаемые, так и потенциально исключаемые ненаблюдаемые элементы, что обеспечивает бóльшую гибкость за счёт учёта специфических для каждого измерения скрытых факторов.

Эволюция практического применения этих методов прослеживается в серии крупных градостроительных проектов. Двухмерная модель Анас впервые была реализована в системе CATLAS (Chicago Area Transportation and Land-use Analysis System, 1981–1985) для анализа транспортных инвестиций Чикаго, затем адаптирована в NYSIM (New York area SIMulation Model, 1990–1993) для исследования нерабочих поездок, рынка коммерческой недвижимости и оценки эффективности транспортных усовершенствований. Дальнейшее развитие подход

получил в СРНММ (Chicago Prototype Housing Market Model, 1987–1993) — динамической модели, ориентированной на жилищную политику для малообеспеченных слоёв населения.

На основе этих наработок был создан коммерческий пакет METROSIM, объединивший модель случайной полезности с эконометрически верифицированным поведенческим компонентом и механизм рыночного клиринга. Система обеспечивает достижение трёх видов равновесия: трудового (распределение рабочих мест), жилищного и коммерческого, что реализуется через итеративную корректировку моделей транспортных потоков и землепользования.

Стохастические модели полезности, широко используемые в транспортно-градостроительных исследованиях, опираются преимущественно на данные наблюдений с присущими им погрешностями. Значительный вклад в их развитие внесла работа Эрнхарта, предложившего комбинировать данные выявленных (RP) и заявленных (SP) предпочтений, что повысило значимость параметров модели. Метод SP также доказал эффективность при оценке негативных транспортных факторов (шум, загрязнение воздуха).

Эти модели, изначально разработанные для теоретического анализа, нашли практическое применение в исследованиях жилищного выбора, оценке готовности платить и аналогичных задачах. Их ключевое преимущество — описание полезности местоположения через атрибуты с учётом ненаблюдаемых характеристик и поведенчески обоснованных решений. Однако они имеют существенные ограничения, включая однонаправленность представления транспортно-градостроительных взаимосвязей и проблемы агрегационного смещения, что требует дальнейшего методологического совершенствования.

Высокие требования к данным: модели, не связанные с выбором, требуют значительного объема данных о поведении индивидов, что на практике может быть затруднительно.

Высокая вычислительная сложность: процесс моделирования может быть крайне ресурсоемким из-за необходимости обработки большого массива

индивидуальных данных.

Проблемы с точностью прогнозирования: в сравнении с агрегированными моделями, неагрегированные могут демонстрировать меньшую стабильность прогнозов вследствие значительных индивидуальных вариаций.

Сложность оценки параметров: калибровка параметров в неагрегированных моделях, как правило, требует применения сложных статистических и эконометрических методов.

Риск переобучения модели: при использовании индивидуальных данных существует вероятность избыточной подгонки модели под выборку, что снижает её прогностическую способность.

Высокие затраты на реализацию: внедрение индивидуализированных моделей сопряжено с существенными издержками, обусловленными сложностью сбора и обработки данных [71, 74, 82, 83].

Теория случайной полезности служит теоретической основой для моделирования выбора и его детерминант. Пусть j — один из вариантов в множестве M ($j = 1, 2, \dots, M$), тогда полезность j -го варианта для i -го индивида может быть выражена как U_{ij} . Предполагается, что данная полезность является линейной функцией R факторов (детерминант). При этом R из них связаны с личностью индивида, но не зависят от атрибутов варианта, а S — напротив, определяются свойствами варианта, но не зависят от характеристик индивида.

Пусть X_{ir} — r -я характеристика i -го индивида ($r = 1, 2, \dots, R$), а W_{js} — s -й атрибут j -го варианта ($s = 1, 2, \dots, S$). Тогда функция полезности может быть представлена в виде уравнений (2.5) и (2.6):

$$U_{ij} = \sum_{r=1}^R \beta_{jr} X_{ir} + \sum_{s=1}^S \gamma_{is} W_{js} + \varepsilon_{ij} = Z_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (2.5)$$

$$Z_{ij} = \sum_{r=1}^R \beta_{jr} X_{ir} + \sum_{s=1}^S \gamma_{is} W_{js} \quad (2.6)$$

β_{jr} — коэффициент между j -м вариантом и r -й характеристикой, а также

коэффициент между j^{th} индивидуумом и r^{th} атрибутом. Кроме того, связь между функцией полезности и определяющими переменными не совсем точная, так как некоторые факторы могут быть исключены или измерения некоторых факторов неточны, поэтому для учета этой неопределенности в уравнение добавляется член ошибки. Поэтому функция полезности называется стохастической моделью полезности. Только если m^{th} вариант обеспечивает наибольшую полезность из всех доступных вариантов, человек выберет $j = m$. Другими словами, если γ_i - случайная переменная, ее значение j ($j = 1, 2, \dots, M$) представляет собой выбор, сделанный m^{th} индивидуумом, то вероятность того, что i^{th} индивидуум выберет m^{th} вариант, имеет вид, представленный в следующем уравнении (2.7):

$$P(\gamma_i = m) = P(U_{im} > U_{ij}, j = 1, 2, \dots, M, j \neq m) \quad (2.7)$$

Для анализа взаимосвязи между зависимой и независимыми переменными, особенно при моделировании влияния одной или нескольких предикторных переменных на категориальную зависимую переменную (с более чем двумя категориями), широко применяются модели мультиномиальной логистической регрессии (МЛР). Данный метод опирается на теоретико-эмпирическую базу, сформированную в предшествующих исследованиях. В представленной работе количество наблюдаемых индивидуальных выборов шаблонов поведения распределено по пяти категориям. В связи с этим для изучения влияния ряда факторов, включая параметры окружающей среды, на предпочтения в использовании общественного транспорта будет использоваться метод мультиномиальной логистической регрессии.

В модели MNL все $\gamma_{is}=0$, а индивидуальная модель представлена в виде уравнения (4).

$$Z_{ij} = \sum_{r=1}^R \beta_{jr} X_{ir} \quad (2.8)$$

Однако в модели MNL имеется m уравнений, но только $m-1$ независимых

неизвестных. Чтобы стандартизировать эту задачу, мы задаем $\beta_{1r} = 0$, $r = 1, \dots, R$ и $Z_{i1} = 0$, поэтому вероятности представлены в уравнениях (5) и (6).

$$P(\gamma_i = 1) = \frac{1}{1 + \sum_{j=2}^M \exp(Z_{ij})} \quad (2.9)$$

$$P(\gamma_i = 1) = \frac{\exp(Z_{im})}{1 + \sum_{j=2}^M \exp(Z_{ij})} \quad (2.10)$$

2.3 Особенность подхода к транспортному планированию в малых и средних городах Китая

Транспортная система малых и средних городов обладает специфическими характеристиками, что требует дифференцированного подхода к решению их транспортных проблем по сравнению с крупными городами. Несмотря на наличие общих вызовов, многие аспекты организации транспортных потоков в малых и средних городах имеют принципиальные отличия. Следовательно, при разработке решений часть задач может быть адаптирована из практики мегаполисов, тогда как уникальные проблемы требуют поиска новых подходов.

I. Существующие проблемы дорожного движения в малых и средних городах

Интенсивная урбанизация в Китае способствовала значительному росту экономики и социальной сферы, что привело к резкому увеличению числа автомобилей. Это спровоцировало рост транспортных проблем, которые постепенно распространились и на малые и средние города. Дорожные заторы, трудности с парковкой и перемещением, характерные для крупных городов как проявление "городских болезней", стали серьезным вызовом и для менее населенных пунктов. Однако ограниченные масштабы и экономические ресурсы малых и средних городов не позволяют решать эти проблемы исключительно за счет масштабного строительства новых дорог. В связи с этим требуется разработка более эффективных и интеллектуальных решений [70].

По данным на конец 2021 года, в Китае насчитывается 2 634 административных района, соответствующих критериям малых и средних городов.

Их совокупная площадь составляет около 8,79 млн км², или 91,6% территории страны. Население этих городов достигает 1,19 млрд человек (84,47% от общего числа жителей страны), а их вклад в ВВП оценивается в 75,79 трлн юаней (74,77% от национального ВВП) [44].

Приведенные данные демонстрируют, что малые и средние города преобладают в городской структуре Китая, что подчеркивает важность разработки специализированных стратегий их транспортного развития.

Табл. 2.1- Количество автомобилей и водителей в Китае

Показатель	2021	2020	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013
Количество частных автомобилей (млн авт)	29418,59	27340,92	25376,38	23231,23	20906,67	18574,54	16284,45	14598,11	12670,14
Количество водителей (10000 человек)	44379,72	45702,49	43636,74	41030,16	36016,94	35876,98	32853,05	29892,32	26955,93

На основании данных, представленных в таблице, можно наблюдать устойчивую тенденцию к ежегодному росту количества владельцев автотранспортных средств в стране. Этот процесс сопровождается увеличением численности водителей, что, в свою очередь, приводит к существенному повышению нагрузки на дорожную инфраструктуру. Аналогичные проблемы транспортной перегруженности характерны и для малых и средних городов Китая.

К концу 2022 года протяжённость национальных автомагистралей достигла 5,28 млн км, что на 10,06 тыс. км превышает показатель предыдущего года. Плотность дорожной сети составила 55,78 км/100 км², увеличившись на 0,77 км/100 км². Анализ данных показывает, что, несмотря на рост пропускной способности национальной дорожной сети, темпы её расширения значительно отстают от скорости увеличения количества автотранспортных средств. В результате непрерывного роста автопарка нагрузка на транспортную инфраструктуру продолжает возрастать.

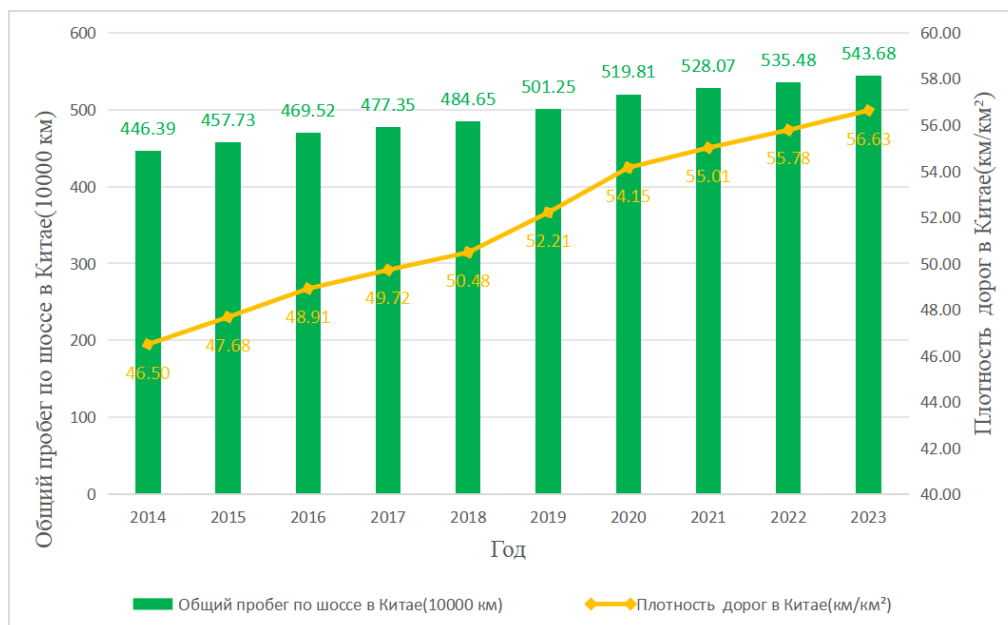


Рис. 2.3 - Общий пробег на национальных автомагистралях и плотность движения по ним за последние пять лет

Особенно остро данная проблема проявляется в малых и средних городах региона, где преобладают дороги IV категории. Дисбаланс между пропускной способностью дорожной сети и динамикой роста числа транспортных средств приводит к значительному ухудшению дорожной ситуации в этих населённых пунктах [50].



Рис. 2.4- Пробег по автомобильным дорогам Китая в соответствии с классом автомобильной дороги.

Табл. 2.2- Стандарт классификации автомобильных дорог Китая

Класс автомобильной дороги	Расчётная интенсивность движения (приведённых ед/сут)	Скорость (км/ч)	Общее число полос движения, (ед).	Ширина полосы движения, (м)
Автомагистраль	25,000-100,000	100-120	4-8	3,75
Автомобильные дороги I класса	15,000-55,000	80-100	4-6	3,75
Автомобильные дороги II класса	5,000-15,000	60-80	4	3,5
Автомобильные дороги III класса	2,000-6,000	30-40	4	3,5
Автомобильные дороги IV класса	<2,000	30	2-4	3,5

Классификация автомобильных дорог КНР по функционально-техническим характеристикам. В Китайской Народной Республике автомобильные дороги классифицируются на шесть категорий в зависимости от их функционального назначения и технических параметров: автомагистрали, дороги I, II, III и IV классов, а также прочие дороги.

Автомагистрали представляют собой многополосные дороги с разделительной полосой и развязками в разных уровнях, предназначенные для высокоскоростного движения. Их среднегодовой среднесуточный трафик колеблется в пределах 25 000–100 000 автомобилей в сутки, а максимальная разрешённая скорость достигает 120 км/ч. Дороги I класса также являются многополосными, оснащены разделительной полосой и развязками, однако их пропускная способность несколько ниже – от 15 000 до 55 000 автомобилей в сутки, а предельная скорость ограничена 100 км/ч.

Дороги II класса – это двухполосные автомобильные дороги с интенсивностью движения 5 000–15 000 легковых автомобилей в сутки и максимальной скоростью 80 км/ч. Дороги III класса имеют аналогичную конструкцию, но рассчитаны на меньший трафик (2 000–6 000 автомобилей в сутки)

и более низкую скорость – до 40 км/ч. Наименее загруженными являются дороги IV класса: их пропускная способность не превышает 1 500 транспортных средств в сутки для двухполосных и 200 – для однополосных дорог, а скорость движения ограничена 30 км/ч [51, 52, 56, 92, 105].

II. Основные проблемы дорожного движения в малых и средних городах

На основании проведенного анализа данных о дорожном движении в малых и средних городах в сравнении с крупными городами, проблемы транспортной системы малых и средних городов можно классифицировать на две категории: общие и специфические.

Общие проблемы транспортного обслуживания характерны как для малых и средних городов, так и для крупных мегаполисов. Для их решения уже разработаны различные методы, которые могут быть адаптированы и применены в условиях малых и средних городов.

К числу общих проблем относятся:

- (1) Заторы на улично-дорожной сети.
- (2) Недостаточное развитие системы транспортного обслуживания и управления дорожным движением.

В отличие от крупных городов, в малых и средних городах большинство проблем дорожного движения носят уникальный характер. Однако в научных исследованиях эти вопросы освещены недостаточно, что обуславливает необходимость разработки специализированных мер для их решения.

Специфические проблемы дорожного движения в малых и средних городах:

- (1) Недостаточная пропускная способность дорог и нерациональная структура дорожной сети.
- (2) Дисбаланс в структуре используемых видов транспорта.
- (3) Дефицит парковочных мест.
- (4) Низкий уровень развития общественного транспорта и отсутствие условий для мультимодальных поездок.
- (5) Недостаточная информированность участников дорожного движения о безопасности.

1. Заторы на улично-дорожной сети

Проблема дорожных заторов в малых и средних городах имеет следующие особенности:

(1) Пространственное распределение

Наиболее загруженными участками являются: основные транспортные магистрали; зоны с высокой концентрацией коммерческой деятельности; участки с интенсивным использованием светофорного регулирования.

(2) Временное распределение

Пиковые нагрузки на дорожную сеть наблюдаются: в утренние и вечерние часы в будние дни; в выходные и праздничные дни из-за увеличения числа транспортных средств [22, 27, 28, 41].

С 2010 года в Китае активно развиваются интеллектуальные технологии, что способствует трансформации городских систем управления. Внедрение цифровых решений и big data позволило усовершенствовать подходы к градостроительству и транспортному планированию. В частности, интеллектуальные транспортные системы стали ключевым направлением развития городской инфраструктуры [85].

Для фундаментального решения транспортных проблем, обусловленных экономическим развитием и ростом потребления в городах, китайские транспортные ведомства сосредоточились на создании интеллектуальных транспортных систем (ИТС). На основе изучения передового зарубежного опыта была разработана теоретическая база ИТС, а также продолжается активное внедрение соответствующих технологий.

Различные города Китая работают над созданием собственных ИТС, рассчитывая, что цифровая трансформация транспортной сферы позволит решить давние проблемы дорожного движения, которые ранее игнорировались в угоду урбанизации. Среди ключевых направлений – увеличение инвестиций в развитие общественного транспорта, оптимизация мультимодальных перевозок и формирование транспортной модели, в которой приоритет отдается общественному и железнодорожному транспорту, а использование личных автомобилей минимизируется. Параллельно ведется совершенствование ИТС, включая

внедрение и самостоятельную разработку технологий интеллектуального управления. Однако, несмотря на достигнутые результаты, проблема дорожных заторов остается нерешенной [24, 26, 30, 31, 34, 35].

На данный момент развитие ИТС в Китае еще не завершено, а исследования в области базовых теоретических основ остаются недостаточно проработанными.

2. Совершенствование системы транспортного обслуживания и управления дорожным движением

Развитие городской транспортной инфраструктуры должно соответствовать потребностям населения. В последние годы при строительстве дорожной сети в густонаселенных районах упор часто делался на количественное расширение, тогда как реальные потребности всех участников движения не учитывались в полной мере. Однако простое увеличение количества дорог не решает транспортных проблем – необходим комплексный подход, направленный на повышение качества транспортного обслуживания.

Таким образом, для снижения загруженности дорог требуется выявить ключевые и наиболее распространенные потребности в передвижении путем анализа транспортных потоков. На этой основе должна быть усовершенствована система транспортного обслуживания, а также обеспечена эффективность планирования и проектирования дорожной сети с учетом спроса на транспортные услуги [87, 88].

3. Недостаточная пропускная способность дорожной сети

Несмотря на значительные инвестиции в развитие дорожной инфраструктуры, малые и средние города по-прежнему сталкиваются с проблемой заторов в часы пик. Это свидетельствует о несоответствии пропускной способности дорог растущему транспортному спросу, а также о недостаточной интеграции новых дорог в существующую сеть. Основной причиной является опережающий рост числа автомобилей по сравнению с расширением дорожной инфраструктуры. При этом большая часть модернизации дорожной сети осуществляется за счет реконструкции существующих магистралей, включая ремонт старых дорог и расширение наиболее загруженных участков [89, 91].

Наибольшую долю в городской дорожной сети занимают второстепенные магистрали, которые обладают ограниченной пропускной способностью. В результате на пересечениях с основными дорогами регулярно возникают заторы. Данная проблема усугубляется несбалансированной структурой дорожной сети, где второстепенные магистрали не обеспечивают достаточного дублирования транспортных потоков. Отсутствие альтернативных маршрутов приводит к концентрации транзитного транспорта на ключевых направлениях, что усиливает перегрузку основных магистралей [20, 21].

4. Дисбаланс транспортной системы

В малых и средних городах наблюдается отставание в развитии общественного транспорта: инфраструктура устарела, а железнодорожное сообщение отсутствует. Провозная способность общественного транспорта не покрывает потребности населения, что требует не только повышения эффективности перевозок, но и улучшения комфорта. В отличие от крупных городов, здесь ограничен выбор видов общественного транспорта, а автобусная сеть не справляется с нагрузкой. Как следствие, жители предпочитают использовать личные автомобили [32, 43, 57, 67].

5. Дефицит парковочных мест

Рост благосостояния населения способствует увеличению числа автомобилей, однако темпы создания парковочных пространств отстают от спроса. Это связано с недостаточным учетом вопросов статичного транспорта в градостроительном планировании и нехваткой специализированных парковочных зон [39, 115].

6. Недостатки в организации общественного транспорта

Ключевыми проблемами являются:

Низкая провозная способность из-за недостатка автобусов.

Неоптимальная маршрутная сеть, не учитывающая транспортный спрос и расположение ключевых объектов.

Низкое качество обслуживания, включая малую скорость движения и отсутствие пересадочных узлов [84].

7. Низкий уровень культуры дорожного движения

Несмотря на совершенствование инфраструктуры (расширение дорог, внедрение систем мониторинга), рост числа мопедов и мотоциклов сопровождается снижением дисциплины участников движения. Правовая осведомленность граждан остается недостаточной: знание ПДД поверхностно, а внимание к безопасности ограничивается реакцией на ДТП. Нарушения со стороны пешеходов, водителей электротранспорта и мотоциклистов, включая выезд на автомобильные полосы, создают дополнительные риски и повышают аварийность [60, 63].

В данной главе рассматривается китайская модель транспортного планирования, основанная на четырёхэтапной методологии. Эта модель включает последовательные этапы генерации поездок, их распределения между зонами, выбора способа передвижения и назначения маршрутов по транспортной сети. Применяемая для оценки транспортного спроса в заданном регионе, модель требует высокоточных исходных данных, включая демографические показатели, параметры землепользования, социально-экономические характеристики и детальные сведения о транспортной инфраструктуре. Для упрощения сложных реальных условий в модели используются такие подходы, как дискретное моделирование времени, агрегирование пользователей в группы, зонирование территории и классификация типов перемещений. Ключевыми входными параметрами выступают социально-экономические показатели, характеристики транспортной сети и данные о мобильности населения.

Четырёхэтапная модель имеет ряд существенных ограничений, среди которых выделяются высокие требования к объёму и качеству данных, ограниченная точность долгосрочных прогнозов и статичность анализа, не учитывающая динамику изменений. Важными недостатками являются игнорирование немоторизованных видов транспорта, длительные циклы планирования, недостаточный учёт экологических факторов и низкая адаптивность к технологическим инновациям. Эти ограничения обуславливают необходимость совершенствования методологии, особенно в условиях быстро меняющейся транспортной среды.

Исторический анализ развития моделей транспортного планирования позволяет выделить три основных направления: модели пространственного взаимодействия (например, модель Лоури), модели математического программирования (включая методы зональной оптимизации) и стохастические модели полезности (такие как модель Лайдса). Каждое из этих направлений имеет свои ограничения в применении к современным транспортным системам, что требует их критического переосмысления и адаптации.

Особый интерес представляет транспортное планирование в малых и средних

городах Китая, где проблемы организации движения имеют свою специфику. Хотя часть вызовов аналогична проблемам мегаполисов (таких как перегруженность улично-дорожной сети и дефицит парковочных мест), многие трудности носят уникальный характер. К ним относятся слабое развитие общественного транспорта, отсутствие мультимодальных решений, несовершенство систем управления движением и нерациональная структура транспортных режимов. Рост автомобилизации привёл к серьёзному дисбалансу между пропускной способностью дорог и количеством транспортных средств. Перспективным направлением решения этих проблем представляется внедрение интеллектуальных транспортных систем, однако в малых городах этот процесс пока находится на начальной стадии.

ТРАНСПОРТНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ В ГОРОДЕ ЦЗЯСЯН

3.1 Анализ дорожного движения в городе Цзясян

I. Обзор городских районов

Городской уезд Цзясян входит в состав городского округа Цзинин (провинция Шаньдун, КНР). Его территория расположена в западной части Цзинина и относится к аллювиальной равнине реки Хуанхэ. Протяжённость уезда с востока на запад составляет 16 км, с севера на юг — 47,5 км, а общая площадь достигает 838,56 км².

Транспортная инфраструктура Цзясяна хорошо развита: через его территорию проходят железная дорога Синь-Ши, ответвление Ри-Хэ скоростной автомагистрали Пекин–Фучжоу, а также автомагистрали Ри-Дун и Цзи-Хэ и национальное шоссе 327 (G327). Уезд имеет выгодное географическое положение, находясь в 60 км к западу от железной дороги Пекин–Коулун и в 40 км к востоку от железной дороги Пекин–Шанхай, что обеспечивает удобную транспортную доступность региона.



Рис. 3.1- Карта города Цзясян

Дорожная сеть города Цзясян имеет преимущественно прямоугольно-сетчатую структуру, что обеспечивает сбалансированное использование дорог, простоту организации перекрестков и гибкость распределения транспортных

потоков. Такая планировка отличается строгостью и простотой, что способствует рациональному размещению зданий. Однако она также имеет недостатки: затруднено диагональное движение, повышенный коэффициент нелинейности маршрутов, увеличение расстояний поездок и рост нагрузки на дорожную сеть. Управление транспортными потоками усложнено, что требует четкого функционального разделения между основными и второстепенными магистралями.

Структура дорожной сети в Генеральном плане города Цзясян (2010–2030 гг.)

Согласно Генеральному плану, дорожная сеть города Цзясян отличается удобством, доступностью и четким функциональным зонированием. Она обеспечивает относительную автономность города при сохранении эффективной связи с транспортной системой региона.

Дорожная сеть включает три уровня:

(1) Скоростные магистрали:

Включают Восточную, Северную и Южную внешние кольцевые дороги, а также шоссе Цзяцзинь. Эти магистрали образуют кольцевую систему, предназначенную для транзитного движения и снижения нагрузки на центральную часть города.

(2) Магистральные дороги:

Запланирована система «восемь вертикалей и семь горизонталей», где:

«Восемь вертикалей» — дороги север-юг, обеспечивающие быстрое перемещение и внешние связи в данном направлении;

«Семь горизонталей» — дороги восток-запад, выполняющие аналогичные функции.

(3) Второстепенные дороги:

В центральной части города предусмотрена сеть «девять горизонталей и одиннадцать вертикалей», способствующая равномерному распределению транспортных потоков.

Проспект Чэнсян — ключевая восточно-западная магистраль с шестью полосами движения в обоих направлениях, разделительным барьером и изолирующими зелеными зонами. Он соединяет города Цзинин и Цзясян,

пересекая национальное шоссе G105 (на востоке) и провинциальное шоссе S244 (на западе). Через его центральную часть проходит скоростное шоссе Цзисюй.

Основу городской дорожной сети формируют улицы Шуньхэ, Цзяньшэ, Яньву, Инфэн, Мэншань, Хуншань, Аэропорт, бульвар Цэнцзы, Цзисян, Чаншэн, Улин, Центр и Янлан. На проспекте Чэнсян сосредоточены административные здания, торговые центры, образовательные учреждения и спортивные объекты, что обуславливает высокую транспортную нагрузку. Наиболее проблемным участком является перекресток с улицей Мэншань, где регулярно возникают заторы.

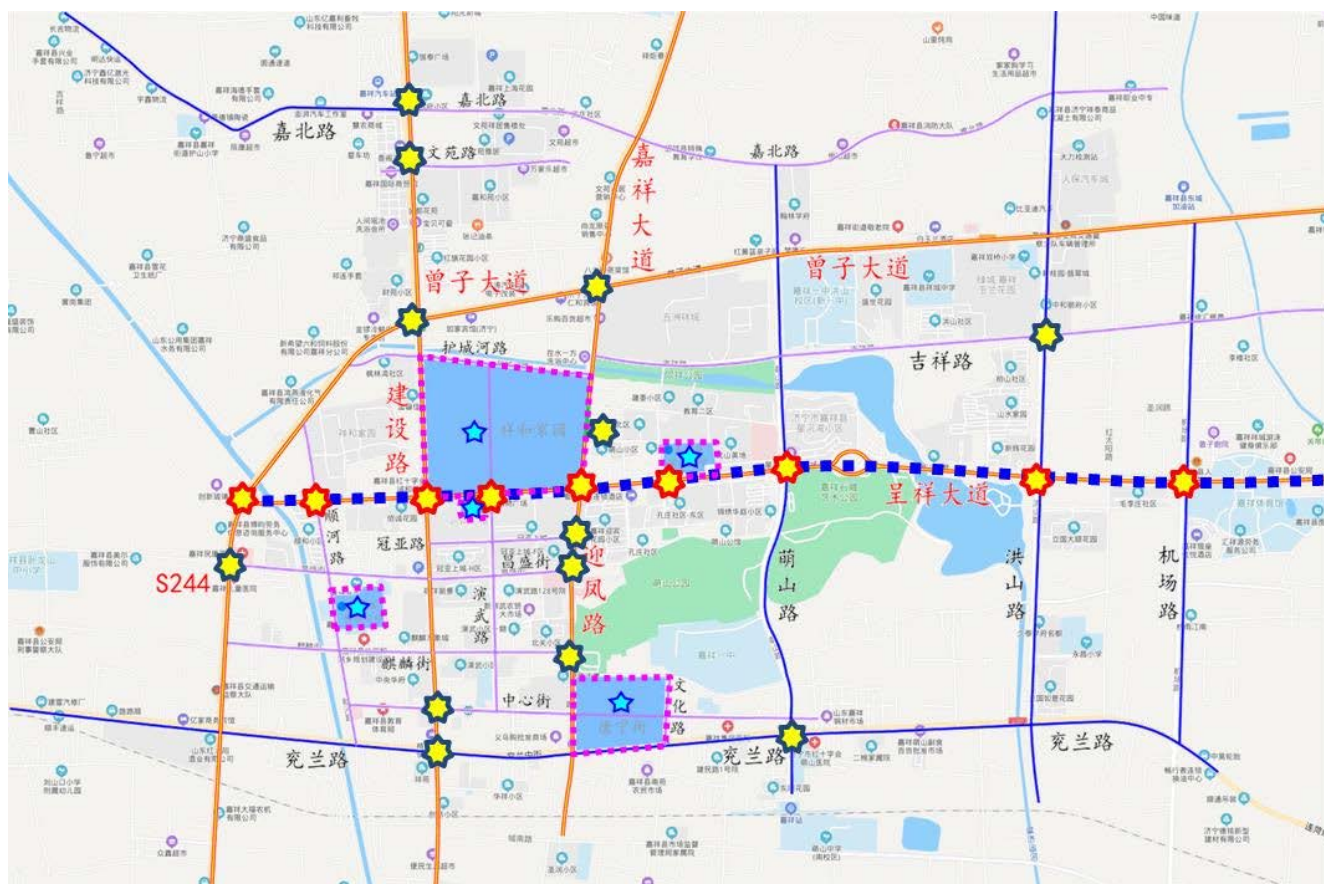


Рис. 3.2- Фрагмент центральной части дорожной сети города Цзясян

Предлагаемый в результате транспортного планирования проект предусматривает увеличение плотности второстепенных магистральных дорог и ответвлений, что позволит улучшить микроциркуляцию транспортных потоков, а также создать комфортные условия для пешеходов и велосипедистов. В условиях плотной городской застройки, где расширение наземных дорожных ответвлений затруднено, целесообразно увеличить плотность сети за счет организации

подземных транспортных коммуникаций.

При проектировании второстепенных дорог и ответвлений необходимо минимизировать транзитный транспортный поток. Планирование дорог низкого уровня иерархии должно осуществляться с учетом функционального зонирования территории и плотности застройки, что соответствует принципам открытости, удобства и формирования характерной квартальной структуры.

II. Исследование основных данных о дорожном движении

На этапе подготовительных исследований были изучены особенности организации транспортных потоков и перекрестков в рамках проектной территории. Для сбора данных соискатель в течение года работал в Городском управлении дорожной полиции г. Цзясян.



(a)



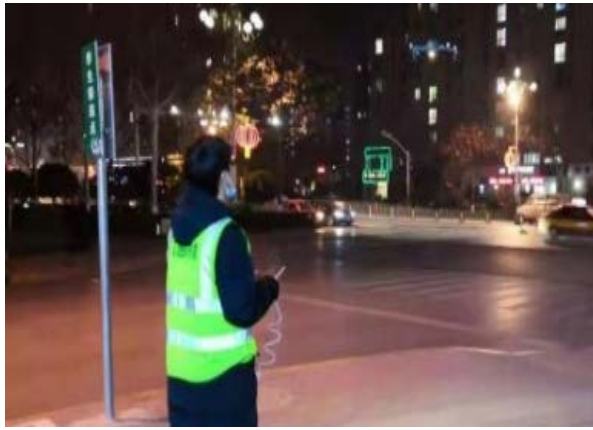
(b)

Рис. 3.3- Предварительное исследование проблемы

Сбор эмпирических данных осуществлялся следующими методами:

Предварительный анализ проблемы – проведены консультации с представителями дорожной полиции для выявления ключевых проблемных аспектов.

Полевое исследование проектной группы: сотрудники выезжали на участки, требующие организации дорожного движения, для проведения обследования и сбора первичных данных.



(a)



(b)



(c)



(d)

Рис 3.4- Полевой опрос проектной группы

Аэрофотосъёмка с использованием БПЛА и картографирование: с помощью беспилотных летательных аппаратов выполнялась съёмка перекрёстков, а также проводились детальные измерения (включая ширину полос движения) с применением дальномера. На основе полученных данных осуществлялось картографирование существующей конфигурации перекрёстков.



(a)



(b)

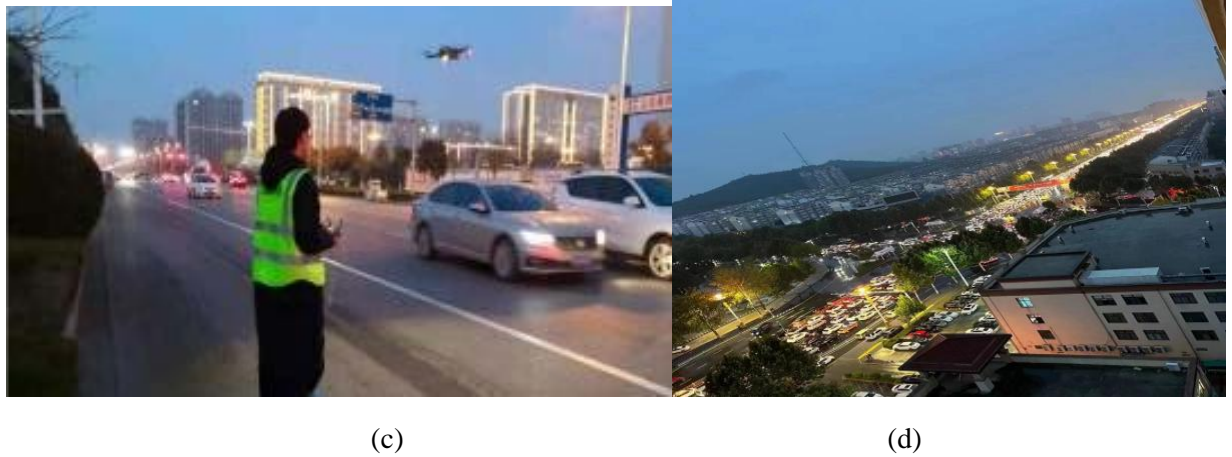


Рис. 3.5- Аэрофотосъемка с беспилотника и картографирования

Основные результаты съёмки и картографирования:



Рис 3.6- Получение данных о дорожном движении

Система мониторинга дорожного движения и обработки данных: для анализа транспортных потоков использовались данные видеонаблюдения и специализированные системы учёта интенсивности движения [48].

今日值班

巴德卓

正雄

公安局交通警察大队指挥中心

交通状况

通行状况

III. Исследование и анализ дорожного движения

(1) Дорожная инфраструктура

(2) Анализ управления дорожным движением

- ### **(3) Исследование организации дорожного движения**

① У лица с односторонним или двусторонним движением

② Автобусная полоса

③ Запрещенное поведение на дороге (разворот запрещен поворот налево запрещён, запрещающая парковать автотранспорт по всей линии и т.д.)

(4) Анализ перекрестков, въездов и выездов и т.д.

Проведен анализ типов перекрестков, их канализирование, количество и назначение полос движения, размеры въездных и выездных зон, уровень дороги, на которой они расположены, методы организации движения и возможные планы расширения.

(5) Оценка уровня эксплуатации дорог

Собрана статистика интенсивности движения на каждом участке дороги (легковые автомобили и тихоходные транспортные средства), а также анализ наличия или отсутствия пиковых нагрузок [49].

IV. Анализ текущей дорожной ситуации в городе Цзясян

Транспортная система города Цзясян развивается динамично, однако ограниченные ресурсы инфраструктуры и дорожной сети не способны удовлетворить растущий спрос населения на перемещения. Неупорядоченная организация дорожного движения и заторы стали одной из наиболее острых транспортных проблем в городе. Вопросы, связанные с дорожной обстановкой, безопасностью движения и энергоэффективностью, также представляют собой серьёзные вызовы для дальнейшего развития транспортной системы Цзясяна.

Городские районы характеризуются высокой плотностью застройки и разнообразием функционального зонирования, что способствует интенсивной социально-экономической активности и концентрации транспортных потребностей. Временные пиковые нагрузки на дорожную сеть возрастают, а массовое использование автотранспорта приводит к неэффективному распределению ограниченных дорожных ресурсов, усугубляя пробки.

Ключевые проблемы транспортной системы города Цзясян проявляются в следующих аспектах:

(1) Недостаточный уровень развития инфраструктуры

Реконструкция и ремонт городских дорог осуществляются регулярно, однако строительные работы оказывают значительное влияние на транспортные потоки. Перекрытие участков дорожного полотна вынуждает водителей менять маршруты, увеличивая расстояние поездок и создавая дополнительную нагрузку на альтернативные направления. Отсутствие надлежащих ограждений, средств организации движения и других элементов инфраструктуры приводит к хаотичному трафику и снижению пропускной способности дорог.

(2) Быстрый рост числа автотранспортных средств

На фоне социально-экономического развития повышается благосостояние населения, что способствует увеличению количества личных автомобилей. Многие домохозяйства владеют одним или несколькими транспортными средствами, что напрямую влияет на рост общего объёма дорожного движения в городе.

(3) Несовершенство стратегий управления дорожным движением

Уровень оснащённости перекрёстков светофорным регулированием в Цзясяне остаётся низким, а применяемые методы управления сигналами не всегда соответствуют реальным характеристикам транспортных потоков. На общегородском уровне недостаточно проработаны стратегии координации управления движением, включая приоритезацию и синхронизацию контроля.

Для решения этих задач необходимо учитывать реальные условия дорожного движения и закономерности транспортных потоков, анализируя их пространственно-временные характеристики. Эффективное управление должно включать внедрение многоуровневой системы, сочетающей скоординированное регулирование на уровне отдельных перекрёстков, магистралей и городских районов, а также применение современных методов синхронизации сигналов и оптимизации фазовых циклов.

Использование передовых технологий управления движением позволит снизить уровень загруженности дорог и повысить эффективность транспортной системы. Комплексный подход к решению существующих проблем сможет обеспечить устойчивое развитие транспортной инфраструктуры города Цзясян в

условиях продолжающегося роста мобильности населения.

(4) Организация дорожного движения требует дальнейшего совершенствования

В настоящее время в городе Цзясян наблюдается наличие деформированных перекрёстков, а применяемые схемы организации дорожного движения устарели. Распространены такие проблемы, как несоответствие функционального назначения полос, нерациональная организация движения, некорректное расположение зон ожидания и отсутствие инфраструктуры для обеспечения безопасного медленного движения. Оптимизация схемы организации дорожного движения на перекрёстках позволит рационально распределить пространственные ресурсы, синхронизировав их использование во времени и пространстве. Это повысит пропускную способность транспортных узлов, обеспечит эффективное пространственное разделение различных транспортных потоков, оптимизирует дорожное пространство и создаст условия для упорядоченного движения.

(5) Отставание в развитии общественного транспорта

Общественный транспорт является приоритетным направлением развития транспортной системы. В перспективе его модернизация станет ключевым инструментом решения проблемы городских заторов. Перераспределение пассажиропотока с личного транспорта на общественный позволит снизить долю малоэффективных поездок, уменьшить уровень автомобилизации, заменить индивидуальные автомобили автобусами и сбалансировать спрос и предложение в транспортной системе. Однако в городе Цзясян уровень использования общественного транспорта остаётся низким: инфраструктура развита недостаточно, условия для пассажиров ограничены, что снижает привлекательность данного вида перемещений. В целом, развитие автобусного сообщения требует значительного улучшения.

(6) Низкий уровень интеллектуализации и информатизации транспортной системы

Интеллектуальные транспортные системы (ИТС) — актуальная тема для обсуждения в обществе, поскольку они напрямую связаны с качеством жизни

населения. В контексте развития «умных городов» ИТС представляют собой важный элемент инфраструктуры и перспективное направление эволюции транспортных систем. Они представляют собой высокоточные и эффективные системы управления движением в реальном времени, созданные путём интеграции передовых информационных технологий, систем передачи данных, электронных сенсоров, управляющих алгоритмов и компьютерных технологий в единый комплекс. Однако город Цзясян демонстрирует отставание в области внедрения интеллектуальных технологий по сравнению с другими городами страны. Одна из наиболее острых проблем — невозможность распознавания сигналов светофора водителями в условиях плохой видимости. Использование платформ больших данных позволит ускорить развитие «умного города», включая модернизацию информационных систем общественного транспорта и сервисов управления дорожным движением.

Городской транспорт Цзясяна развивается динамично, однако ограниченные ресурсы инфраструктуры и дорожной сети не успевают за растущими потребностями населения в перемещениях. Пробки стали одной из наиболее острых транспортных проблем города. Особенностью урбанизированных территорий является высокая плотность застройки и смешанный характер землепользования, что приводит к интенсивной социально-экономической активности и концентрации транспортного спроса. В часы пик плотность потока достигает критических значений: большое количество транспортных средств эксплуатирует ограниченные дорожные ресурсы с низкой эффективностью, усугубляя проблему заторов.

3.2 Методы проектирования и расчет параметров регулируемых пересечений

1. Описание расчета пропускной способности дороги и насыщенности участка дороги

I. Расчет пропускной способности

Определение пропускной способности производится по следующей формуле

$$C_{\alpha} = \sum_{i=1}^n C_i \quad (3.1)$$

C_{α} — пропускная способность участков в одну сторону;

C_i — пропускная способность полосы i ;

i — номер полосы движения, пронумерованный последовательно от центра дороги до края дороги;

$$C_i = C_0 \times \alpha_t \times \alpha_j \times \alpha_c \quad (3.2)$$

C_0 — теоретическая пропускная способность 1 полосы движения, снятая в соответствии с проектной скоростью дороги;

α_t — коэффициент уменьшения полосы движения, система уменьшения первой полосы движения от осевой линии. Вторая полоса составляет 0,80~0,89, третья-0,65~0,78, четвертая-0,50~0,65, а пятая или более-0,40~0,52;

n — количество полос движения в одну сторону;

α_j — коэффициент уменьшения площади перекрестка в зависимости от расчетной скорости движения и расстояния между двумя пересечениями участка дороги определяется по таблице 3.2:

α_c — коэффициент уменьшения ширины полосы движения в зависимости от ширины полосы движения определяется таблицей 3.3:

Табл. 3.1 - Теоретическая пропускная способность полосы движения

Теоретическая пропускная способность полосы движения, предложенная Кодексом проектирования городских дорог					
V(км/ч)	20	30	40	50	60
C_0 (авт/ч)	1380	1550	1640	1690	1730

Табл. 3.2 - Коэффициенты сокращения перекрестных дорог

Коэффициенты сокращения перекрестных дорог значение($a=0.50 \text{ м/с}^2, b=1.5 \text{ м/с}^2, \Delta=15$)													
Скорость		Расстояние между пересечениями (м)											
$V_{\text{(км/ч)}}$	$V_{\text{(м/с)}}$	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
20	5.56	0.45	0.62	0.71	0.76	0.80	0.83	0.85	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91
25	6.94	0.37	0.54	0.64	0.70	0.75	0.78	0.81	0.83	0.84	0.86	0.87	0.88
30	8.33	0.31	0.48	0.58	0.65	0.70	0.73	0.76	0.79	0.81	0.82	0.83	0.85
35	9.72	0.37	0.42	0.52	0.60	0.65	0.69	0.72	0.75	0.77	0.79	0.80	0.82
40	11.11	0.23	0.38	0.48	0.55	0.60	0.64	0.68	0.71	0.73	0.75	0.77	0.78
45	12.50	0.20	0.34	0.43	0.50	0.56	0.60	0.64	0.67	0.69	0.72	0.74	0.75
50	13.88	0.18	0.30	0.39	0.46	0.52	0.56	0.60	0.63	0.66	0.68	0.70	0.72

Табк. 3.3 - Редукционный коэффициент по полосе движения

Коэффициент уменьшения пропускной способности α_c в зависимости от ширины полосы b			
Ширина полосы движения $b(\text{м})$	Коэффициент уменьшения пропусков α_c	Ширина полосы движения $b(\text{м})$	Коэффициент уменьшения пропусков α_c
3.50	1.00	3.00	0.85
3.25	0.94	2.75	0.77

(2) Расчет потока насыщения

V/C —фактический трафик делится на пропускную способность прохода.

2. Расчет пропускной способности и насыщенности

$$C_{\Pi} = \sum_{i=1}^n C_i \quad (3.3)$$

C_{Π} — пропускная способность;

C_i — вместимость подъездов на перекрестке;

i — номер входа на перекресток;

n — количество входов в перекресток, n равно 4 или 3.

$$C_i = \sum_{j=1}^k C_j \quad (3.4)$$

C_j — пропускная способность каждой полосы въезда;

j — номер полосы движения;

K — количество въездных полос.

Сначала необходимо рассчитать пропускную способность каждой полосы движения, затем определить пропускную способность каждого въезда и, наконец, вычислить общую пропускную способность всего перекрёстка.

Для расчёта пропускной способности полосы движения используйте специализированные инструменты, учитывая следующие направления движения: прямо, прямо + поворот налево, прямо + поворот направо, прямо + поворот налево + поворот направо, поворот налево + поворот направо.

① **Расчёт пропускной способности полосы движения** для следующих комбинаций направлений: только прямо; прямо + поворот налево; прямо + поворот направо; прямо + поворот налево + поворот направо; поворот налево + поворот направо.

Данные, которые необходимо ввести:

Данные, которые необходимо ввести:

A. Период сигнала T ;

B. Время зеленого света t , соответствующее фазе;

C. Эффективное время зеленого света t_j для соответствующей фазы;

D. Соответствующий объем трафика.

Дополнительные условия

➔ Пункт "Допустимое время зеленого света t_j ", просто установите число, которое не равно нулю, рекомендуется, чтобы оно было равно t .

➔ Пункт "Объем трафика":

→ Для расчета прямых, прямых левых и прямых левых, и правых полос просто введите число, которое не равно нулю.

→ Для расчета прямой левой полосы введите 10 для записи "Общий поток по полосе" и 4 для записи "Поток по левой полосе".

→ Должны быть строго в порядке прямой, прямой влево, прямой вправо и прямой влево и вправо для расчета.

→ В результате получается только “возможность передать” один предмет.

→ Если имеется несколько полос одного и того же типа, то пропускная способность полосы этого типа рассчитывается путем умножения количества полос.

$$C_s = \frac{3600}{T_c} \left(\left(\frac{t_g + t_0}{t_i} \right) + 1 \right) + \varphi \quad (3.5)$$

C_s — пропускная способность одной прямой полосы движения(авт/ч);

T_c — продолжительность цикла(с);

t_g — время зеленого света, соответствующее фазе(с);

t_0 — после того, как загорается зеленый свет, стартует первая машина, вовремя проезжая линию парковки (с) , можно использовать 2,3 с;

t_i — среднее время (с/авт) для прямого или правого поворота транспортного средства через линию парковки) , для легковых автомобилей, занимает 2.5 с, для грузовых автомобилей - 3.5 с, для автопоезда, прицепа, состоящего из автопарка - 7.5 с.

Состав автопарка, включающего смешанные транспортные средства, определяется на основании данных, представленных в таблице 2.1. Для упрощения расчётов транспортные средства, оснащённые лебёдкой и прицепом, относятся к категории крупногабаритных;

φ — коэффициент уменьшения, 0.9.

Табл. 3. 4 - t_i для смешанного транспортного потока

Грузовой автомобиль : Легковой автомобиль	2:8	3:7	4:6	5:5	6:4	7:3	8:2
t_i (s)	2.65	2.95	3.12	3.26	3.30	3.34	3.42

К крупногабаритным автомобилям относятся автомобили общей массой 4,5 т (включительно), количеством пассажиров (кроме водителей) 20 человек (включительно) или длиной более 6 м (включительно). В том числе: обычные автобусы, грузовики среднего размера и выше, а также крупногабаритные транспортные средства специального назначения.

К малолитражным автомобилям относятся автомобили общей массой не более 4500 кг, вместимостью не более 9 пассажиров (включая водителей) или длиной менее 6 метров. В том числе: легковые автомобили, джипы, минивэны, легкие автобусы, легкие грузовики и небольшие специальные транспортные средства.

Полосы: разрешенное направление движения прямо и направо

$$C_{sr} = C_s \quad (3.6)$$

C_s — пропускная способность разрешенного направления движения прямо и направо полосы.

Полосы: разрешенное направление движения прямо и налево

$$C_{sl} = C_s(1 - \beta_L/2) \quad (3.7)$$

C_{sl} — пропускная способность разрешенного направления движения прямо и налево полосы.

β_L — доля автомобилей, поворачивающих налево, на прямой левой полосе движения.

Полосы: движение в любом направлении

$$C_{slr} = C_{sl} \quad (3.8)$$

C_{slr} — пропускная способность полосы движения в любом направлении.

Расчет пропускной способности выделенных правой и выделенной левой полос разделен на три ситуации: есть выделенные левая и выделенная правая

полосы одновременно, есть выделенные левые полосы, но нет выделенных правых полос, и есть выделенные правые полосы, но нет выделенных левых полос.

Есть как выделенные левые, так и выделенные правые полосы движения.

Данные, которые необходимо ввести:

→Общая пропускная способность прямой полосы движения, введите результат расчета пропускной способности прямой полосы движения впереди: пропускная способность 1 полосы движения по прямой×количество прямых полос движения.

→Общее количество транспортных средств, введите общее количество полос движения на въезде.

→Для движения с левым поворотом введите количество полос для левого поворота на въезде

→Для движения с правым поворотом введите количество полос для правого поворота на въезде.

Результатом расчета здесь является общая пропускная способность импортированной выделенной полосы для левого поворота или общая пропускная способность выделенной полосы для правого поворота, которую не нужно умножать на количество полос.

$$C_L = C_{eLR} \times \beta_L \quad (3.9)$$

$$C_R = C_{eLR} \times \beta_R \quad (3.10)$$

C_L — Пропускная способность выделенной левой полосы движения;

C_R — пропускная способность выделенной правой полосы движения;

C_{eLR} — при наличии как выделенной левой, так и выделенной правой полос пропускная способность этого направления (авт/ч);

β_L — доля транспортных средств, приходящаяся на транспортные средства с левым поворотом;

β_R — доля транспортных средств, приходящаяся на транспортные средства с правым поворотом;

$$C_{eLR} = \sum C_s / (1 - \beta_L - \beta_R) \quad (3.11)$$

$\sum C_s$ — общая пропускная способность прямых полос данного маршрута.

Есть выделенная левая полоса движения, но нет выделенной правой полосы движения

Данные, которые необходимо ввести:

→ Общая пропускная способность прямой полосы движения, введите результат расчета предыдущей пропускной способности прямой полосы движения: пропускная способность 1 полосы движения по прямой \times количество прямых левых полос движения.

→ Общая пропускная способность прямой правой полосы движения, введите результат расчета пропускной способности прямой правой полосы движения впереди: пропускная способность 1 прямой правой полосы движения \times количество прямых правых полос движения

→ Общий расход, введите общее количество полос на входе.

→ Для движения с левым поворотом введите количество полос для левого поворота на въезде.

Результатом расчета здесь является общая пропускная способность специальной полосы для левого поворота, без умножения на количество полос.

Формула расчета:

$$C_L = C_{eL} \times \beta_L \quad (3.12)$$

C_L — пропускная способность выделенной левой полосы движения.

C_{eL} — при наличии выделенной полосы для левого поворота (но без выделенной полосы для правого поворота) пропускная способность этого въезда.

β_L — доля транспортных средств, поворачивающих налево по выделенной левой полосе, приходится на это транспортное средство, въезжающее на полосу.

$$C_{eL} = (\sum C_s + C_{sR}) / (1 - \beta_L) \quad (3.13)$$

$\sum C_s$ — суммарная пропускная способность этой прямой полосы движения;

C_{sR} — пропускная способность прямой правой полосы данного маршрута.

Есть выделенная правая полоса движения, но нет выделенной левой полосы движения

Данные, которые необходимо ввести:

→Общая пропускная способность прямых полос, введите результат расчета пропускной способности предыдущих прямых полос: пропускная способность 1 прямой полосы × количество прямых полос.

→Общая пропускная способность прямой левой полосы, введите результат расчета пропускной способности передней прямой левой полосы: пропускная способность 1 прямой левой полосы × количество прямых левых полос.

→Общий расход, введите общее количество полос на входе.

→Движение с правым поворотом, введите количество полос для правого поворота на въезде.

Внимание : Результатом расчета здесь является общая пропускная способность специальной полосы для левого поворота, без умножения на количество полос.

Формула расчета:

$$C_R = C_{eR} \times \beta_R \quad (3.14)$$

C_R — пропускная способность выделенной правой полосы движения;

C_{eR} — при наличии выделенной полосы для правого поворота (но без выделенной полосы для левого поворота) пропускная способность этого въезда;

β_R — доля транспортных средств, совершающих правый поворот на выделенной правой полосе.

$$C_{eR} = (\sum C_s + C_{sL}) / (1 - \beta_R) \quad (3.15)$$

$\sum C_s$ — сумма пропускной способности прямых полос данного импорта;

C_{sL} — пропускная способность прямой левой полосы данного маршрута.

При въезде на второстепенную дорогу у Т-образного въезда есть только выделенные левая и выделенная правая полосы движения

Пропускная способность этого въезда эквивалентна пропускной способности прямой полосы движения.

3.3 Создание новой системы для решения проблем с дорожным движением

I. Центр управления ИТС

Стремительное развитие интеллектуальных транспортных систем (ИТС) в последние годы обусловило их ключевую роль в решении транспортных проблем малых и средних городов. При планировании дорожного движения требуется создание принципиально новой структуры — «Центра управления ИТС», направленного на оптимизацию транспортных процессов [116, 110].

В состав интеллектуальной транспортной системы входят: мониторинг дорожного движения, управление городским транспортным потоком, электронная система контроля нарушений (электронная полиция), интеллектуальное управление общественным транспортом, реагирование на чрезвычайные ситуации, адаптивное управление дорожными сигналами, сбор и анализ данных о дорожном движении, а также транспортная информационная система. Совокупность этих компонентов формирует единый «Центр управления ИТС». На рисунке 3.7 представлена структура городской интеллектуальной системы управления дорожным движением, включающая восемь основных подсистем:

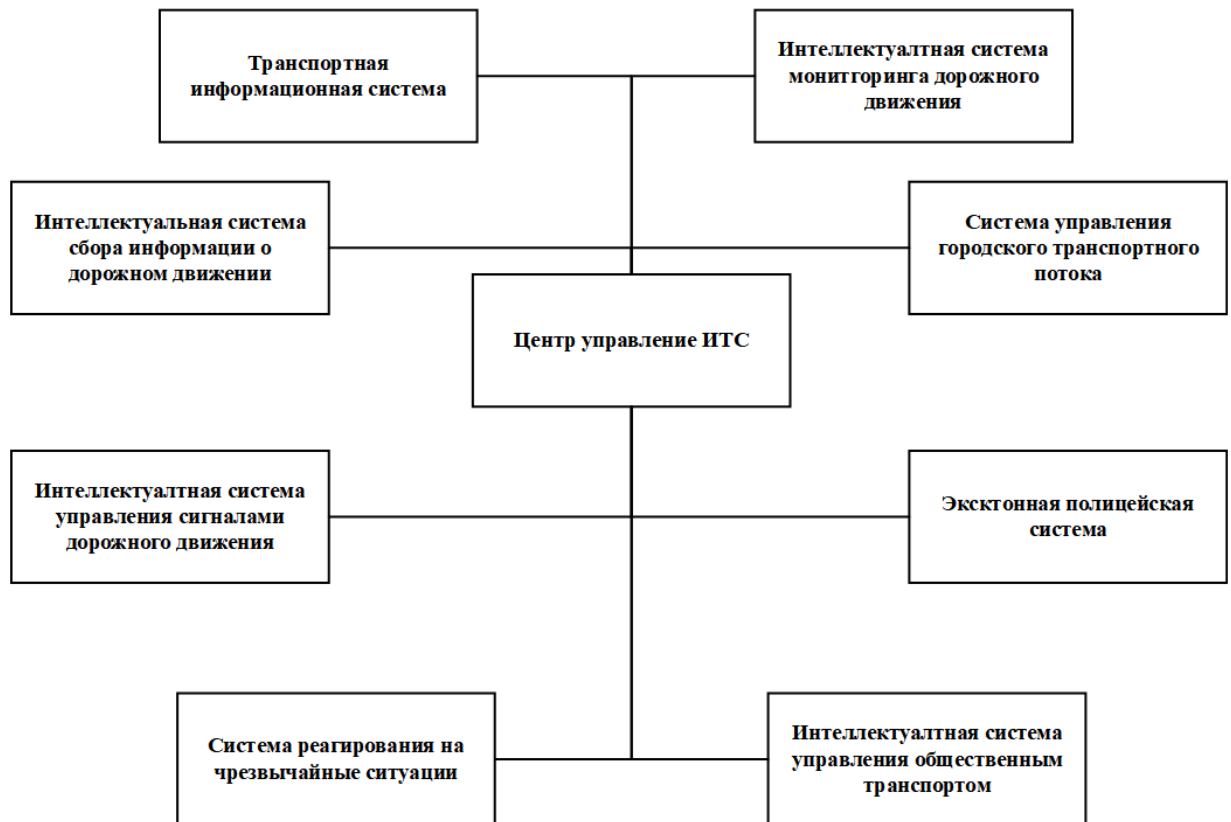


Рис. 3.8- «Центр управления ИТС» в Г. Цзясян

1. Интеллектуальная система мониторинга дорожного движения

Интеллектуальная система мониторинга дорожного движения адаптируется к изменениям дорожной обстановки, обеспечивая сбор актуальной информации о транспортных потоках в режиме реального времени. На основе этих данных система предоставляет транспортным инженерам аналитическую информацию для управления дорожным движением на участках с повышенной аварийностью, заторами и иными чрезвычайными ситуациями. Это позволяет специалистам анализировать функционирование городской транспортной сети. Таким образом, интеллектуальная система мониторинга является ключевым элементом интеллектуальной транспортной системы, поскольку обеспечивает сбор, обработку и учет значительных объемов данных о дорожном движении.

2. Система управления городским транспортным потоком

Система управления городским транспортным потоком представляет собой современный метод организации дорожного движения, интегрирующий технологии big data, информационного анализа и комплексной обработки данных.

Основная функция системы заключается в предоставлении участникам дорожного движения актуальной информации, динамически обновляемой в зависимости от текущей дорожной ситуации. Работа системы базируется на следующих процессах: сбор данных в реальном времени, мониторинг местоположения транспортных средств, генерация управляющих сигналов и последующий анализ их эффективности.

3. Электронная полицейская система

Электронная полицейская система представляет собой вспомогательный инструмент управления дорожным движением, предназначенный для выявления правонарушений на основе анализа данных. Система включает четыре основных модуля: детекция нарушений, фиксация доказательств, верификация нарушений, обработка и публикация результатов [114].

4. Интеллектуальная система управления общественным транспортом

Интеллектуальное управление общественным транспортом особенно актуально для автобусных систем малых и средних городов. Внедрение такой системы способствует повышению эффективности работы городского транспорта, оптимизации управления автопарком и улучшению качества обслуживания пассажиров. Комплексный подход к организации общественного транспорта повышает комфортность его использования для жителей города. Кроме того, система предоставляет аналитические данные для транспортного планирования, что способствует совершенствованию маршрутной сети и инфраструктуры.

5. Система реагирования на чрезвычайные ситуации

Чрезвычайные ситуации в городской транспортной системе оказывают значительное влияние на ее функционирование. Система оперативного реагирования позволяет минимизировать последствия таких событий за счет своевременного принятия мер, сокращения времени восстановления нормального движения и снижения дополнительной нагрузки на дорожную сеть.

6. Интеллектуальная система управления сигналами дорожного движения

Система включает три основных компонента: управляющее ядро (ОС, IoT-ретрансляторы, модули обработки данных), дорожные сигнальные устройства, сеть

передачи данных.

Данная система является фундаментальным инструментом интеллектуального управления транспортными потоками, сочетающим информационные технологии, автоматизированное управление и передачу данных в реальном времени. Ее применение способствует: повышению пропускной способности дорог, оптимизации скоростных режимов, снижению уровня заторов, улучшению городской транспортной среды.

(1) Сетевое преобразование отображения сигналов светофоров на перекрёстках

Система должна использовать унифицированные и открытые стандарты коммуникационных протоколов для повышения совместимости и масштабируемости, а также обеспечить централизованное управление и мониторинг работы светофорных объектов в режиме реального времени в городской среде.

(2) Сегментированное управление магистральным движением («координированное управление»)

Координированное управление, также известное как технология многоточечного управления светофорными сигналами, основано на применении интеллектуальных компьютерных систем для увеличения длительности зелёного сигнала на участках дороги с высокой загруженностью. Это позволяет заблокированному транспорту быстрее преодолевать перекрёстки на проблемном сегменте.

Благодаря модернизации дорожной инфраструктуры и совершенствованию транспортных средств факторы, препятствующие движению, минимизируются. На этой основе, с учётом динамики транспортных потоков на каждом перекрёстке магистрали, светофоры вдоль всей трассы синхронизируются по времени, что обеспечивает реализацию сегментированного управления по принципу «зелёной волны».

(3) Координированное интеллектуальное управление светофорами в субрегионах

Для максимизации пропускной способности городской дорожной сети, снижения заторов, повышения безопасности дорожного движения и обеспечения приоритетного проезда спецтранспорта в чрезвычайных ситуациях разрабатывается региональная система координированного управления. Она основана на современных международных и отечественных теориях и практиках управления дорожным движением.

С учётом структуры и характеристик транспортных потоков в сетях малых и средних городов, а также актуальности и взаимосвязи перекрёстков, зоны контроля рационально сегментируются. Светофоры в пределах региона интегрируются в единую систему регулирования. В зависимости от нагрузки на дорожную сеть длительность сигналов на смежных перекрёстках автоматически корректируется, что исключает перегрузку системы из-за ручного управления и обеспечивает сбалансированность транспортных потоков.

(4) Система приоритетного проезда для спецтранспорта

Функция приоритетного проезда предназначена для обеспечения первоочередного проезда общественного транспорта (например, автобусов) через перекрёстки. В зависимости от особенностей городской инфраструктуры могут выделяться специальные автобусные полосы, а также внедряться перекрёстки с приоритетным управлением на основе технологий системы «Бэйдоу» или RFID.

7. Интеллектуальная система сбора информации о дорожном движении

Информация о городском движении, подлежащая сбору, включает данные о состоянии дорог, параметры дорожного движения, скорость транспортных средств, плотность транспортного потока и другие показатели. На первом этапе необходимо обеспечить сбор исчерпывающих данных о дорожном движении в режиме реального времени с использованием радаров, видеонаблюдения, инфракрасных датчиков и заземлённых сенсоров. Далее выполняется отказоустойчивая обработка, включая фильтрацию, форматирование, упаковку и передачу данных, а также анализ отчётов предварительной обработки для оценки работы транспортной сети.

Современные городские дорожные сети позволяют своевременно выявлять дорожно-транспортные происшествия, определять оптимальные направления

управления движением и формировать базу данных для разработки нормативов регулирования транспортных потоков. Это способствует внедрению научно обоснованных решений для повышения эффективности функционирования дорожной системы.

Центр обработки данных по сбору информации

Создание единой системы сбора информации о дорожном движении в центре управления обеспечивает полный доступ и долгосрочное хранение данных, связанных с городским транспортом. Система должна обладать следующими функциями:

- сбор данных о дорожном движении;
- анализ и обработка информации;
- хранение данных;
- визуализация транспортных потоков на основе ГИС-технологий.

В результате динамическая информация о транспортных средствах и другие данные подвергаются комплексной обработке для принятия управленческих решений.

8. Транспортная информационная система

Транспортная информационная система реализуется посредством установки информационных дисплеев на основных въездах в город, ключевых узлах дорожной сети, а также через веб-сайты интеллектуальных транспортных служб. Использование динамических табло и онлайн-платформ для публикации актуальной информации обеспечивает участникам дорожного движения прямой доступ к данным. Это позволяет водителям и пешеходам оперативно получать сведения через мобильные устройства (смартфоны, планшеты) и принимать обоснованные решения о выборе маршрута, что способствует рациональному распределению транспортных потоков [38,42,45,46,55,62,69].

В системе предусмотрен «режим школьных каникул», который автоматически обнаруживает аномалии в движении (например, вблизи учебных заведений) и активирует временные схемы организации движения (одностороннее движение, выделенные школьные автобусные маршруты). Дополнительно

сотрудники ГИБДД направляются на перекрёстки для контроля, организуются временные парковочные зоны, а через социальные сети распространяются рекомендации по альтернативным маршрутам.



Рис. 3.9- Система принятия решений по управлению движением перед транспортным планированием

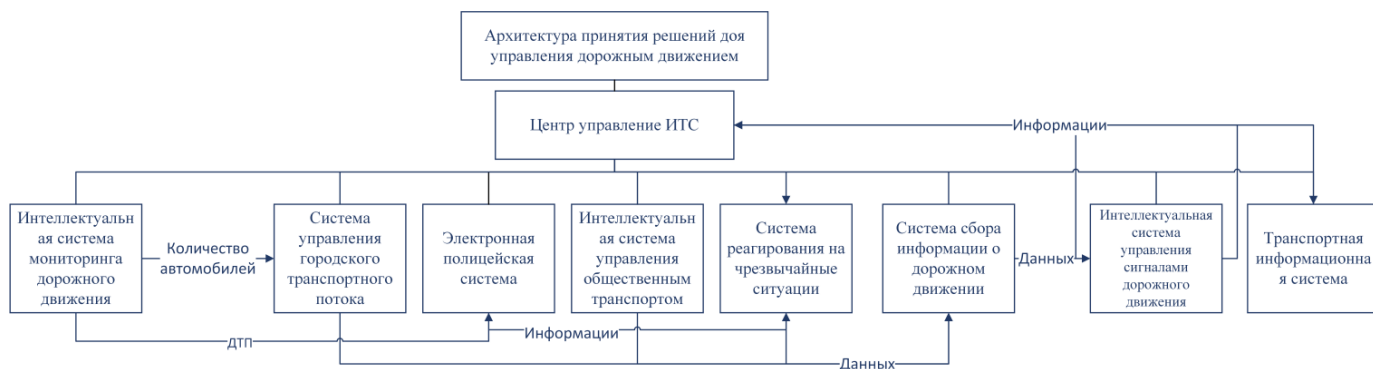


Рис. 3.10- Система принятия решений по управлению дорожным движением после планирования движения

В результате анализа архитектуры принятия решений в сфере управления дорожным движением было установлено, что её структура претерпела изменения: вместо первоначальных трёх департаментов и восьми систем остался один департамент при сохранении прежнего количества систем. Данная реорганизация может способствовать повышению координации и согласованности работы систем, а также оптимизации процесса принятия управленческих решений в области дорожного движения.

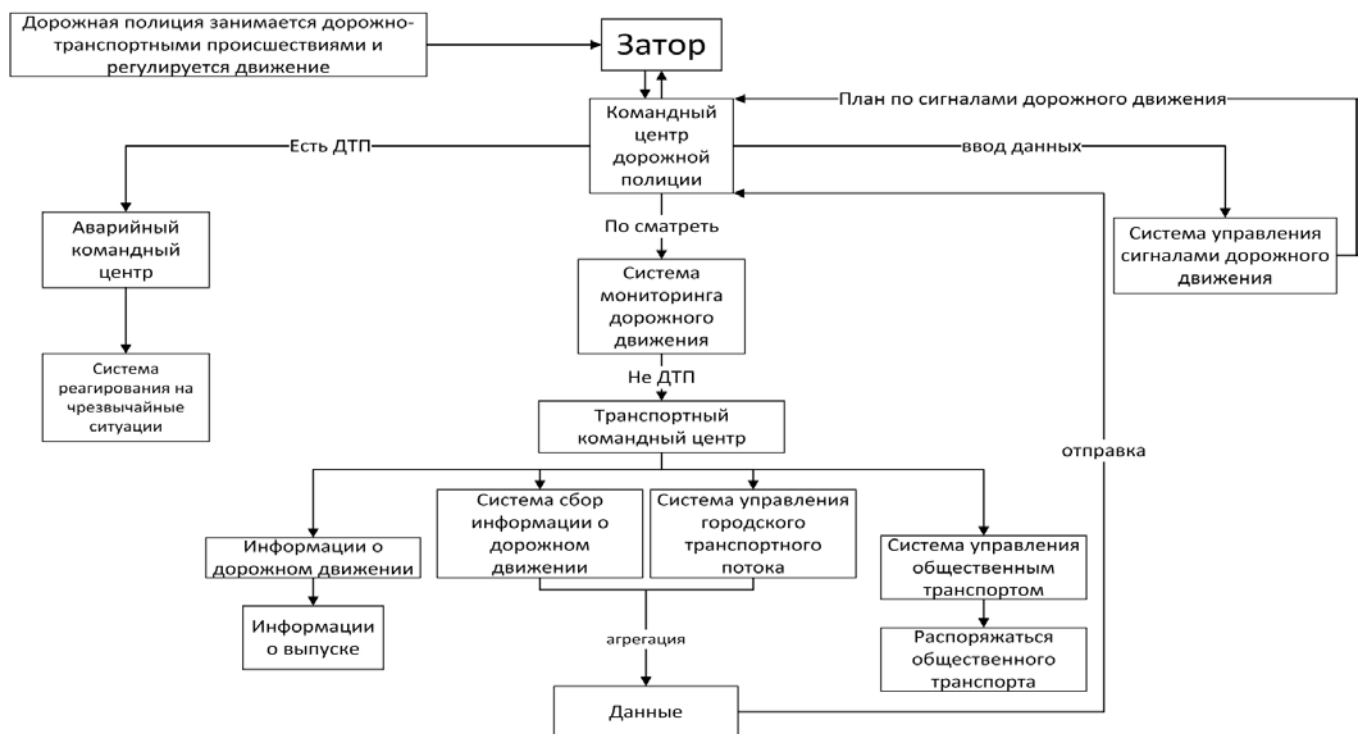


Рис. 3.11- Процесс принятия решений по управлению дорожным движением до транспортного планирования

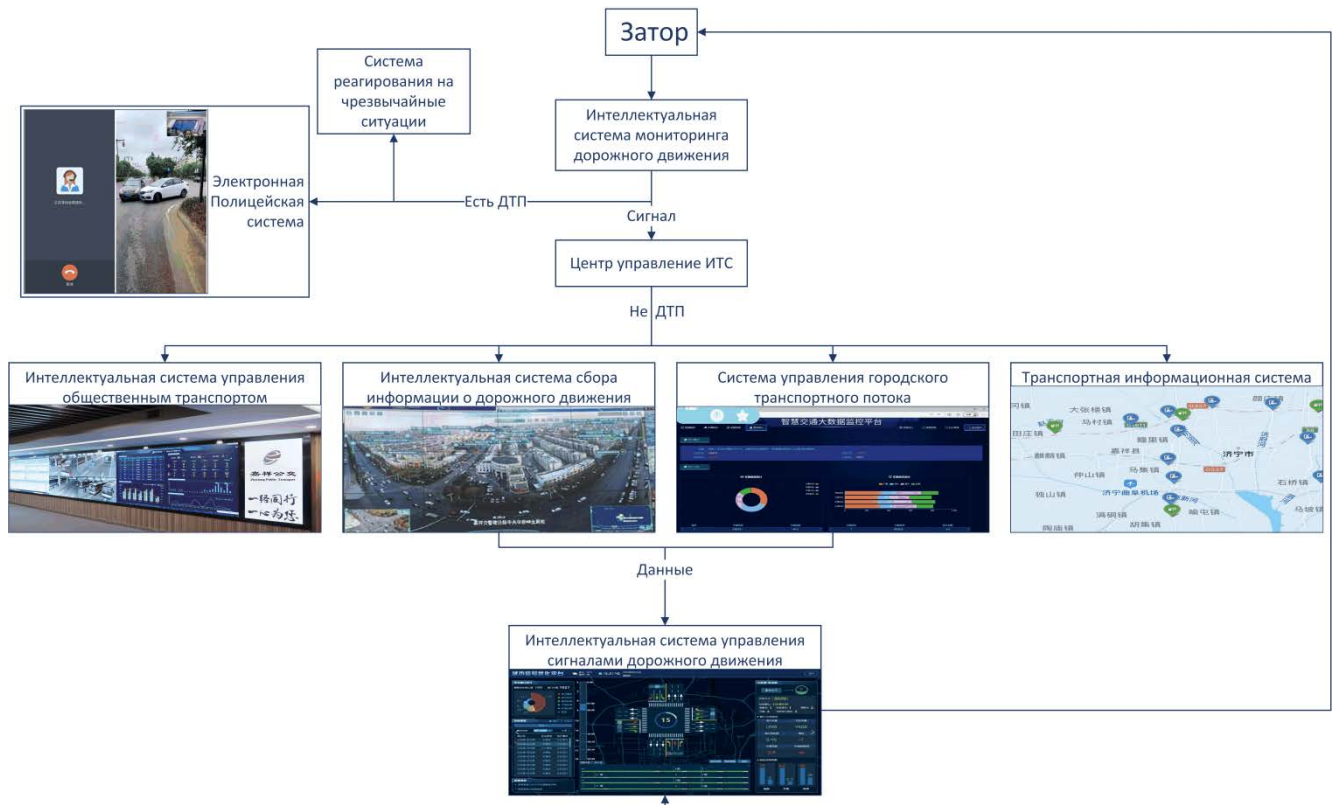


Рис 3..12- Процесс принятия решений по управлению движением после планирования движения

Как видно из рисунка, процесс принятия решений по управлению дорожным движением сокращается, а первоначальная система заменяется интеллектуальной системой, которая может принимать решения более эффективно.

Выводы по главе

В данной главе анализируется городской транспорт в городе Цзясян, провинция Шаньдун, Китай. Анализ включает обзор города и транспортной инфраструктуры, обследование и анализ дорог, а также выявление текущих транспортных проблем.

Рассмотрены методология проектирования и параметры регулируемых перекрестков, формулы и параметры для расчета пропускной способности дорог, а также критерии классификации уровня обслуживания движения с

соответствующими сценариями интенсивности движения.

Представлена новая система для решения транспортных проблем в малых и средних городах - Центр управления ИТС (известный как "Городской транспортный мозг"). Проведено сравнение архитектуры принятия решений и процесса управления дорожным движением до и после внедрения системы.

Центр управления ИТС объединяет восемь подсистем. Его внедрение изменило архитектуру принятия решений с модели "три департамента и восемь систем" на модель "один департамент и восемь систем", что улучшило координацию и согласованность работы. Процесс принятия решений сократился, а традиционная система была заменена интеллектуальной с более высокой эффективностью [61,68,75].

Глава 4. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ТРАНСПОРТНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

4.1 Перспективные направления организации дорожного движения

Городской транспорт в Цзясяне развивается высокими темпами. Однако ограниченные ресурсы транспортной инфраструктуры и дорожной сети не способны удовлетворить растущий спрос на перемещения населения. Одной из наиболее острых транспортных проблем города являются дорожные заторы, усугубляющиеся ежегодно из-за высокой плотности застройки и диверсифицированного землепользования. Это приводит к высокой социально-экономической активности и концентрации транспортного спроса в пространстве. Временное распределение нагрузки также неравномерно: в часы пик плотность транспортного потока достигает критических значений, а большое количество транспортных средств вынуждено использовать ограниченные дорожные ресурсы, что снижает эффективность движения и усиливает пробки.

Население Цзясяна составляет 916 800 человек, из них 388 900 проживают в городской черте. Торговые зоны сосредоточены в центральной и западной частях города, жилые районы расположены преимущественно в центре, на западе и севере, а промышленные зоны – на периферии городской застройки, главным образом на востоке и юго-западе.

Городской транспорт представлен автобусами, такси и сервисами каршеринга (байкшеринг). В Цзясяне функционируют: 48 автобусных маршрутов, 1078 остановочных пунктов, 280 автобусов, 3 000 такси, 40 000 единиц байкшеринга.

Для транспортного планирования территория города разделена на соответствующие зоны с выделением жилых, производственных, торговых, административных, торговых, культурно-развлекательных, логистических зон. Результаты зонирования приведены на рис. 4.1.

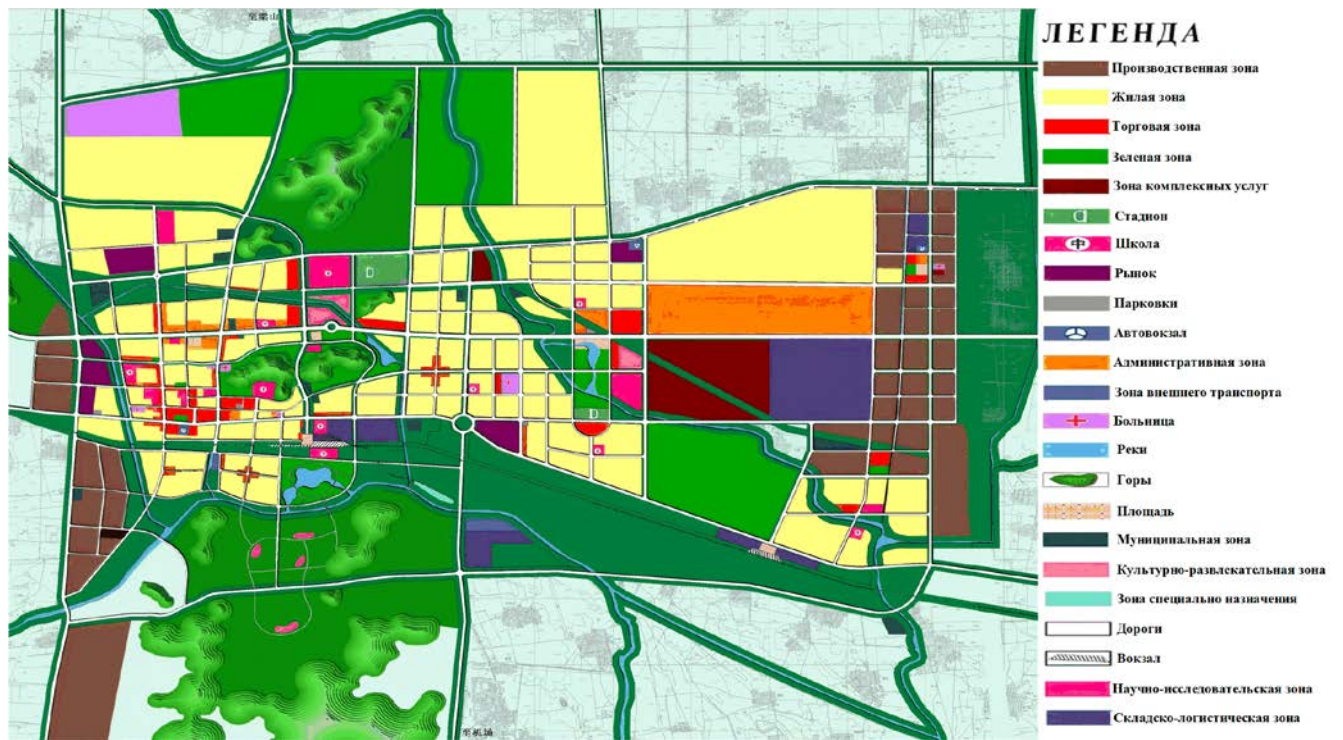


Рис. 4.1 – функциональное зонирование г. Цзясян

Основным средством мобильности является автомобильный транспорт, на долю которого приходится 56% от общего числа поездок. Общественный транспорт не ходит в число приоритетов и только 11% передвижений выполняется на этом виде транспорта. В совокупности на двухколёсных видах транспорта совершается 26% передвижений и это традиционно для средних городов Китая.

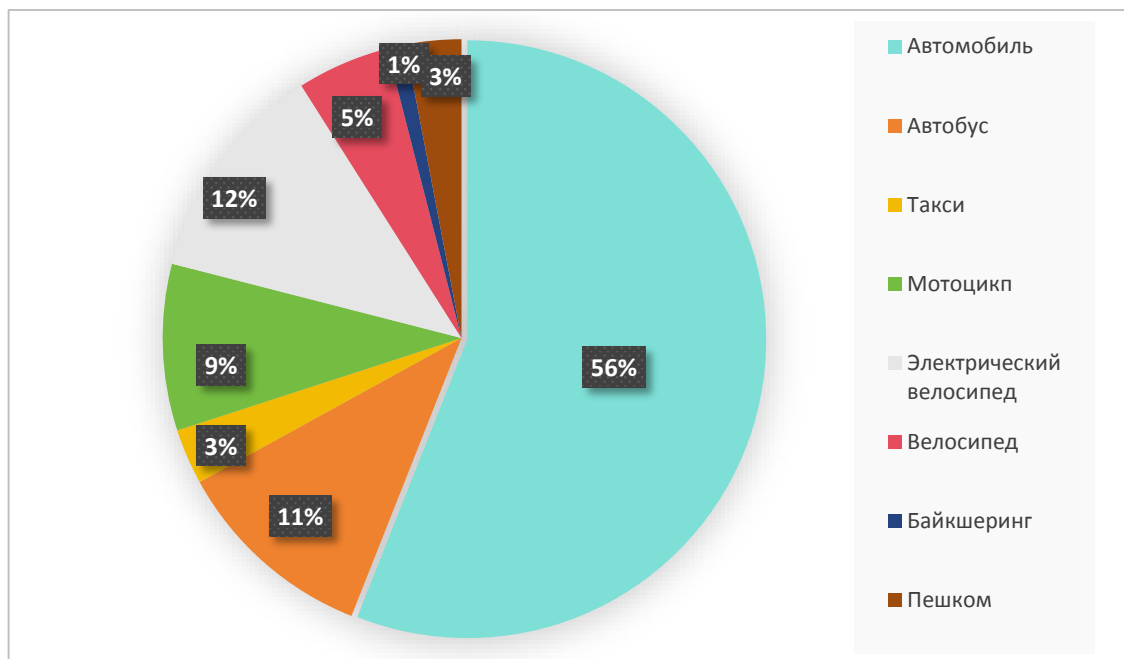


Рис. 4.2- способы передвижения в городе Цзясян

Улично-дорожная сеть приведена на рис. 4.3. На рис. 4.3 жёлтыми точками обозначены наиболее загруженные перекрёстки города Цзясян.

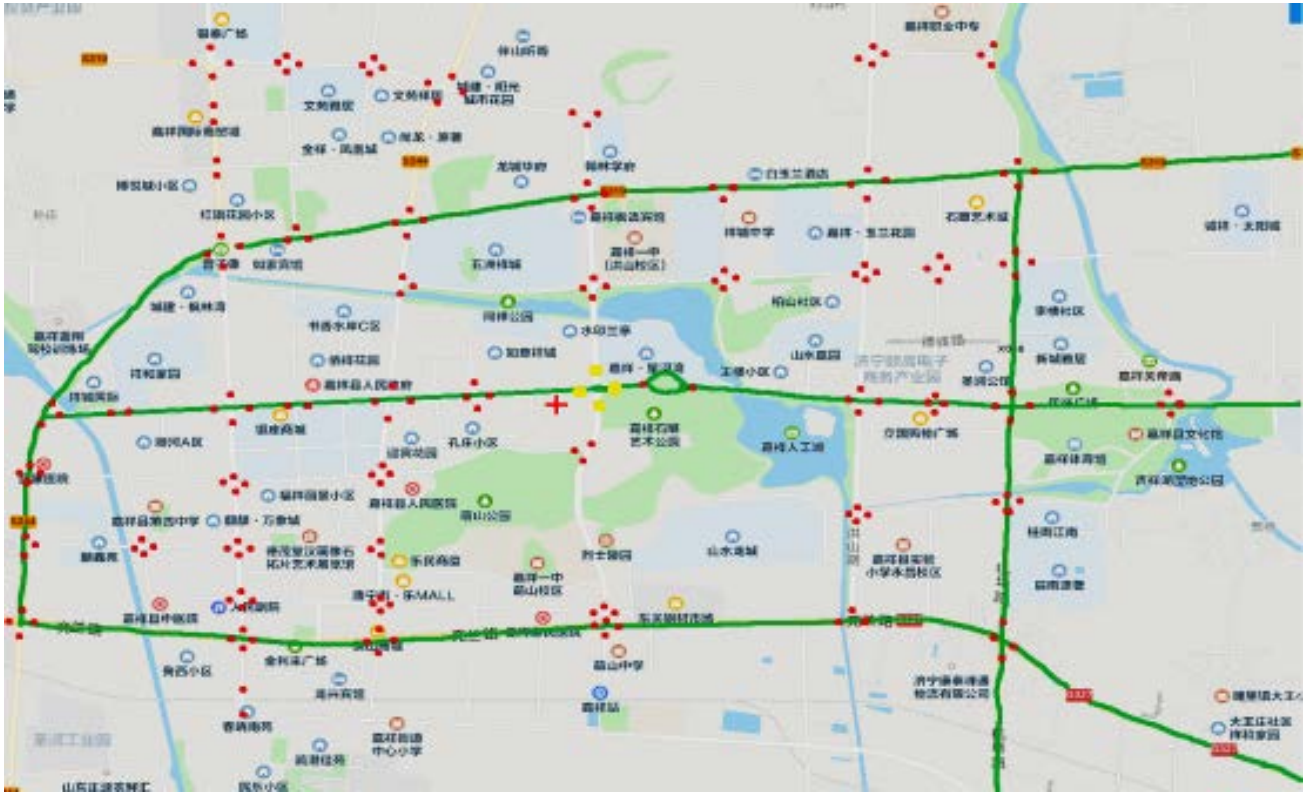


Рис. 4.3. – улично-дорожная сеть при исследовании и моделировании

Особенности распределения транспортного спроса заключаются в следующем.

Утренний час пик.

Основной поток транспорта направлен из центра города в восточные и юго-западные промышленные районы. Наибольшая нагрузка наблюдается на ключевых магистралях: Проспект Чэнсян, Дорога Цзяньшэ, Дорога Мэншань, Трасса S244 и др.

На проспекте Чэнсян зафиксировано 5 узлов с интенсивностью движения более 3000 автомобилей/час. Уровень насыщенности (коэффициент загрузки) основных магистралей, включая проспект Чэнсян и проспект Цзэнцзы, варьируется в пределах 0,6–0,75, что свидетельствует о замедленном движении. На отдельных участках Yingfeng Road и S244 насыщенность достигает 0,75–0,9 (перегруженные

условия), а на некоторых – превышает 1,0 (критическая перегрузка).

Вечерний час пик.

Транспортный поток направлен в обратном направлении – из промышленных зон в жилые районы. Основная нагрузка сохраняется на тех же магистралях: Проспект Чэнсян (6 узлов с интенсивностью >3000 авт./ч), Строительная дорога, Проспект Цзясян (отдельные узлы >3000 авт./ч).

Уровень насыщенности на проспекте Цзэнцзы, дороге Инфэн и дороге Янкуанлан превышает 0,7, что указывает на перегруженность. Узлы на дороге Мэншань и проспекте Чэнсян функционируют на уровне обслуживания D (низкий), E или F (критический), что соответствует состоянию дорожного коллапса.

По результатам транспортного планирования выявлены следующие ключевые проблемы дорожного движения в г. Цзясян, которые на текущий момент сосредоточены в следующих сферах:

I. Проблемы городской дорожной сети:

Недостаточная пропускная способность дорожной сети.

Конфигурация поперечного сечения дорог не соответствует потребностям всех категорий участников движения.

II. Проблемы пересечений:

Недостаточная пропускная способность левоповоротных потоков.

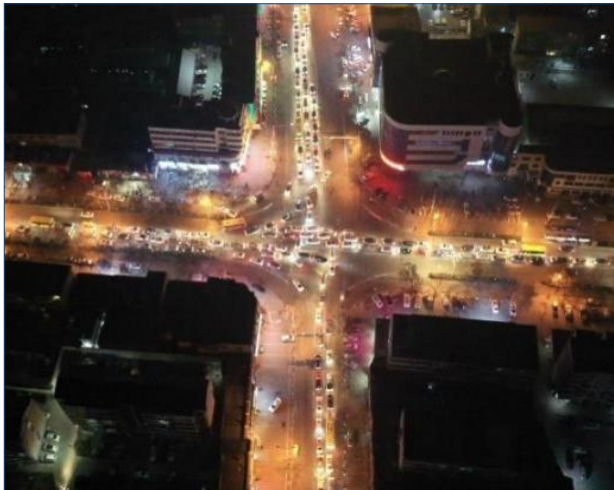
Дефицит пропускной способности для прямолинейного движения.

Анализ проблем

I.1. Недостаточная пропускная способность дорожной сети

Существующие ограничения городской дорожной сети препятствуют развитию транспортной системы в современных условиях. В городской черте дисбаланс между спросом и предложением продолжает расти, особенно в центральных районах. Узкая ширина дорог, а также преобладание двухполосных дорог с двусторонним движением не обеспечивают достаточной пропускной способности. В некоторых случаях оптимизация транспортных потоков возможна лишь за счет организации одностороннего движения, что усложняет управление городским транспортом.

Например, в связи с расширением городской застройки функциональное назначение южного участка Строительной дороги изменилось с жилой на общегородскую. Однако её пропускная способность ограничена шириной: участок имеет всего две полосы для двустороннего движения, что не соответствует современным стандартам дорожного строительства.



(a)



(b)

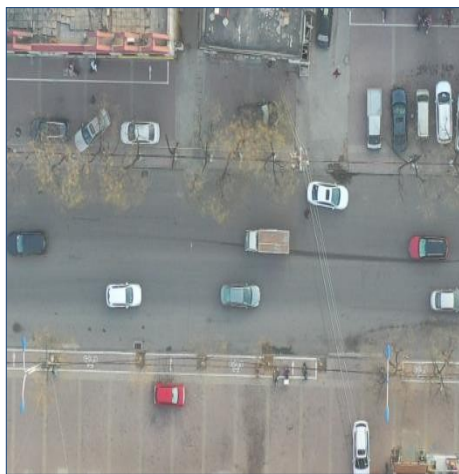
Рис. 4.4- Пиковая дорожная ситуация в вечерний пик

I.(2). Конфигурация поперечного сечения дороги не отвечает требованиям всех категорий участников дорожного движения

Поперечное сечение городских дорог традиционно включает следующие элементы: проезжую часть, велосипедные дорожки, разделительные полосы, элементы инфраструктуры и зелёные насаждения. При проектировании поперечного профиля необходимо комплексно учитывать транспортные потребности, принципы устойчивого развития, требования безопасности, а также особенности инженерных коммуникаций. Однако в городском районе Цзясян конфигурация поперечных сечений ряда дорог не отвечает современным требованиям, что проявляется в неоптимальном распределении полос движения и недостаточной эффективности организации транспортных потоков. Существующие решения не обеспечивают необходимый уровень функциональности и безопасности дорог, что создаёт препятствия для устойчивого развития транспортной системы.

В качестве примера можно рассмотреть улицу Инфэн – четырёхполосную

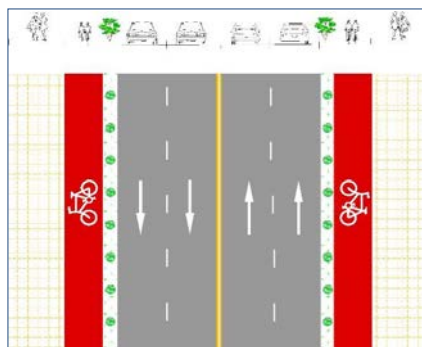
магистраль с двусторонним движением, ориентированную в северо-южном направлении. Интенсивность движения на данном участке осложнена высокой плотностью прилегающих объектов (школы, больницы, торговые центры), что приводит к частым перестроениям транспортных средств. Пропускная способность дороги составляет 2400 авт/ч, однако в часы пик интенсивность движения достигает 1587 авт/ч при коэффициенте загрузки 0,66. Вследствие этого фактическая скорость движения значительно ниже проектной, а общая эффективность транспортного потока остаётся неудовлетворительной [23, 33, 58].



(a)



(b)



(c)

Рис 4.5- Поперечное сечение текущей ситуации на дороге Инфэн

II.(1). Недостаточная пропускная способность левоповоротного движения

На пропускную способность ряда перекрёстков оказывают влияние такие факторы, как канализирование транспортных потоков, длительность светофорного

цикла и ограниченная возможность выполнения левоповоротных манёвров. В качестве примера можно рассмотреть западный съезд с проспекта Чэнсян на улицу Мэншань: в часы пик интенсивность движения здесь достигает 571 авт./ч, тогда как проектная пропускная способность составляет лишь 259 авт./ч. Коэффициент насыщенности движения равен 2,20, что свидетельствует о значительном уровне заторов.

II.(2). Недостаточная пропускная способность при прямолинейном движении

На отдельных перекрёстках в пиковые часы наблюдается выраженная неравномерность прямолинейного транспортного потока (tidel traffic), а также формирование вторичных очередей в одном направлении. Так, в вечерний час пик на пересечении проспекта Чэнсян и улицы Мэншань длина очереди на восточном съезде достигает 200 метров. В среднем около 97 транспортных средств вынуждены ожидать в течение двух циклов светофорного регулирования, что указывает на недостаточную пропускную способность прямолинейного направления.

Табл. 4.1-Перечень мероприятий по результатам транспортного планирования

N n/n	Наименование мероприятия	Решения, предложенные автором	Решаемая проблема
№ 1	Недостаточная пропускная способность дорожной сети.	Реализация координированного управления	Снижение задержек, увеличение скорости, повышение пропускной способности
№ 2	Конфигурация поперечного сечения дороги не отвечает требованиям всех категорий участников дорожного движения	Уменьшение ширины полос движения, увеличение количества полос движения, изменение планирования функций полос движения и уточнение функций полос движения	Увеличение пропускной способности
№ 3	Недостаточная пропускная способность левоповоротного	Реверсивная полоса движения, изменение параметров светофорного управления	Увеличение пропускной способности левоповоротного движения

N n/n	Наименование мероприятия	Решения, предложенные автором	Решаемая проблема
	движения		
№ 4	Недостаточная пропускная способность при движении прямо	Увеличение зоны ожидания для прямого движения и полосы с изменяемым направлением движения, изменение времени работы светофора	Увеличение пропускной способности

Проспект Чэнсян является наиболее загруженной магистралью в городе Цзясян, а пересечение с улицей Мэншань представляет собой один из самых проблемных перекрёстков с точки зрения транспортной нагрузки. В целях повышения пропускной способности дорожной сети на проспекте Чэнсян планируется внедрение системы «зелёной волны», которая позволит оптимизировать транспортные потоки в обоих направлениях. Параллельно будет проведена реконструкция перекрёстка проспекта Чэнсян и улицы Мэншань для улучшения организации движения.

Для решения данной проблемы необходимо:

- разработать интеллектуальную интегрированную систему управления транспортом и систему адаптивного управления дорожными сигналами в Бюро дорожной полиции;
- оптимизировать интеллектуальную систему сбора данных о дорожном движении в городе Цзясян;
- внедрить режим движения «зелёной волны» на улице Чэнсян (Рис 4.2), схема координации которого представлена на Рис 4.3–4.5;
- установить шесть светодиодных информационных экранов на улице Чэнсян.

В ходе реконструкции городской инфраструктуры было модернизировано 15 перекрёстков с добавлением 36 полос движения. Кроме того, на восточном въезде на пересечение улиц Чэнсян и Мэншань были организованы полосы с изменяемым направлением движения (Рис. 4.5–4.7). Данные полосы функционируют как прямые в утренние часы пик и как полосы для левого поворота в вечерние часы пик, что позволяет повысить пропускную способность восточного въезда и

адаптивность дорожной инфраструктуры к изменяющейся нагрузке в течение суток.

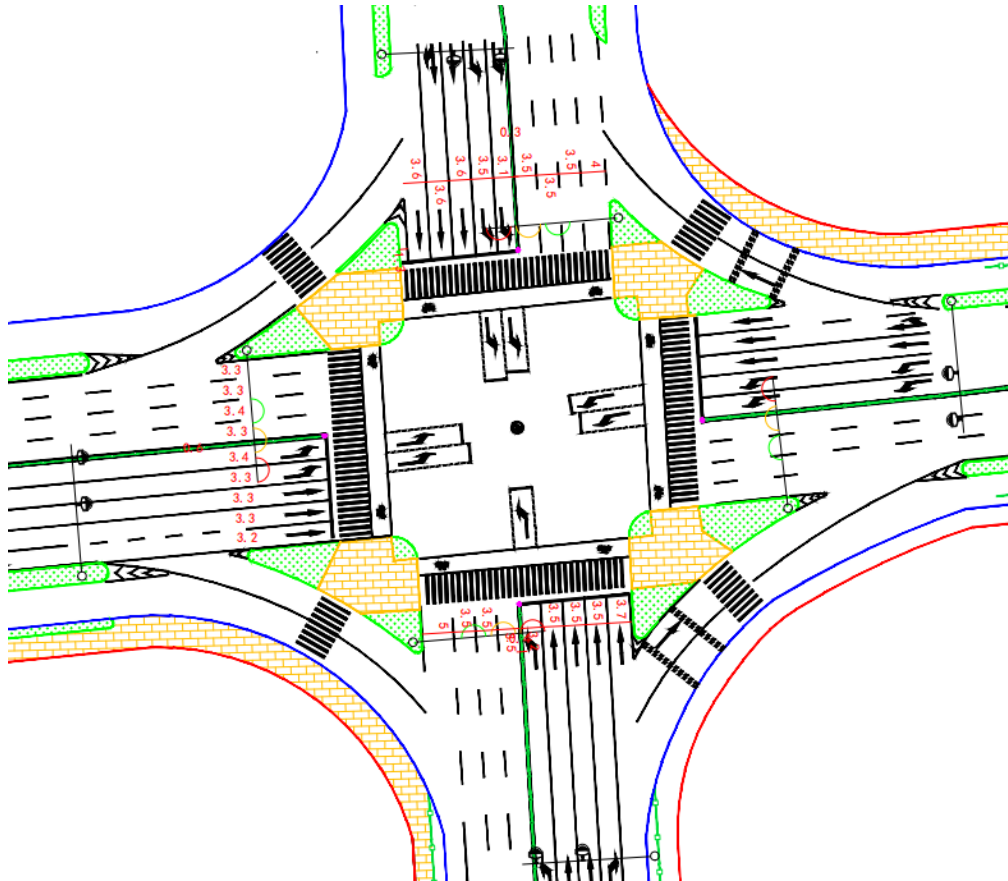


Рис 4.6- Предыдущие сценарии транспортного планирования

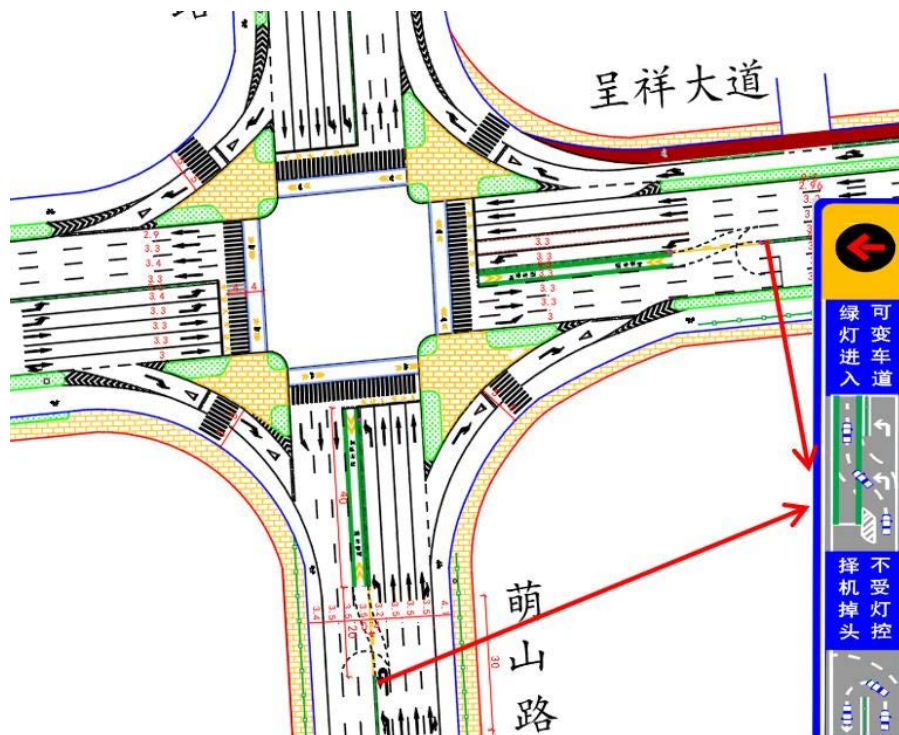


Рис 4.7- Установлены полосы с изменяемым направлением движения

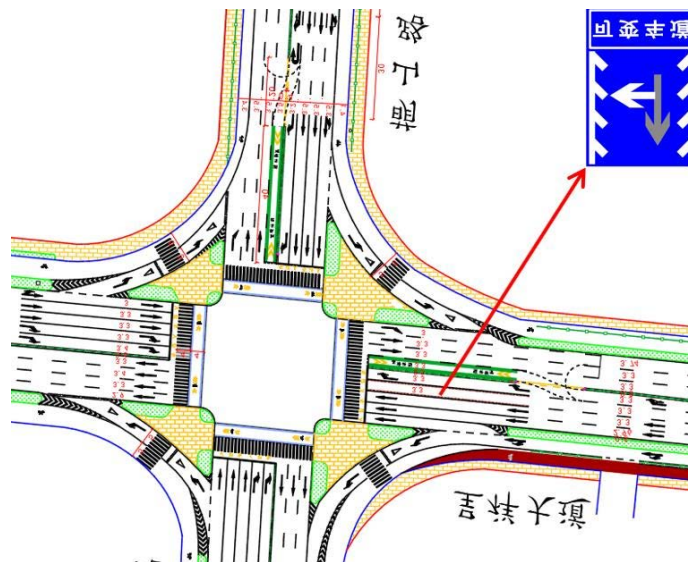


Рис 4.8- Реверсивная полоса движения

4.2. Методы оценки изменения условий движения

В практике Китая, как и во многих других странах, для оценки условий дорожного движения используется система уровней обслуживания. Уровни обслуживания показывают степень удовлетворенности участников дорожного движения при совершении поездки, а также являются показателем для принятия решений как на оперативном уровне, так и на уровне принятия решений по развитию транспортной инфраструктуры.

Для городских дорог наиболее важным показателем для измерения уровня транспортного обслуживания является насыщенность участка дороги (V/C - фактический объем движения/проектная пропускная способность участка дороги) и общая скорость (скорость участка дороги) или задержка. Поскольку задержка скорости связана с V/C , если V/C увеличивается, скорость уменьшается и задержка увеличивается: если V/C уменьшается, скорость увеличивается и задержка уменьшается, поэтому V/C является ключевым показателем. Чтобы облегчить исследование, V/C может быть использован в качестве основы для определения уровня обслуживания городских дорог.

В Китае распределение уровней обслуживания не в полной мере соответствует теоретическим зависимостям между интенсивностью, скоростью и

плотностью, а также условиям практического применения этого подхода в большинстве стран. Это вызвано тем, что применяется разделение на четыре класса уровней обслуживания с грубым разделением условий движения по состоянию транспортного потока. Это приводит к тому, что для плотного транспортного потока, имеют существенные отклонения от основной диаграммы транспортного потока.

Табл. 4.2-Существующий стандарт разделения уровня обслуживания

Коэффициент загрузки дороги движением	I	II	III	IV
V/C	0-0,6	0,6 – 0,8	0,8 - 1	$\geq 1,0$

Табл. 4.3- описание состояния транспортного для существующих уровней обслуживания

Уровень обслуживания	Описание
I	Свободные условия движения, высокая скорость
II	Незначительная загруженность дорог, достаточно комфортные условия для участников движения
III	Перегруженность дорог и низкий уровень обслуживания
IV	Заторы и очень сложные условия движения

Достаточно грубые результаты отображения условий движения при применении данной классификации уровней обслуживания можно увидеть на основной диаграмме транспортного потока (рис. 4.9).

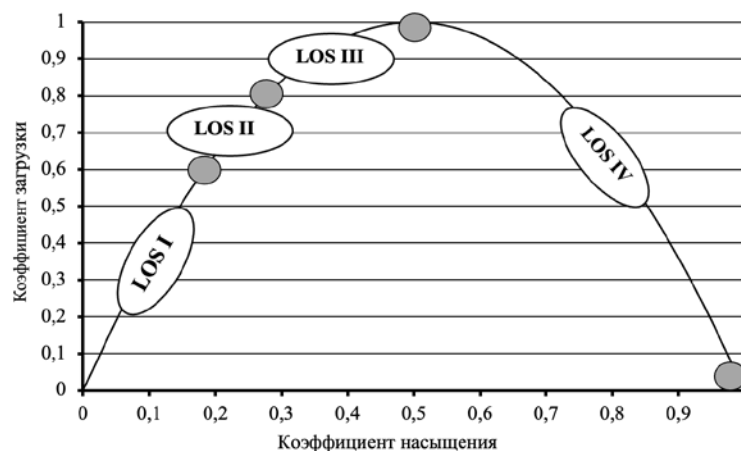


Рис. 4.9– существующие уровни обслуживания на основной диаграмме транспортного потока

Можно увидеть, что к свободному состоянию транспортного потока и нормальным условиям движения относится очень широкая область, включая пропускную способность дороги, когда явно складываются сложные условия движения.

Для исключения этого противоречия по результатам исследования характеристик транспортных потоков в г. Цзясан были предложено следующее разделение состояния транспортного потока по уровням обслуживания (табл. 4.4, 4.5).

Табл. 4.4- Разработанные в диссертации разделения уровня обслуживания

Уровень обслуживания	A	B	C	D	E	F
V/C	$\leq 0,25$	0,25~0,5	0,5~0,7	0,7~0,85	0,85~0,95	$\geq 0,95$

Табл. 4.5- Статус соответствия уровня обслуживания

Уровень образования	Описание
A	Свободный поток. Движение транспорта соответствует установленному ограничению скорости или превышает его, и участники движения имеют полную свободу маневрирования между полосами движения.
B	Достаточно свободный поток. Скорость уменьшается незначительно, маневренность в потоке транспорта слегка ограничена.
C	Стабильный поток. Свободный поток или близкий к нему.
D	Приближение к нестабильному потоку. Скорость немного снижается с увеличением интенсивности движения.
E	Нестабильный поток. Интенсивность в зоне пропускной способности.
F	Прерывистое движение, заторы. Спрос может превышать пропускную способность.

Графическое отображение разработанных уровней обслуживания приведено на рис. 4.10.

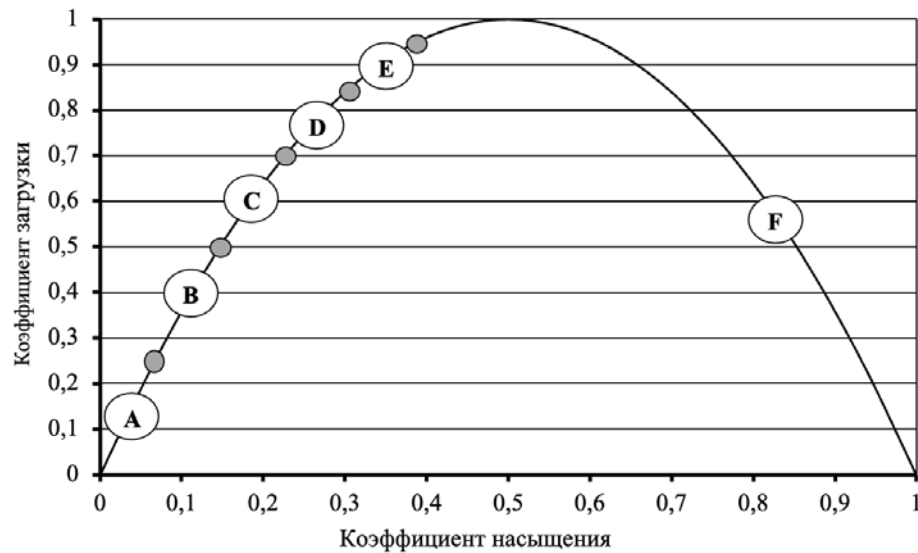


Рис. 4.10 - Графическое отображение разработанных уровней обслуживания

Традиционная система уровней обслуживания в определенной степени является статичной и необходимо дополнить такую систему подходом, который включает дополнительные параметры и получается более гибким. Поэтому разработан подход, включающий такие параметры как скорость, интенсивность, плотность, длину поездки. Использование средней длины поездки позволяет учесть два фактора, влияющие на условия движения. С одной стороны включение средней длины поездки позволяет применять эту модель на сетевом уровне, с другой выражение $(l/v - l/v_f)$ отображает задержку в движении – увеличение времени поездки в фактических условиях по отношению к поездке в свободных условиях.

В результате обработки экспериментальных данных получена следующая модель для оценки условий дорожного движения по индексу обслуживания:

$$C_{LOS} = \exp \left(6 - 0,0485v + 0,000853 \left(\frac{1}{v} - \frac{1}{v_f} \right) - 0,01k - 0,0002q \right), \quad (4.1)$$

где C_{LOS} – индекс обслуживания;

v — скорость, км/ч ;

k — плотность, авт/км на полосу;

q — интенсивность, авт/ч на полосу ;

l — средняя длина поездки, км;

v_f — скорость свободного движения, км/ч.

Область изменения параметров дорожного движения приведена в табл. 4.6.

Наименование параметра	Среднее	Стандартное отклонение	Минимальное значение	Максимальное значение
Скорость, км/ч	24,4385	21,8125	3,0	70,0
Задержка в движении, ч	0,52	28,9139	0,01	160,757
Плотность, авт/км	77,5000	46,9042	1,5	155,0
Интенсивность, авт/ч	932,4219	579,4343	120,0	1658,0
C_{LOS}	55,5415	28,7552	14,33000	94,530

Матрица зависимостей между параметрами модели приведена на рис. 4.11.

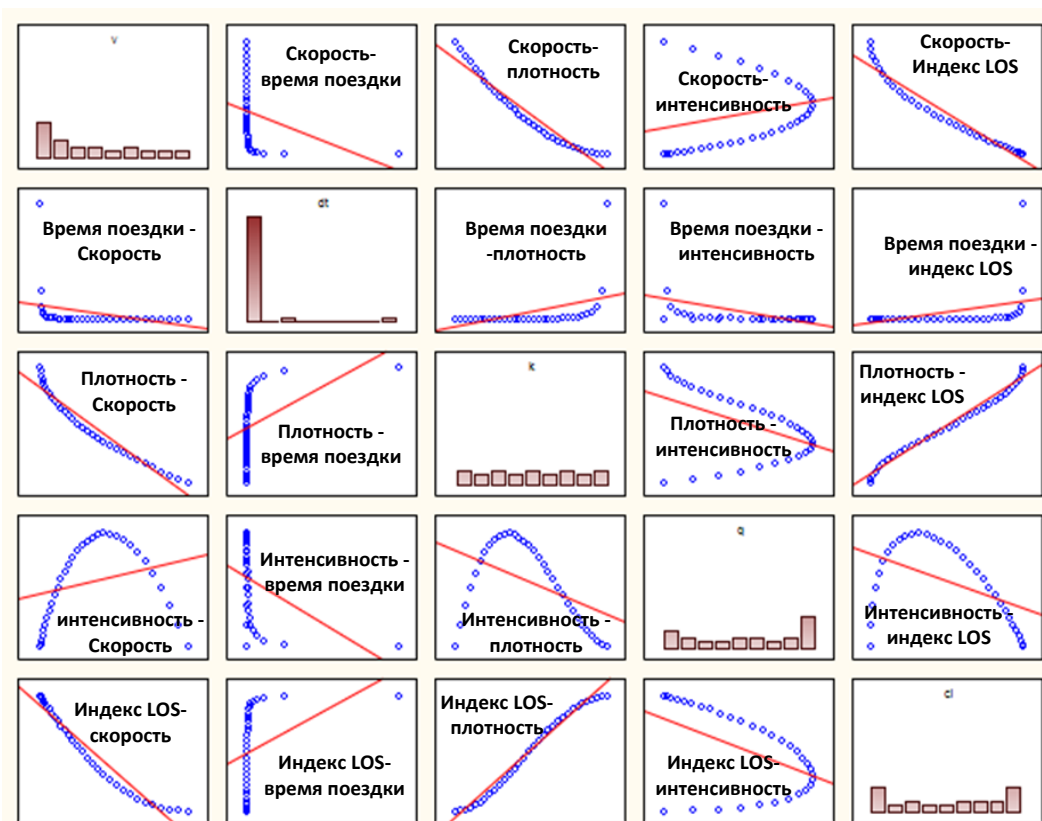


Рис.4.11 - Матрица зависимостей между параметрами модели

При переходе к нормированным значениям параметров транспортного потока для удобства использования имеем следующий вид:

$$C_{LOS} = \exp(4,74762 - 2,32089c + 0,00514dt - 0,21352\rho + 0,00745z), \quad (4.2)$$

где c – коэффициент скорости равный v/v_f ;

ρ - коэффициент насыщения равный k/k_j ;

z – коэффициент загрузки равный q/q_{max} ;

dt – коэффициент задержки

Использовать эту модель для оценки условий движения можно в двух вариантах:

- первый вариант применяется при оценке реальных ситуаций по фактическим данным об интенсивности, плотности, скорости, длине поездки;
- второй вариант применяется при анализе возможных ситуаций по теоретическим значениям параметров, входящих в модели (4.1, 4.2). Для этого варианта можно использовать как данные микромоделирования, так и результаты, полученные по макромоделям.

Табл. 4.7- характеристика состояния потока в соответствии со значениями C_{Los}

Значение уровня обслуживания C_{Los}	Скорость, км/ч	Интенсивность, авт/ч на полосу	Плотность, авт/км	Задержка, час/км
Менее 20	Более 50	Не более 1200	Менее 25	Менее 0,06
20-40	50-30	1200-1800	25-55	0,06-0,21
40-60	30-17	1800-1400	55-80	0,21-0,47
60-80	17-10	1400-700	80-110	0,47-1,45
Более 80	Менее 10	Менее 700	Более 110	Более 1,45

4.3 Практическая реализация и оценка результатов

Основой координации и управления сигналами дорожного движения являются инфраструктура и пространственное расположение перекрёстков. Рациональность использования пространственных ресурсов в значительной степени влияет на эффективность оптимизации управления сигналами. Проектирование перекрёстка представляет собой одну из ключевых задач данного проекта. При разработке системы координации и управления сигналами светофора необходимо также оптимизировать пространственные ресурсы перекрёстка, что позволяет достичь дополнительного улучшения распределения временных и пространственных ресурсов.

В ходе проведённого исследования была собрана различная информация,

включая текущее состояние перекрёстков, количество полос движения, их функциональное назначение, ширину полос, средства разделения потоков, а также особенности размещения дорожных знаков. На основе данных геодезической съёмки, картографирования и анализа выявлены проблемы, существующие в текущей дорожной ситуации, и предложены предварительные проектные решения, а также сопутствующие меры. Ниже представлены топографические карты исследуемых участков и основная пространственная информация о перекрёстках [63, 72, 73, 76].

I. Топографическая съёмка и картографирование перекрёстков

Для проведения съёмки использовались беспилотные летательные аппараты (дроны), позволяющие получать актуальные фотографии перекрёстков, а также дальномёры для точного измерения ширины полос движения, ширины разделительных зелёных зон, длины подъездных путей и других параметров. На основе собранных данных составлены карты текущего состояния перекрёстков.

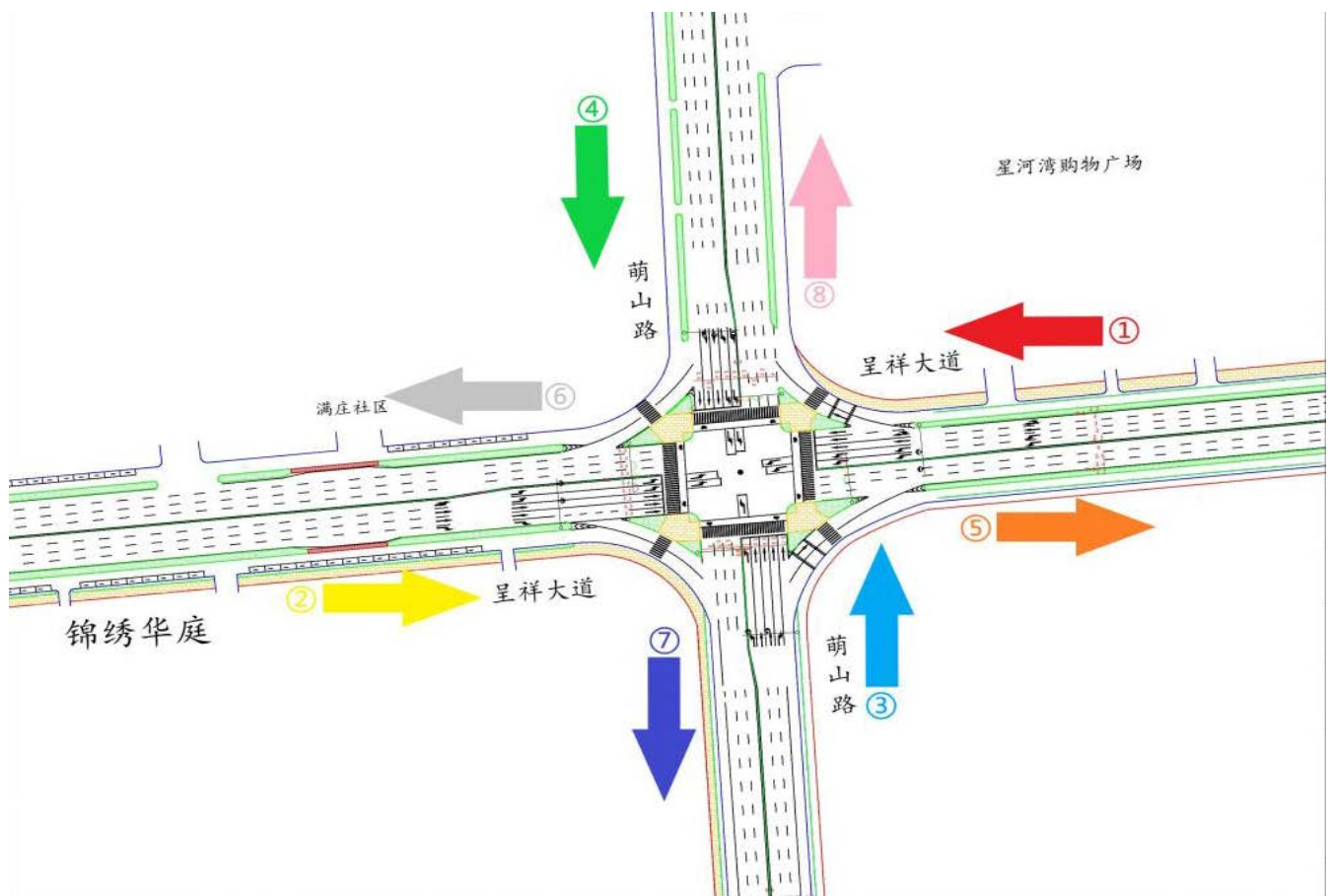


Рис 4.12- Текущая ситуация на пересечении улиц Чэнсян и Мэншань

Таблица 4.8- Дорожная информация на пересечении улиц Мэншань и Чэнсян

Название перекрестка	Пересечение улиц Чэнсян и Мэншань		
Вход и выход	Количество полос движения	Функция полосы движения	Ширина полосы движения (м)
① Восточный вход	6	Налево, налево, прямо, прямо, прямо, направо, велосипедная дорожка	3,1, 3, 3, 3, 3, 2,2
② Западный вход	6	Налево, налево, прямо, прямо, прямо, направо, велосипедная дорожка	3,4, 3,3, 3,3, 3,3, 3,2, 2,2
③ Южный вход	6	Налево, налево, прямо, прямо, прямо, направо, велосипедная дорожка	3,2, 3,5, 3,5, 3,5, 3,7, 1,8
④ Северный вход	6	налево, налево, прямо, прямо, прямо, направо, велосипедная дорожка	3,1, 3,5, 3,6, 3,6, 3,6, 5
⑤ Восточный выход	5	выход, выход, выход, выход, велосипедная дорожка	5, 3,5, 3,5, 3,4, 2,2
⑥ Западный выход	5	Выход, выход, выход, выход, велосипедная дорожка	3,3, 3,4, 3,3, 3,3, 5
⑦ Южный выход	5	Выход, выход, выход, выход, велосипедная дорожка	3,5, 3,5, 3,5, 5, 3,4
⑧ Северный выход	5	Выход, выход, выход, выход, велосипедная дорожка	3,5, 3,5, 3,5, 4, 5

II. Исследование транспортных потоков

Для изучения транспортных потоков использовались беспилотные летательные аппараты, с помощью которых проводилась видеосъемка в часы пик. Полученные данные позволили зафиксировать фактическую дорожную ситуацию, проанализировать соблюдение правил дорожного движения и предоставить информацию для дальнейшего планирования.

Результаты расчетов пиковых транспортных потоков на перекрестках представлены в таблицах 4.2–4.5.

Согласно данным таблицы 4.2, пропускная способность (С) рассчитывалась на основе уравнений (3.3)–(3.5), (3.14) и таблиц 3.7, 3.8, 3.9, 4.1. На основании таблиц 4.1–4.5 отдельно вычислялась сумма потоков (V). Полученные значения сравнивались с таблицей 3.11 для определения класса обслуживания транспорта. На основе этих данных была составлена таблица анализа насыщенности перекрестков в вечерний час пик.

Проведенные исследования позволили систематизировать и детально изучить текущую дорожную ситуацию в городе Цзясян, что способствовало пониманию ключевых тенденций развития городского транспортного потока. В рамках проекта был выполнен комплексный анализ пространственной структуры дорожной сети, предварительное исследование перекрестков, а также сбор и сопоставление данных о транспортном состоянии, включая направление и временные характеристики движения. Дополнительно осуществлялся мониторинг потока транспортных средств, изучена схема синхронизации сигналов светофоров с учетом текущей эксплуатационной ситуации в городе Цзясян, проведены предварительный анализ и статистическая обработка данных [78, 79, 80].

На перекрестке проспекта Чэнсян и дороги Мэншань, который является одним из наиболее загруженных в городе Цзясян, была внедрена система «Центр управления интеллектуальной транспортной системой (ИТС)». В таблицах 4.3–4.6 представлен анализ данных о транспортном потоке в вечерний час пик после ввода данной системы в эксплуатацию.

Таблица 4.9- Таблица анализа данных вечерней пиковой насыщенности движения на проспекте Чэнсян и дороги Мэншань(17:30-18:30 01.04.2023 понедельник)

Въезд	Направление	Количество полос движения	Номер полосы	Пропускная способность (авт/ч)	Интенсивность (авт/ч)	V/C и	Уровни обслуживания
Вход на север	движение налево	2	№ 1	335	316	0,94	Е
	движение прямо	3	№ 2	2212	2149	0,97	Е
	движение направо	1	№ 3	881	211	0,24	А

Вход на восток	движение налево	2	№ 4	600	583	0,97	Е
	движение прямо	3	№ 5	1130	577	0,51	В
	движение направо	1	№ 6	881	581	0,66	С
Вход на юг	движение налево	1	№ 7	437	433	0,99	Е
	движение прямо	4	№ 8	1489	1818	1,22	F
	движение направо	1	№ 9	2150	358	0,17	А
Вход на запад	движение налево	2	№ 10	368	327	0,89	Е
	движение прямо	3	№ 11	1313	443	0,34	А
	движение направо	1	№ 12	960	385	0,40	А

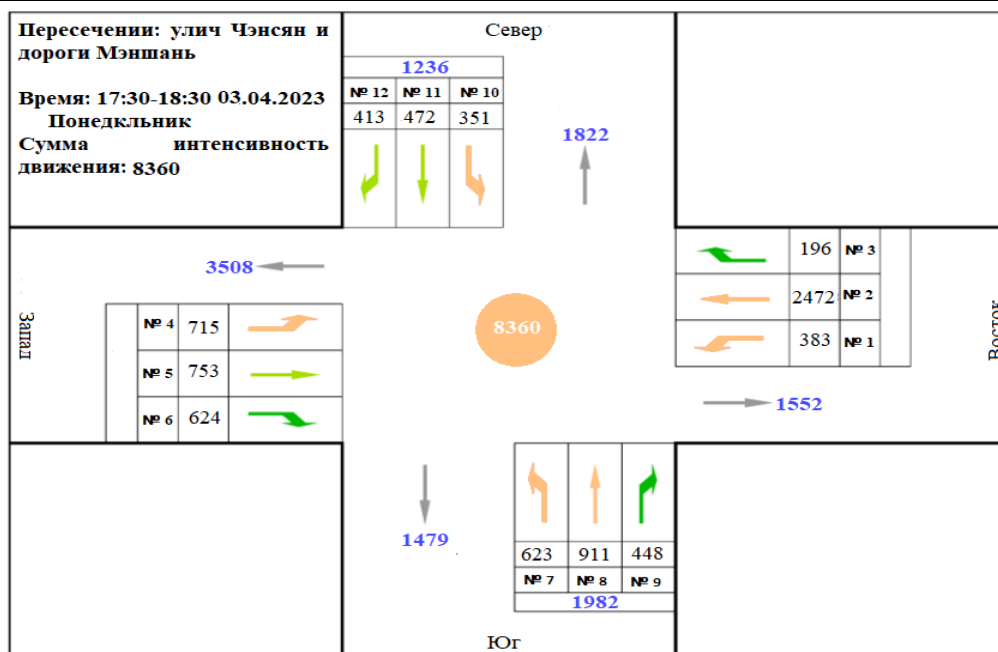


Рис 4.13- Анализ насыщенности вечернего пика на пересечении улиц Чэнсян и Мэншань (17:30-18:30 07.05.2023 вторник)

Таблица 4.10- Таблица анализа данных вечерней пиковой насыщенности движения на проспекте Чэнсян и дороги Мэншань (17:30-18:30 07.05.2023 вторник)

Въезд	Направление	Количество полос движения	Номер полосы	Пропускная способность (авт/ч)	Интенсивность (авт/ч)	V/C значение	Уровни обслуживания
Вход на север	движение налево	2	№ 1	335	316	0,94	Е
	движение прямо	3	№ 2	2212	2149	0,97	Е
	движение направо	1	№ 3	881	211	0,24	А
Вход на восток	движение налево	2	№ 4	600	583	0,97	Е
	движение прямо	3	№ 5	1130	577	0,51	В
	движение направо	1	№ 6	881	581	0,66	С
Вход на юг	движение налево	1	№ 7	437	433	0,99	Е
	движение прямо	4	№ 8	1489	1818	1,22	Ф
	движение направо	1	№ 9	2150	358	0,17	А
Вход на запад	движение налево	2	№ 10	368	327	0,89	Е
	движение прямо	3	№ 11	1313	443	0,34	А
	движение направо	1	№ 12	960	385	0,40	А

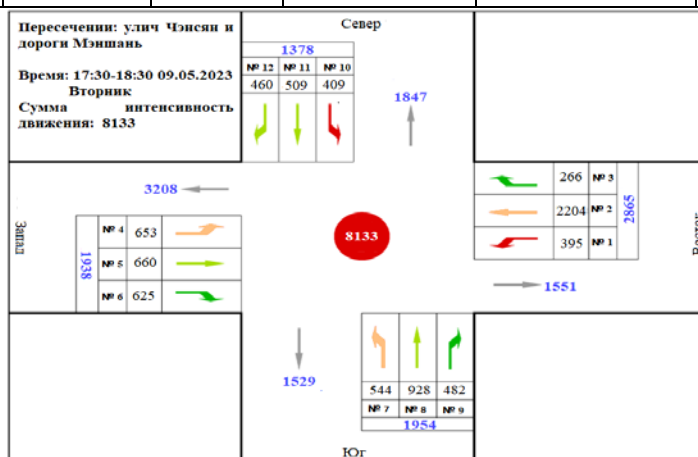


Рис 4.14- Анализ насыщенности вечернего пика на пересечении улиц Чэнсян и Мэншань (17:30-18:30 07.05.2023 вторник)

Таблица 4.11- Таблица анализа данных вечерней пиковой насыщенности движения на проспекте Чэнсян и дороги Мэншань (18:00-19:00 07.06.2023 среда)

Въезд	Направление	Количество полос движения	Номер полосы	Пропускная способность (авт/ч)	Интенсивность (авт/ч)	V/C значение	Уровни обслуживания
Вход на север	движение налево	2	№ 1	335	321	0,96	Е
	движение прямо	3	№ 2	2212	2171	0,98	Е
	движение направо	1	№ 3	881	208	0,24	А
Вход на восток	движение налево	2	№ 4	600	589	0,98	Е
	движение прямо	3	№ 5	1130	569	0,50	В
	движение направо	1	№ 6	881	575	0,65	С
Вход на юг	движение налево	1	№ 7	437	427	0,98	Е
	движение прямо	4	№ 8	1489	1825	1,23	Ф
	движение направо	1	№ 9	2150	363	0,17	А
Вход на запад	движение налево	2	№ 10	368	339	0,92	Е
	движение прямо	3	№ 11	1313	438	0,33	А
	движение направо	1	№ 12	960	379	0,39	А

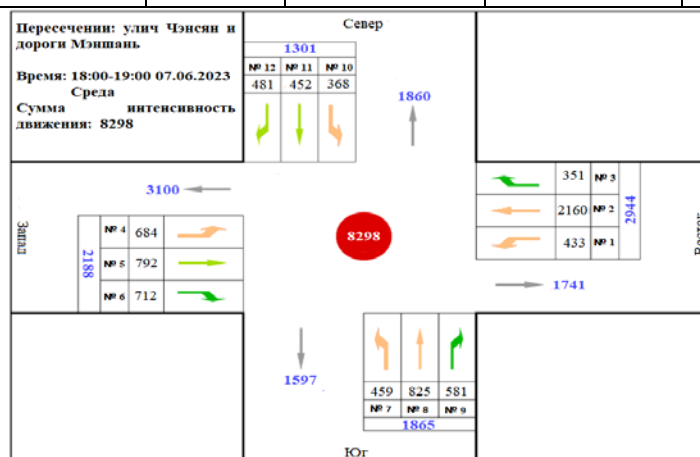


Рис 4.15- Анализ насыщенности вечернего пика на пересечении улиц Чэнсян и Мэншань (18:00-19:00 07.06.2023 среда)

Таблица 4.12- Таблица анализа данных вечерней пиковой насыщенности движения на проспекте Чэнсян и дороги Мэншань (18:00-19:00 06.07.2023 четверг)

Въезд	Направление	Количество полос движения	Номер полосы	Пропускная способность (авт/ч)	Интенсивность (авт/ч)	V/C значение	Уровни обслуживания
Вход на север	движение налево	2	№ 1	335	319	0,95	Е
	движение прямо	3	№ 2	2212	2169	0,98	Е
	движение направо	1	№ 3	881	212	0,24	А
Вход на восток	движение налево	2	№ 4	600	591	0,99	Е
	движение прямо	3	№ 5	1130	565	0,50	В
	движение направо	1	№ 6	881	569	0,65	С
Вход на юг	движение налево	1	№ 7	437	432	0,99	Е
	движение прямо	4	№ 8	1489	1811	1,22	Ф
	движение направо	1	№ 9	2150	349	0,16	А
Вход на запад	движение налево	2	№ 10	368	345	0,94	Е
	движение прямо	3	№ 11	1313	446	0,34	А
	движение направо	1	№ 12	960	381	0,40	А

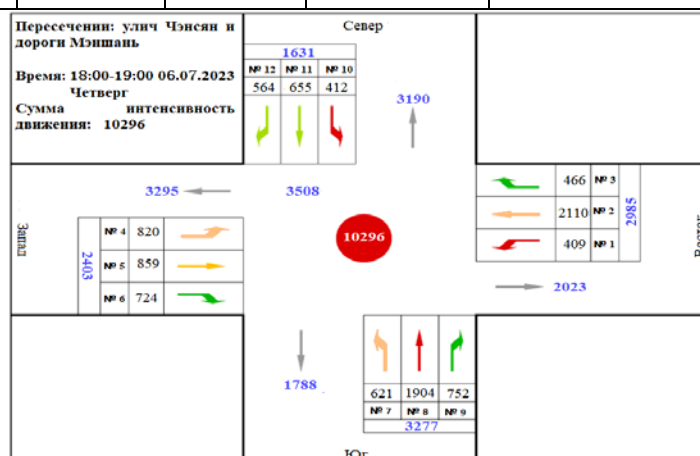


Рис 4.16- Анализ насыщенности вечернего пика на пересечении улиц Чэнсян и Мэншань (18:00-19:00 06.07.2023 четверг)

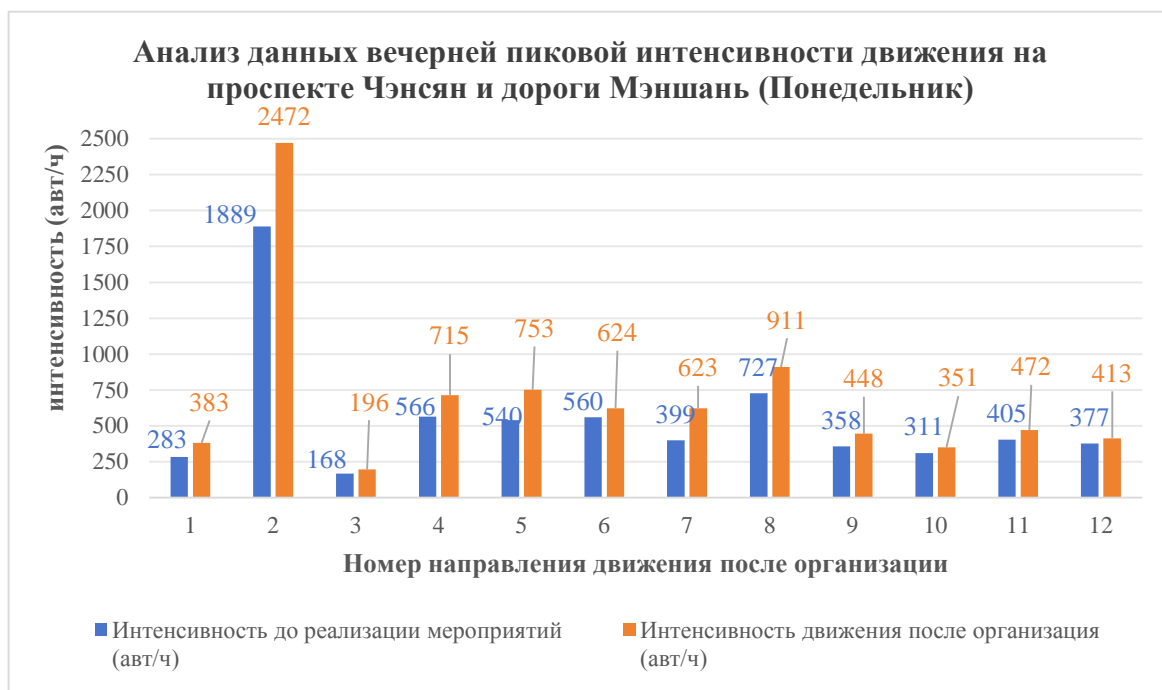


Рис 4.17 - Анализ данных вечерней пиковой интенсивности движения на проспекте Чэнсян и дороги Мэншань (Понедельник)

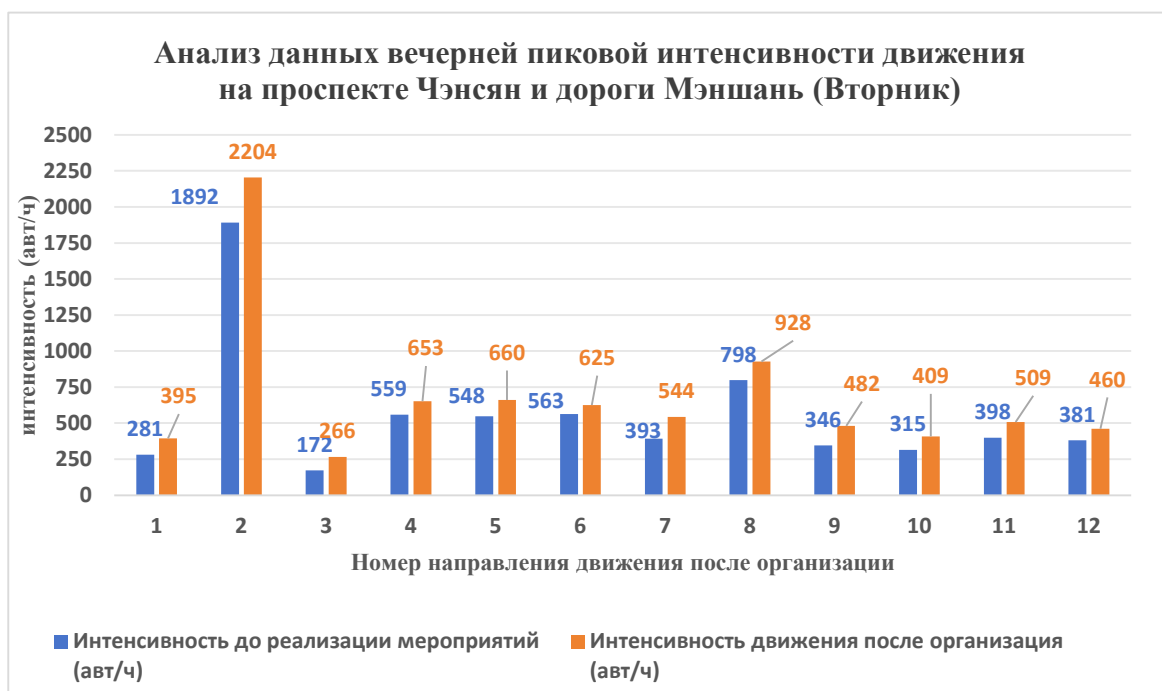


Рис 4.18- Анализ данных вечерней пиковой интенсивности движения на проспекте Чэнсян и дороги Мэншань (Вторник)

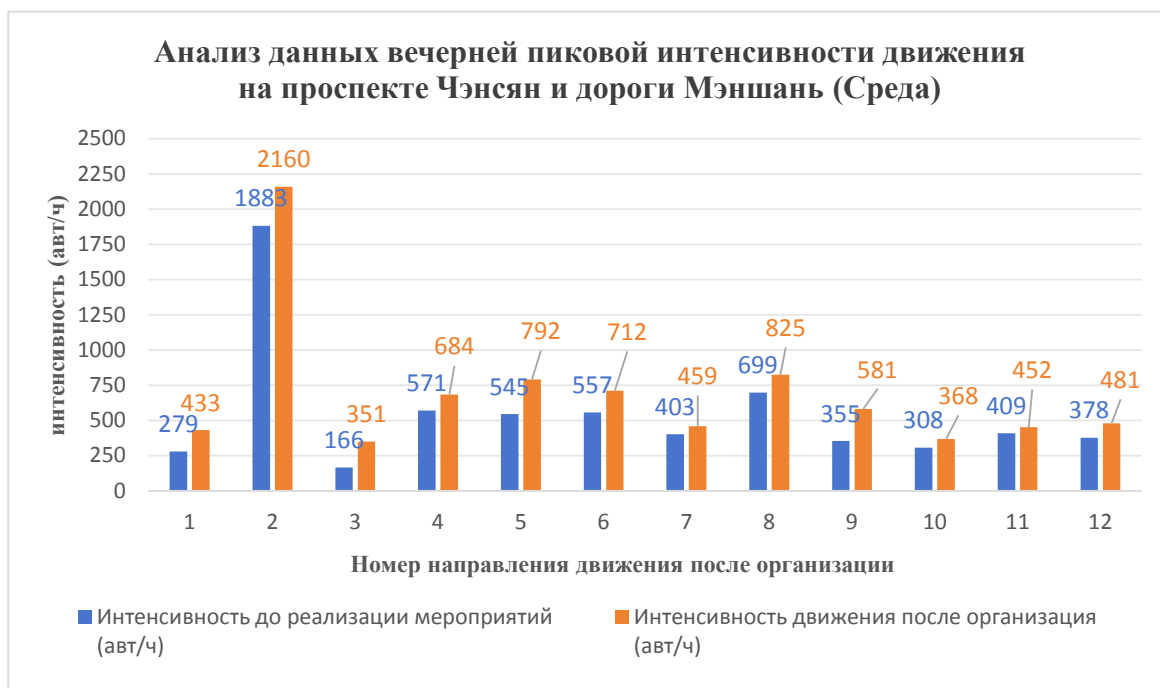


Рис 4.19- Анализ данных вечерней пиковой интенсивности движения на проспекте Чэнсян и дороги Мэншань (Среда)



Рис 4.20- Анализ данных вечерней пиковой интенсивности движения на проспекте Чэнсян и дороги Мэншань (Четверг)

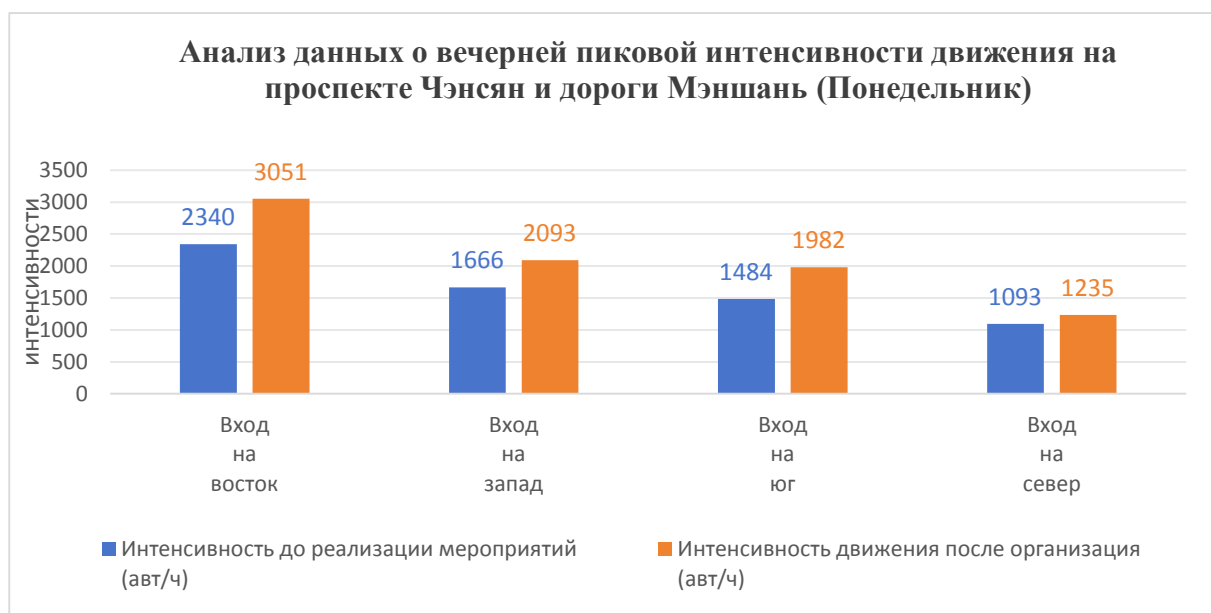


Рис 4.21- Анализ данных о вечерней пиковой интенсивности движения на проспекте Чэнсян и дороги Мэншань (Понедельник)

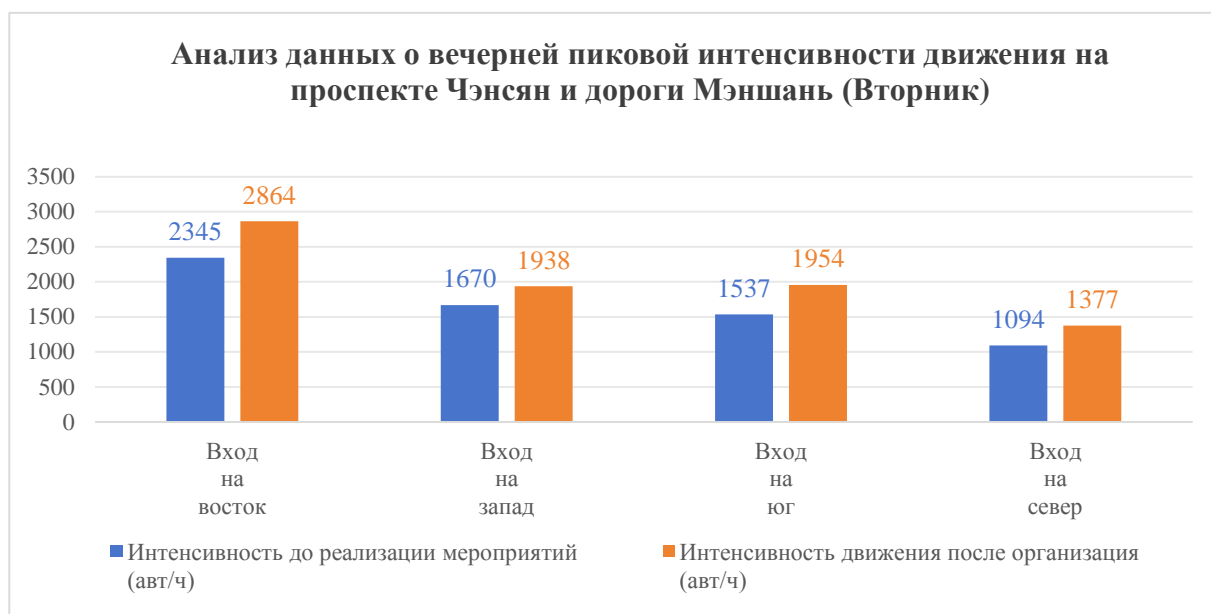


Рис 4.22-Анализ данных о вечерней пиковой интенсивности движения на проспекте Чэнсян и дороги Мэншань (Вторник)

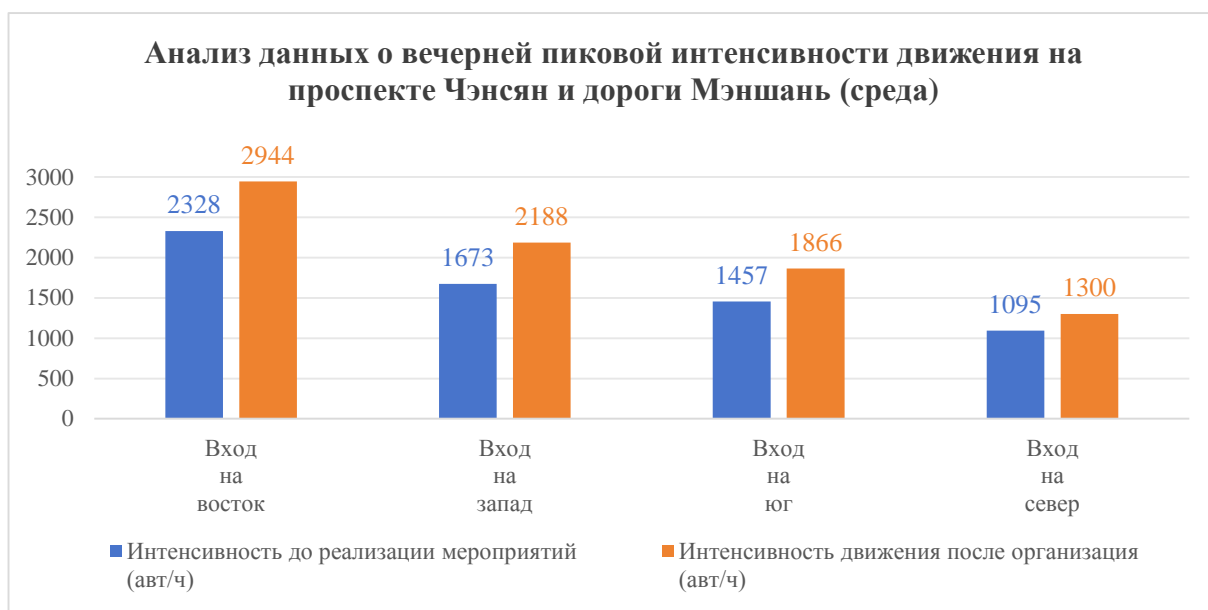


Рис 4.23-Анализ данных о вечерней пиковой интенсивности движения на проспекте Чэнсян и дороги Мэншань (Среда)

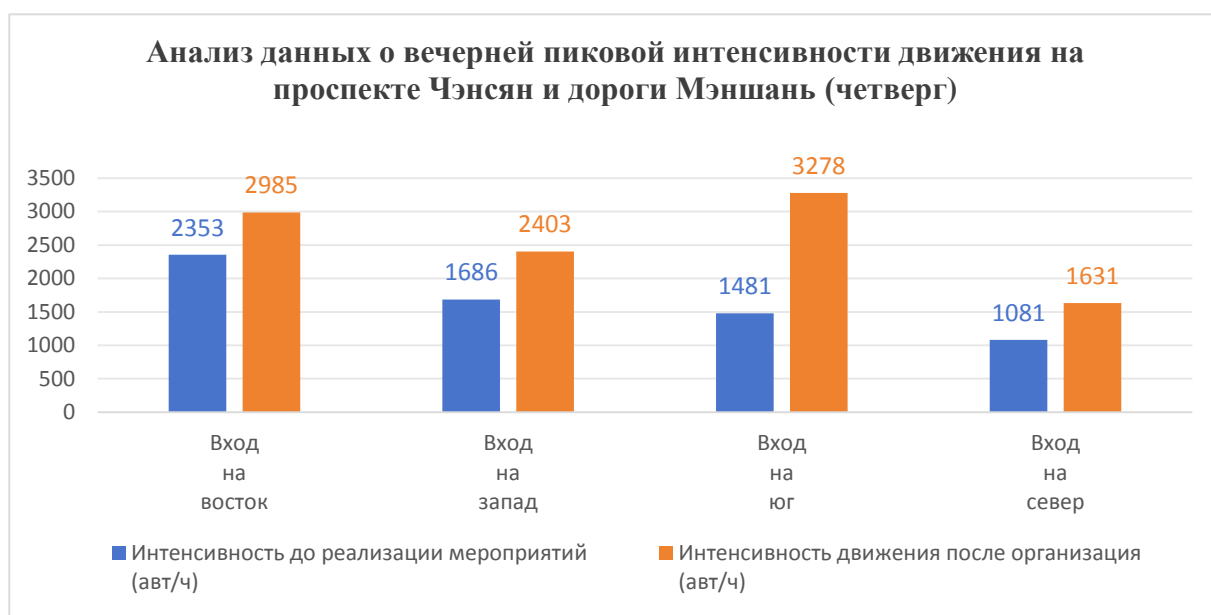


Рис 4.24-Анализ данных о вечерней пиковой интенсивности движения на проспекте Чэнсян и дороги Мэншань (четверг)

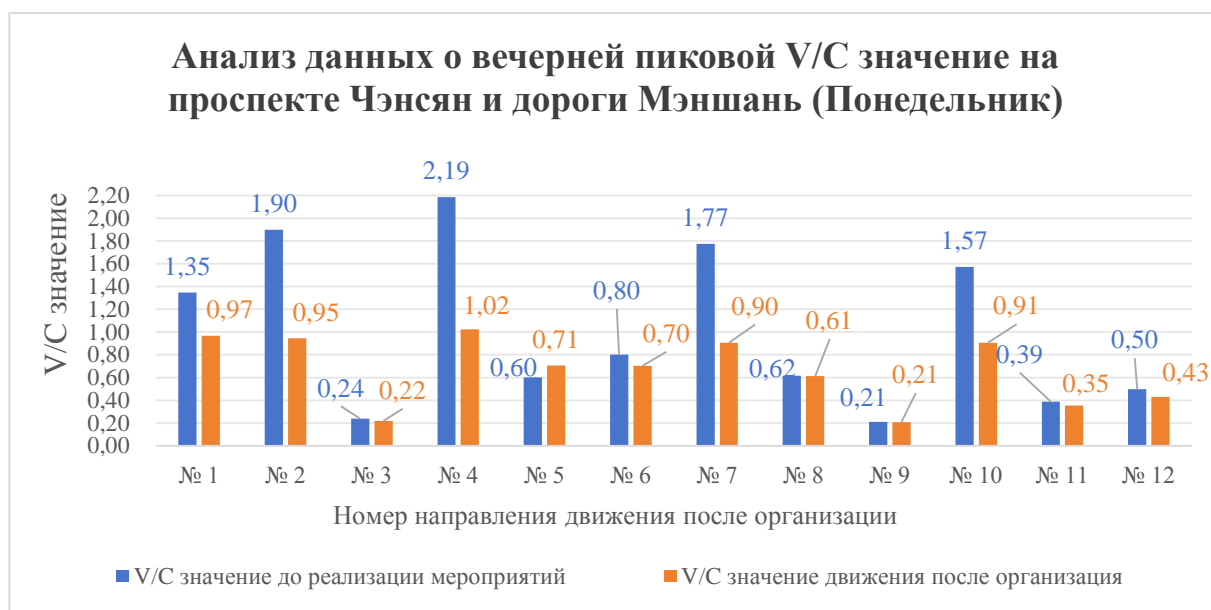


Рис 4.25-Анализ данных о вечерней пиковой V/C значение на проспекте Чэнсян и дороги Мэншань (Понедельник)

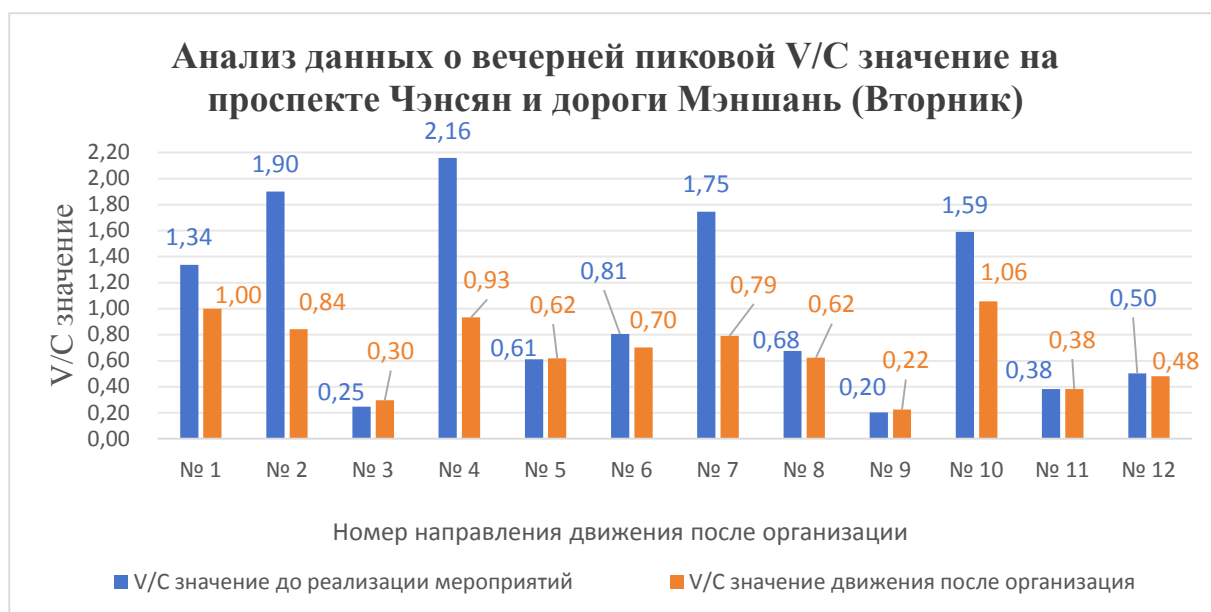


Рис 4.26-Анализ данных о вечерней пиковой V/C значение на проспекте Чэнсян и дороги Мэншань (Вторник)

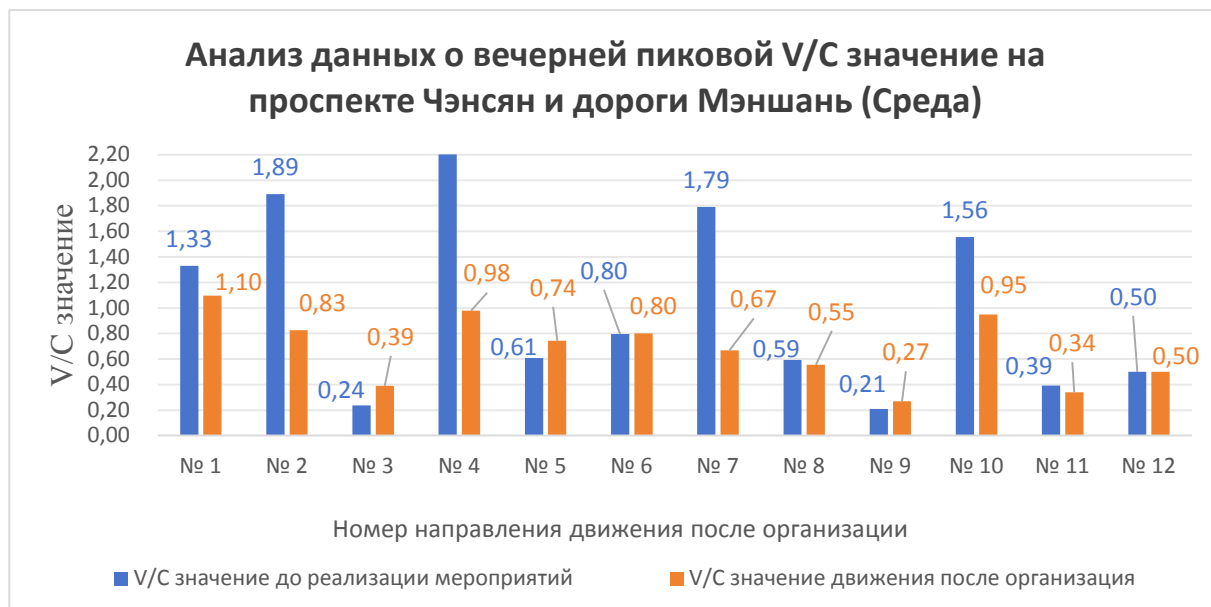


Рис 4.27-Анализ данных о вечерней пиковой V/C значение на проспекте Чэнсян и дороги Мэншань (Среда)

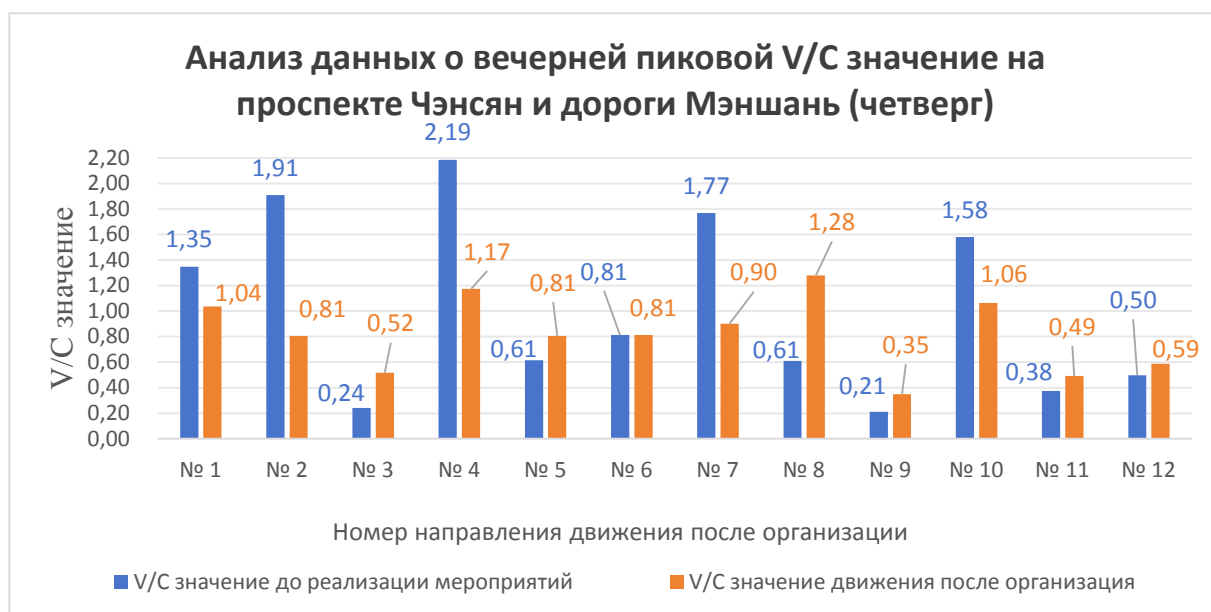


Рис 4.28-Анализ данных о вечерней пиковой V/C значение на проспекте Чэнсян и дороги Мэншань (четверг)

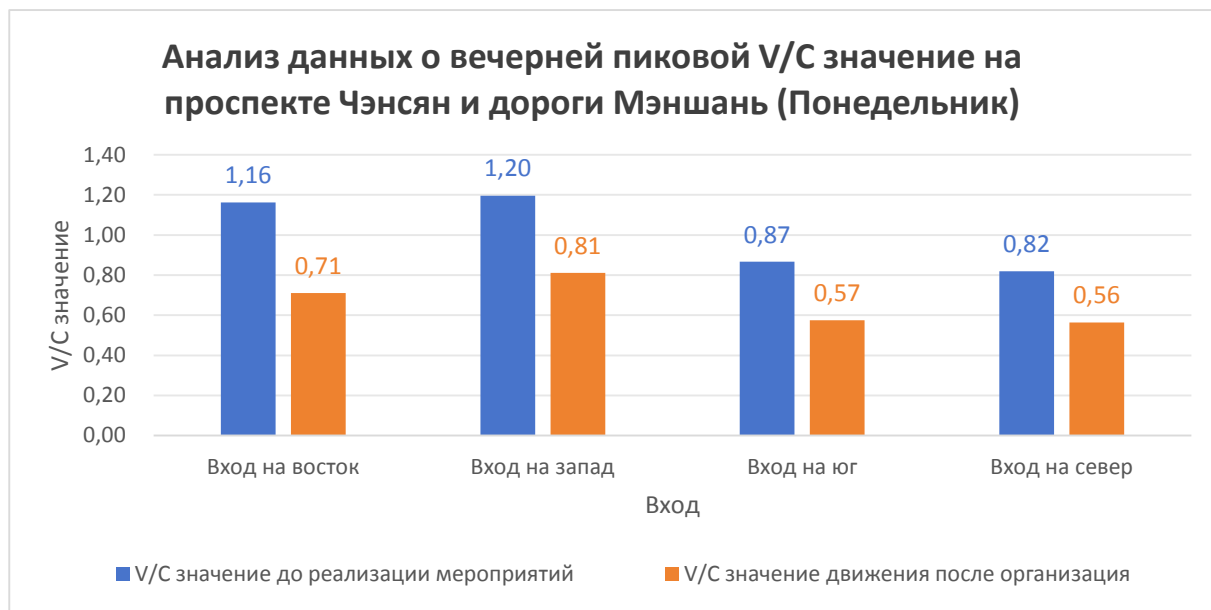


Рис 4.29-Анализ данных о вечерней пиковой V/C значение на проспекте Чэнсян и дороги Мэншань (Понедельник)

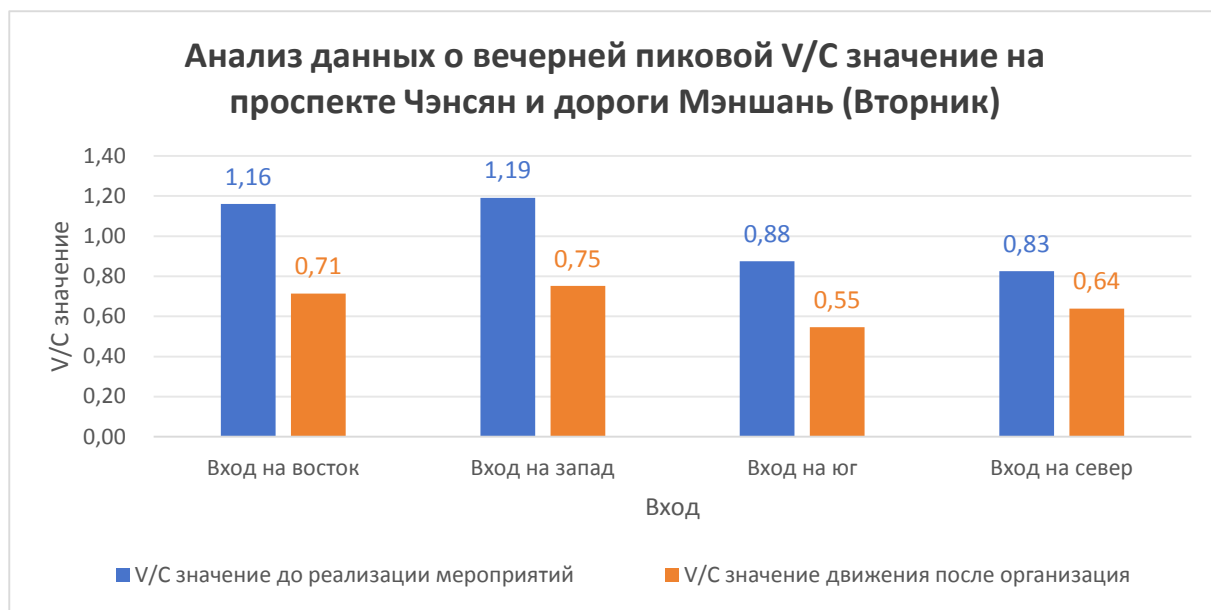


Рис 4.30-Анализ данных о вечерней пиковой V/C значение на проспекте Чэнсян и дороги Мэншань (Вторник)

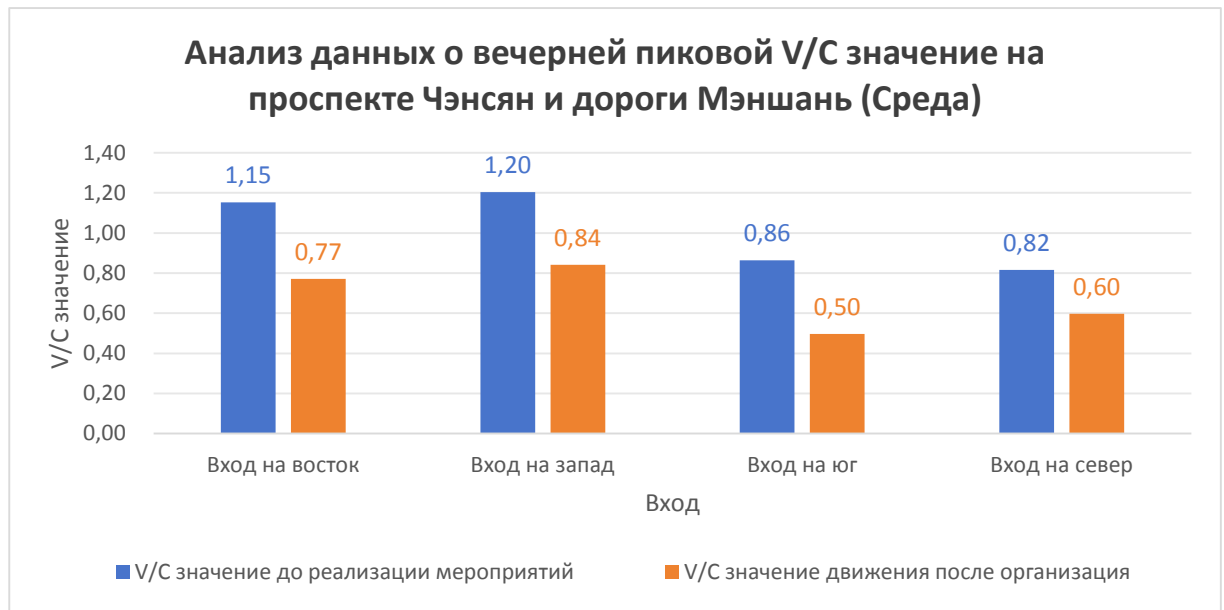


Рис 4.31-Анализ данных о вечерней пиковой V/C значение на проспекте Чэнсян и дороги Мэншань (Среда)

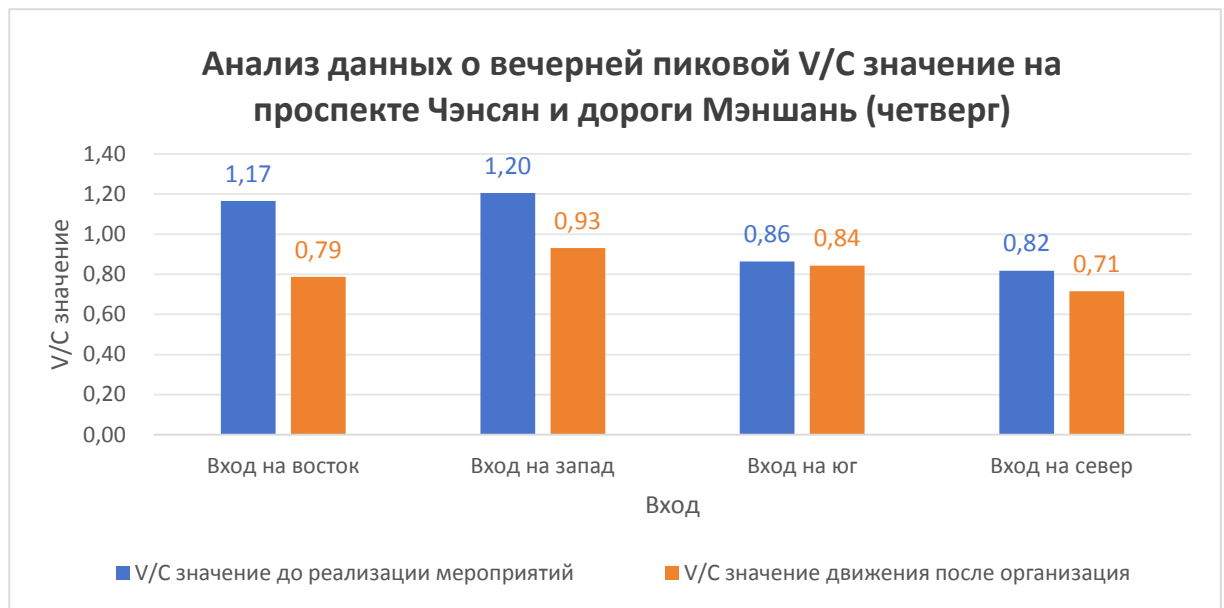


Рис 4.32-Анализ данных о вечерней пиковой V/C значение на проспекте Чэнсян и дороги Мэншань (четверг)

После создания интеллектуальной интегрированной платформы управления транспортом и интеллектуальной системы управления дорожными сигналами повысилась способность дорожной полиции анализировать текущую дорожную

обстановку. Перегруженные участки стали своевременно регулироваться с помощью интеллектуальной системы управления сигналами, что привело к повышению эффективности дорожного движения.

После внедрения «зелёной волны» на улице Чэнсян интенсивность движения в часы пик увеличилась на 18%, а пропускная способность — на 606 авт./ч. После реконструкции перекрёстка улиц Чэнсян и Мэншань-роуд пропускная способность восточного съезда возросла на 25%, а объём движения увеличился на 620 авт./ч.

Значение коэффициента загрузки V/C снизилось с 1,41 до 0,79. Средняя скорость движения увеличилась с 25 км/ч до 44 км/ч, время в пути сократилось с 31 минуты до 22 минут, а количество остановок уменьшилось с 4 раз до 2 раз. Общая длительность остановок сократилась с 308 секунд до 148 секунд, а длина очереди — со 161 метра до 72 метров.

Согласно данным системы оценки транспортных индексов, значение V/C находится в диапазоне 0,6–0,8, что соответствует оптимальным условиям движения. Реализованный план организации дорожного движения в городе Цзясян доказал свою эффективность в решении транспортных проблем.

Выводы по главе

В работе проведен анализ структуры и процесса транспортного планирования в Китае, выполнено сравнение национальных и местных стандартов транспортного планирования, а также методов транспортировки и планирования в Китае и других странах.

Обобщены различия в технических характеристиках и концепциях планирования и проектирования транспортных объектов, включая дорожную инфраструктуру, между Китаем и другими государствами.

Проанализированы особенности дорожного движения в малых и средних городах, выявлены актуальные проблемы, а также изучены принципы планирования дорожного движения на основе интеллектуальных транспортных систем (ИТС). Рассмотрены методы планирования, сочетающие традиционные подходы с ИТС, и системы оценки уровня транспортного обслуживания. Разработана система индексов оценки, определены ключевые показатели в рамках данной системы [95, 101].

В диссертации всесторонне проанализированы текущее состояние развития интеллектуальных транспортных систем в Китае и за рубежом, теоретические исследования и практические достижения в области интеллектуального транспорта. Систематизированы отечественные и зарубежные теоретические наработки, проведен сравнительный анализ сложившейся ситуации в разных странах, а также обобщен практический опыт реализации проектов в сфере интеллектуального транспорта. Сделан вывод о наличии различий в определении ИТС в Китае и других странах, а также в направлениях их развития. Установлено, что в отечественных исследованиях понятие интеллектуального транспорта до сих пор не получило четкого определения, а также недостаточно осознается необходимость интеграции ИТС с потребностями городского транспорта и согласованного развития других социально-инфраструктурных систем [99, 100, 102, 105].

На примере разработки плана транспортного планирования города Цзясян

выполнена оценка эффективности предложенных улучшений с использованием системы оценки уровня транспортного обслуживания. На основе обобщенного метода планирования и с учетом специфики города Цзясян предложен усовершенствованный план организации дорожного движения, включающий применение аэрофотосъемки, малых беспилотных летательных аппаратов и данных системы мониторинга дорожного движения. Сравнительный анализ уровня обслуживания дорожного движения до и после внедрения изменений подтвердил, что комбинированный подход, объединяющий традиционные методы планирования с интеллектуальными транспортными системами, способствует решению проблем дорожного движения в малых и средних городах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Результаты диссертационной работы предоставляют новые теоретические и методические решения актуальной проблемы развития транспортных систем на основе интеграции транспортного планирования и организации дорожного движения включая модели транспортного планирования и оценки условий дорожного движения, использования ресурсов интеллектуальной транспортной системы в структуре системы поддержки принятия решений по транспортному планированию и организации дорожного движения.

2. Применение разработанной классификации моделей транспортного планирования с характеристикой по методам формализации, степени детализации описания транспортной системы, учету особенностей территориального развития, интеграции с задачами организации дорожного движения обеспечивает выбор рациональных моделей в соответствии с масштабами, функциональными требованиями и временными рамками горизонтов планирования.

3. Модель для прогнозирования и оценки условий движения, рекомендованная к применению в двух вариантах, как для физических значений параметров транспортных потоков, так и для нормированных параметров - коэффициента загрузки, коэффициента насыщения и коэффициента скорости также включает длину поездки и задержки, что позволяет использовать ее в городах на сетевом уровне. Исследования подтвердили область применения модели для городских условий при скорости свободного движения до 75 км/ч и длине поездки до 11 км.

4. Разработанная методика оценки условий дорожного движения с определением введенных автором уровней обслуживания на основе рассчитанных по модели значений C_{LOS} расширяет возможности типовых оценок уровней обслуживания поскольку исключается влияние возможных несоответствий между значениями параметрами транспортных потоков и их нормированных значений.

5. Практическое использование результатов диссертационной работы в части предложений по структуре платформы системы поддержки принятия решений для управления дорожным движением и транспортного планирования, реализации

мероприятий по организации дорожного движения при непосредственном участии автора обеспечили достаточно значимые результаты – снижение уровня загрузки в наиболее сложных узлах с 1-1,22 до 0,71-0,81 и скорости до 25%. Результаты диссертационной работы использованы в Бюро общественной безопасности Дорожной полиции г. Цзинин (КНР), Институте планирования и проектирования г. Цзинин, Шаньдунском научно-исследовательском институте дорожной техники Чжэнцзю что подтверждено актами внедрения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бао Лифанг. Планирование и развитие городского транспорта в рамках устойчивого развития// Научно-технические инновации и их применение. 2017. (14). С. 166.
2. Ван Гуантао. «Интеграция с несколькими нормативными актами» и трансформация планирования городского транспорта// городское планирование Научный журнал. 2018.(05). С. 19-28.
3. Ван Жэньбяо. Обсуждение применения компьютерной информационной сетевой системы в управлении транспортом// Научная общественность, 2019.(12). С. 200.
4. Ван Хуан. Текущая ситуация и контрмеры в области транспортного планирования и проектирования в малых и средних городах// Транспортные технологии и управление. 2021.02. С. 65-68.
5. Ван Хунбинь. Исследование по применению искусственного интеллекта в интеллектуальном транспорте в контексте больших данных// Компьютерные знания и технологии, 2021.(12). С. 198-199.
6. Ван Цзифэн. Обзор и перспективы комплексного планирования городской транспортной системы// Городское движение Пройти.2017.15(04). С. 18-24.
7. Ван Цзянь. Основы операционной практики транспортных услуг по реагированию на спрос// Мировой менеджер по перевозкам.2015.(11). С. 48-51.
8. Ван Цинбинь, Чжун Ронхуа. Исследования в области интеллектуального транспорта и городского развития// Городские дороги и борьба с наводнениями. 2015.(5). С. 3-8.
9. Ван Шэнли. Обсуждение тенденций развития городского транспортного планирования в соответствии с концепцией устойчивого развития// Архитектурно-инженерные технологии и дизайн, 2017.(18). С. 93.
10. Ван Юаньцин, Ли На, Чжан Хэ. В каком транспортном планировании нуждаются китайские города// Городская стража. 2010. С. 7-14.
11. Ван Ючжэн, Чэн Юмин, Чжан Инъюнь и др. Оптимизационная модель

охвата логистических и грузовых центров при планировании городского транспорта// Логистические технологии. 2014.33(01). С. 229-231.

12. Ли Гуанлей. Концепция развития городского транспортного планирования в соответствии с тенденцией интеллекта// Развитие строительных технологий. 2021.48 (8). С. 11-12.

13. Ли Фэнцзюнь. Обсуждение нескольких вопросов планирования и строительства городских железнодорожных транзитных экспресс-линий// Городской транспорт: 1-3[2020-03-01].<https://doi.org/10.13813/j.cn11-5141/u.2020.0002>.

14. Ли Ци. Взаимодействие между планированием городского железнодорожного транспорта и городским развитием// Умный город. 2020.06 (22). С. 113-114.

15. Ли Чжэ, Ван Пинша, Чжан Чуньхуэй и др. Анализ общей модели построения структуры внутреннего интеллектуального транспорта// Энергосбережение на транспорте и защита окружающей среды. 2014.(2). С. 66-68.

16. Ли Чунъю, Чжан Цзюньи. Обсуждение вопросов, связанных с планированием и развитием городского транспорта// Архитектурно-инженерные технологии и дизайн. 2016.(4). С. 14.

17. Линь Цзюньпин. Применение больших данных в интеллектуальной транспортной системе. Компьютерные знания и технологии// Академическое издание. 2019. 15 (6Z). С. 16-17.

18. Лу Хуапу, Ли Жуйминь. Состояние и тенденции развития городской интеллектуальной транспортной системы// Инженерные исследования - Инженерия с междисциплинарной точки зрения. 2014.06(01). С. 6-19.

19. Лу Хуапу, Хуанхайская армия. Границы исследования теории планирования дорожного движения// Пекин: Издательство Университета Цинхуа. 2007. С. 14-15.

20. Лу Хуапу. Теория и метод планирования дорожного движения// Версия 2. Пекин: Издательство Университета Цинхуа. 2006.

21. Лю Вэй, Ли Шаоян, Гуань Хуэй. Обзор планирования городского транспорта и стратегий будущего планирования города Шэньян с 1980-х годов//

Планировщик. 2014.30 (S1). С. 92-97.

22. Ма Сяои, Чжан Хайся. Практика транспортировки и исследования в крупных городах в период строительства земельных участков и пространственного планирования——Возьмем в качестве примера третий этап стратегического плана транспортного развития Гуанчжоу// Городское планирование. 2020. 44(9). С. 100-105.

23. Марин. Исследование и развитие городского транспортного планирования в Новом Китае// Международное городское планирование. 2019. 34(4). С. 49-53, 71.

24. Мэй Ивэй, Го Вэньци. Исследование современного планирования городского транспорта, основанного на концепции устойчивого развития// Шаньдунские промышленные технологии. 2015.(2). С. 258.

25. Основные направления строительства сильного транспортного государства.

26. Пан Ци. Интеллектуальный транспорт: лучший способ способствовать устойчивому развитию городского транспорта - Интервью с профессором Ян Чжаошэном, директором Центра исследований и разработок интеллектуальных транспортных систем Цзилиньского университета// Интегрированный транспорт. 2010.(07). С. 85-89.

27. Пан Цунами, Ян Сяогуан, Гэ Янь и др. Тематический салон "Оптимизация структуры улично-дорожной сети и усовершенствованный дизайн городского движения"// Городская архитектура. 2018.(30). С. 6-13.

28. Пэн Сяошуан, Чжоу Хэпин, Ван Цзя. Исследование расположения и планировки дорожных сетей графств и поселков// Автомобильный транспорт. 2021.(2). С. 16-19,24.

29. Схема планирования национальной комплексной стереоскопической транспортной сети.

30. Сюй Мэн. Краткий анализ применения больших данных в интеллектуальных транспортных системах// Умный город. 2019.5(8). С. 139-140.

31. Тан Хуэйфан. Текущая ситуация и меры противодействия развитию

интеллектуальной транспортной системы Китая// Управление и технологии малого и среднего бизнеса. 2019.(1). С. 43-44.

32. Хуан Даньцин. Планирование и дизайн городского дорожного движения основаны на концепции медленно движущегося транспорта// Городские дорожные мосты и борьба с наводнениями. 2021.(10). С. 1-4,9.

33. Хуан И, Чжоу Цянь, Цзян Мин и др. Определение проектной пропускной способности и ширины выезда из города, а также ширины самой дороги// Северо-восточное шоссе. 1998.(02). С. 52-53, 22.

34. Цай Цуй. Анализ и предложения по текущей ситуации развития интеллектуального транспорта в нашей стране// Технология дорожного движения (издание по прикладным технологиям). 2013.(6). С. 8-16.

35. Цзин Вывы. Исследование по применению концепции устойчивости при планировании дорожного движения// Транспорт и пересылка. 2022.38(2). С. 11-15.

36. Цзоу Бин, Дэн Ци, Сунь Юнхай. "Комплексный план транспортной системы Шэньчжэня (2013-2030 годы)"Планирование и разведка - содействие преобразованию городов с помощью более конкурентоспособной и устойчивой интегрированной транспортной системы// Разработка. Городской транспорт. 2015. 13(2). С. 11-18, 54.

37. Цзянг Х., Зырянов В.В. Развитие методов организации дорожного движения на пересечениях. В сборнике: Техника и технологии наземного транспорта. Сборник трудов аспирантов (с международным участием)// Под научной редакцией Е.Е. Витвицкого. Омск. 2022. С. 64-69.

38. Чжан Вэньцзюань. Анализ технологии больших данных в интеллектуальной транспортной системе// Электронное тестирование. 2019.(7). С. 125-126.

39. Чжан Линчжу, Цинань Лань. Применение анализа трехмерных пространственных сетей в системах пешеходного движения в центральных районах городов с высокой плотностью населения - в качестве примера возьмем центральный район Гонконга// Международный город. Муниципальное

планирование. 2019.34(01). С. 46-53.

40. Чжан Тяньань. Размышления о разработке моделей трафика в контексте больших данных// Городской транспорт. 2016.14(2). С. 22-28.

41. Чжан Чжэньюн. Исследование и разработка городского транспортного планирования// Экологически чистые строительные материалы. 2020.(9). С. 90-91.

42. Чжао Цзюньцзюэ, Лю Фаньюй, Хуан Цзяньци, Пэн Юй. Исследование архитектуры верхнего уровня интеллектуального транспорта// Технология проектирования почты и телекоммуникаций. 2013.6. С. 5-6.

43. Чжоу На, Чжан Дэюань, Чжан Цзинь. Исследование по комплексному планированию городского железнодорожного транспорта Куньмина и наземного транспорта// Городской экспресс-транспорт. 2019.32(01). С. 48-55.

44. Чжоу Тао, Чжан Цзяньсун, Дай Сюхао. Планирование и управление городским транспортом в среде больших данных -- На 12-м семинаре Форума по развитию городского транспорта Китая обсуждалась суть планирования и управления городским транспортом в среде больших данных// Городской транспорт. 2016. 14(06). С. 88-96.

45. Чэнь Кун, Ян Цзяньго. Исследование значения и характеристик интеллектуального транспорта// Информатизация коммуникаций в Китае. 2014.(9) С. 27-32.

46. Чэнь Наньпин, Цуй Лиюань. Существует ли еще разнообразие в эпоху полностью интеллектуального транспорта—— Индустрия мобильных интеллектуальных устройств вступила в эру "Интернет+"// Транспортное строительство и управление им. 2015.15. С. 20-27.

47. Чэнь Сяньлун. Обсуждение текущей ситуации с китайской моделью городского транспорта. Городской транспорт. 2016. 14(2). С. 17-21.

48. Чэнь Хань. Применение беспроводной системы видеонаблюдения в современном интеллектуальном управлении дорожным движением// Мир коммуникаций. 2016.(6). С. 289-290.

49. Шао Чунфу. Принципы планирования дорожного движения// Пекин: China

Railway Press. 2004. С. 45-103.

50. Ши Фэй, Шэнь Цин. Причины и меры противодействия заторам на городском транспорте в Китае - анализ с точки зрения транспортной инженерии, городского и сельского планирования и экономики// Городской транспорт. 2019.17(02). С. 90-95.

51. Юй Яньцян. Соображения по планированию и контролю за земельными участками для городского железнодорожного транспорта// Городской экспресс-транспорт. 2016. 29(01). С. 82-86.

52. Ян Дуньян. Способствовать трансформации теории планирования городского транспорта с помощью больших данных// Городской транспорт. 2016.14(03). С. 72-80.

53. Ян Сюй. Исследование по планированию городского транспорта и вопросам градостроительства// Кирпичный мир. 2021(11). С. 6, 9.

54. Ян Юнпин, Чжао Дон, Бянь Яньдун. Связанные с этим проблемы и предложения по планированию строительства городского железнодорожного транспорта в нашей стране// Городской экспресс-транспорт. 2019. 32(02). С. 1-4, 53.

55. Ян Яньцзин, Ван Линь. Краткий анализ применения ГИС-технологий в городском планировании// Научно-технические инновации и их применение. 2014.11. С. 6~7.

56. Яо Фэй, Лю Цинъюань, Гун Синсин. Исследование показателей транспортного планирования устойчивого развития на различных уровнях городского планирования// Транспортные технологии. 2017(1). С. 145-147.

57. AAUE R, S FEESE, S LOCKWOOD. History of intelligent transportation systems// [S. l.]. U. S. Department of Transportation. 2016.

58. Carlos F. Daganzo. A behavioral theory of multi-lane traffic flow// Transportation Research Part B. 2002..

59. Cui Wenbo, Liu Yun. Adaptive reform of comprehensive transportation planning based on the national land space planning system: A case study of Chaoyang District, Beijing// Urban Transportation. 2023(6). С. 29-37, 71.

60. e Safety Working Group. e Safety: Final Report of the e Safety Working Group on Road Safety// http://www.Europa.eu.int/information_society/activities/esafety/doc/wg/safety_wg_final_report_nov02_final.Pdf. 2002.11.
61. Godoy. J. Milanes. V, Joshue Perez, et. Al. An Auxiliary V2I network for road transport and dynamic environments// Transportation Research Part C. 2013(37). C. 145-155.
62. HAN Zhi, GUAN Yuyan. Research on intelligent transportation construction// Technology of Highway and Transport. 2018.34(6). C. 110—114.
63. He Wenxi. Research on the countermeasures of long-distance U-turn at urban road intersections - a case study of the intersection of Zhuji Road and Jishanxin Road Street in Guangzhou// Traffic and Transportation. 2023.36(S1). C. 117-119.
64. Highway Capacity Manual(HCM)2000, Transportation Research Board National Research Council. Washington. D. C. 2000.
65. https://baike.baidu.com/item/%E9%81%93%E8%B7%AF%E6%9C%8D%E5%8A%A1%E6%B0%B4%E5%B9%B3?fromModule=lemma_search-box.
66. Huang Yihai. Research on improvement methods of urban multi-road intersections and case analysis// Western Transportation Science and Technology. 2016.(3). C. 91-95.
67. Huang Z, Ma C. Symmetry-Based Urban Rail Transit Network Planning Using Two-Stage Robust Optimization// Symmetry. 2024.16(9). C. 1147-1149.
68. James A.Bonneson, Carroll J. Messser. Phase Capacny Characteristics for Signalized Interchange and Intersection Approaches// 77th TRBAnnual Meeting. 1997.
69. Jiang Jingwei. Optimization design and simulation evaluation of urban road intersections// Chongqing: Chongqing Jiaotong University. 2018.
70. John V Winters. Why Are Smart Cities Growing? Who Moves And Who Stays// Journal of Regional Science. 2011.51(2). C. 253-270.
71. JUSTIN S. CHANG. Models of the relationship between transport and land-use: a review.
72. Li Keping, Yang Peikun, Ni Ying. Amber Interval Design at Urban Signalized

Intersections// Urban Transport of China. 2010.8(4). C. 67-72.

73. Li Ruimin, Tang Jin. Dynamic programming optimization model for traffic signal control at oversaturated intersections// Journal of Transportation Engineering. 2015.15(6). C. 101-109.

74. Li Shuo. A Study on the Macro Capacity Model of Urban Road Network and It's Application// University of Shanghai for Science and Technology. 1999.21(3). C. 295-303.

75. Liang Yiyue. A brief discussion on refined planning, design and control management of urban road intersections// China Science and Technology Investment. 2018.(36). C. 201.

76. Ligerio N L M ,Montes V M L .Arguments as Tools for Assessing Images of Transport in Urban Planning// Journal of Planning Education and Research. 2024.44(3). C. 1691-1703.

77. Lin Zhaoxi, Zong Jun. Research on urban traffic planning management and road engineering construction issues in the new era// Automobile Weekly. 2024.(11). C. 40-42.

78. Liu Ronggui, Huang Tao, Ding Jianyou. Optimal design method of traffic organization at complex intersections in urban renewal and reconstruction// Hydropower Station Design. 2022.38(2). C. 84-86.

79. Liu Yinzen. Analysis and application of urban transportation and landscape planning and design: A case study of the Shahe River comprehensive improvement project in Yichang City// Transportation Enterprise Management. 2023.(5). C. 60-62.

80. Long Jiancheng, Gao Ziyong, Ren Hualing. Dynamic signal control method for urban network traffic// China Journal of Highway and Transport. 2009.22(4). C. 108-114, 121.

81. LU Huapu, LI Ruimin. Developing trend of ITS and strategy suggestions// Engineering Research: Engineering in an Interdisciplinary Perspective. 2014.(6). C. 6—19.

82. Luo Yuwei. Refined planning, design and control management of urban road intersections// Construction Engineering Technology and Design. 2018.(31). C. 51.

83. M.Kobayashi, T.Tajima. Development of a New Signal Control Algorithm and the Verification Experiment in Nagoya// The 11th World Congress on ITS. Nagoya. Japan. 2004.11.
84. Mitretek Systems. Intelligent Transportation System Benefits and Costs 2003 Update// FHWA. 2003.5.
85. Mitretek Systems. Intelligent Transportation System Benefits:2001 Update// FHWA. 2001.7.
86. National Comprehensive Three-dimensional Transportation Network Planning Outline.
87. Ni Ying, Li Keping. Degree of Saturation of Intersections Based on Critical Conflicting Flows// Journal of Wuhan University of Technology(Transportation Science & Engineering). 2010.34(1). C. 31-34.
88. Ou Changbao. Geometric safety design technology of urban road intersections// Urban Roads. Bridges and Flood Control. 2018.(1). C. 1-4+6.
89. Peng Fei. Research on traffic organization optimization of urban road intersections// Lanzhou Jiaotong University. 2016. C. 9-10.
90. Peng Jia, Liu Yanfeng. Discussion on the current traffic organization design of urban road intersections// Urban Construction Theory Research (Electronic Edition). 2018.(11). C. 156.
91. Shi H, Xiong H, Gan W, et al. Fully distributed planning method for coordinated distribution and urban transportation networks considering three-phase unbalance mitigation// Applied Energy. 2024,377(PA):124449-124449.
92. SUI Yagang, ZHANG Chunsheng. Informatization is the foundation and soul of intelligent transportation — an investigation report on the 12th ITS World Congress// Road Traffic & Safety. 2006.(6). C. 40—46.
93. Sun Bin. Analysis of traffic organization and channelization design of urban road intersections// Sichuan Cement. 2020.(4). C. 95.
94. Tang Tang, Long Jiayan. Traffic organization optimization of complex plane intersections// Urban Roads, Bridges and Flood Control. 2022.(11). C. 22-24+301.

95. Torin M. War Room of the Street: Practices in Transportation Control Centres// TheCommunication Review. 2007.10(4). C. 367-389.
96. Transportation Research Board. Highway capacity manual 2000// US:TIR Carnet,2000.
97. WANG Li, ZHANG Li-li, LI Min, et al. Precise judging method study of intersection traffic state// Science Technology and Engineering. 2016.(34). C. 290–295.
98. Wang Qianwen. Research on refined management and quality control of municipal road construction// Market Weekly. 2020.(55). C. 223.
99. Wang Tianyong, Lei Yundi, Lu Lu. Research on traffic channelization optimization design at deformed intersections on urban roads// Road Traffic Science and Technology. 2023.(2). C. 31-36.
100. WANG Xuhui. Overview and enlightenment of the development of urban intelligent transportation systems at home and abroad// Shandong Industrial Technology. 2018.(15). C. 200-201.
101. Wen Huiying, Lin Yifeng, Wu Haoshu, et al. ECEA path planning algorithm based on the evolution of urban road traffic environment// Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition). 2021.49(10). C 1-10.
102. Xiangting Y,Gang C, Jianshu D. Exploring Traffic Planning Networks across Multiple Scales Based on Urban Morphology: A Case Study of Nanjing, China// Journal of Urban Planning and Development. 2024.150(4)
103. Xu Jian, Zou Kai. Refined planning, design and control management of urban road intersections// Housing and Real Estate. 2017.(33). C. 214.
104. Xu Zhihong, Ge Ruoyu. Research on traffic organization optimization at entrances of urban road intersections// Urban Roads, Bridges and Flood Control. 2023.(1). C. 45-47.
105. Xuewen Le, Jian John Lu, et al. Variations of Capacity at Signalized Intersections with Different Area Types// TRB Annual Meeting. 2001.
106. Yang Fei. Research on traffic organization optimization of road intersections//

Chang'an University. 2016. C. 8-9.

107. Yang Wei, Long Guang. A brief analysis of traffic organization optimization design of urban road intersections// Qinghai Transportation Science and Technology. 2023. 35.(2). C. 19-23.

108. Yin Conghui, Yang Xi, Peng Qiang, et al. Multi-objective signal timing optimization design at road intersections// Journal of Wuhan University of Technology. 2022.44(8). C. 84-90, 96.

109. Zhang Lin, Wu Weiming, Huang Xuanwei. Nonlinear programming model based on dynamic signal timing// Journal of Highway and Transportation Research and Development. 2014.31(8). C. 131-137.

110. Zhang Qi. The impact of smart city concept on urban transportation planning// Transportation Science and Technology and Management. 2024.5(16). C. 10-12.

111. Zhang Weiling. Analysis of traffic organization schemes for urban road intersections// Traffic World. 2019.(25). C. 4-5, 9.

112. Zhao Yuxiang. A brief analysis of traffic organization and channelization design at urban road intersections// Architecture·Building Materials·Decoration. 2023.(6). C. 109-111.

113. Zheng Zuoxiong. Optimal design of traffic organization at complex intersections in urban renewal and reconstruction// Low Carbon World. 2023.13(1). C. 129-131.

114. Zheng Zuoxiong. Optimal design of traffic organization at complex intersections in urban renewal and reconstruction// Low Carbon World. 2023.13(1). C. 129-131.

115. Zhou Si'en. Some thoughts on the red line planning of urban road intersections// Urban Transportation. 2019.(5). C. 39-46.

116. Zhu Guozhong. Research on road traffic organization method based on road right guarantee// Beijing: People's Public Security University of China. 2023.

117. ZHU Qian. Panorama of China' s smart transportation industry in 2020// Shanghai: Prospective Industry Research Institute. 2020.

118. Власов, В.М. Методика оценки показателей «уровней обслуживания дви-

жения», адаптированных к городским условиям / В.М. Власов, В.Н. Богумил // Вестник МАДИ. – 2015. – № 4(43), с. 69 – 78

119. Жанказиев, С. В. Принципы формирования государственной системы сертификации элементов ИТС в Российской Федерации / С. В. Жанказиев, А. И. Воробьев, М. В. Гаврилюк // Транспорт Российской Федерации. – 2020. - №6(91). – С. 46–49.

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

121. Зырянов В.В. Моделирование дорожного движения: монография / В.В. Зырянов. – Ростов-на-Дону: изд-во Рост. гос.строит.ун-т, 2015. – 163 с.

112. Клинковштейн Г. И., Афанасьев М. Б. Организация дорожного движения: Учеб. для вузов.– 5-е изд., перераб. и доп. – М: Транспорт, 2001 – 247 с.

123. Новиков А.Н. Безопасное и эффективное управление транспортными потоками в городской транспортной системе: монография / А.Н. Новиков, А.Г. Шевцова. – Белгород: изд-во БГТУ. Орел, 2022. -205 с.

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

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

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

**济宁市交通警察支队**

邮编:272005, 地址:济宁市任城区吴泰闸路 65 号

电话: +86 0537 2939000

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盛靖翔的关于改善交通规划和交通管理的论文研究结果使用意见,该论文将呈报申请 2.9.5.-“汽车运输运营”专业副博士学位答辩

副博士研究生盛靖翔的关于改善交通规划和交通管理的论文的研究材料和结果优化了中小城市交通组织,减少了决策时间,可有效减少道路拥堵问题的发生。已在嘉祥市实际运用,下一步将在济宁市进行推广应用。

济宁市交通警察支队
济宁市交通警察支队,支队长



**• Бюро общественной безопасности Дорожной полиции
города Цзинин**

Почтовый индекс: 272005, Адрес: Город Цзинин улица Вутайча 65, телефон:
+86 0537 2939000

АКТ

об использовании результатов исследования диссертации Шэн Цзинсяна по совершенствованию планирования дорожного движения и организации дорожного движения Российской Федерацией и Донским государственным техническим университетом, диссертация будет представлена на защиту на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.9.5 «Эксплуатация автомобильного транспорта»

Результаты диссертационной работы практически использованы в городе Цзясян, а на следующем этапе будет популяризированы и внедрены в городе Цзинин.

Результаты диссертации по оптимизации организации дорожного движения в малых и средних городах и сокращению времени принятия решений могут эффективно снизить уровень загруженности дорог.

Начальник управления Бюро общественной
безопасности дорожной полиции города Цзинин.

Хуан С.
06.01.2025

подпись, печать



济宁市规划设计研究院

邮编 272005, 地址 山东省济宁市任城区海关东路 15 号

电话: +86 0537 2609899

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盛靖翔的关于改善交通规划和交通管理的论文研究结果使用意见, 该论文将呈报申请 2.9.5. - “汽车运输运营”专业副博士学位答辩

副博士研究生盛靖翔的关于改善交通规划和交通管理的论文的研究材料和结果为中国中小城市交通规划和交通组织提供了新的思路和方法, 其基本研究成果已在嘉祥市实际应用, 下一步作为案例应用于济宁市的其他交通规划和交通组织项目中。

济宁市规划设计研究院
济宁市规划设计研究院院长

史建风
(签字, 盖章)
2025 年 1 月 6 日



Институт планирования и проектирования города Цзинин

Почтовый индекс: 272005, Адрес: Город Цзинин Восточная таможенная дорога,
15 телефон: +86 0537 2609899

удостоверяющие документы

об использовании результатов исследования диссертации Шэн Цзинсяна по совершенствованию планирования дорожного движения и организации дорожного движения Российской Федерацией и Донским государственным техническим университетом при Министерстве высшего образования, диссертация будет представлена на -защиту на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.9.5 «Эксплуатация автомобильного транспорта».

В диссертации представлены новые идеи и методы транспортного планирования и организации дорожного движения в малых и средних городах Китая. Основные результаты исследования в части применения методики оценки условий движения и совершенствования организации дорожного движения были применены в Цзясяне, а следующий шаг - использование в качестве примера в других проектах по транспортному планированию и организации перевозок в городе Цзинин.

Институт планирования и проектирования
города Цзинин,
начальник управления
Ши Ц.

06.01.2025

Подпись, печать



山东正衡交通工程研究院

邮编:250000, 地址: 济南市中区二环南路国家大学科技园 15A7F

电话: +86 0531-82715303

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盛靖翔的关于改善交通规划和交通管理的论文研究结果使用意见, 该论文将呈报申请 2.9.5. - “汽车运输运营” 专业副博士学位答辩

副博士研究生盛靖翔的关于改善交通规划和交通管理的论文的研究材料和结果, 为中小城市交通组织提供了新的思路和方法, 并在减少中小城市交通拥堵方面具有显著成果。其基本研究结果现已应用于嘉祥市交通组织规划, 可以实际应用于中国中小城市交通组织优化。

山东正衡交通工程研究院

山东正衡交通工程研究院院长, 教授

何朝翔



(签字, 盖章)

2025 年 1 月 8 日

**Шаньдунский научно-исследовательский институт дорожной техники
Чжэнцю**

Почтовый индекс: 250000, Адрес: Город Цзинань Южная Вторая кольцевая
дорога, Научный парк Национального университета 15A7F, Телефон: +86
0531 82715303

удостоверяющие документы

мнения об использовании результатов исследования диссертации Шэн Цзинсяна по совершенствованию планирования дорожного движения и организации дорожного движения Российской Федерацией и Донским государственным техническим университетом при Министерстве высшего образования, диссертация будет представлена на защиту на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.9.5- «Эксплуатация автомобильного транспорта»

Шэн Цзинсян предоставил новые идеи и методы для транспортных организаций в малых и средних городах и добился замечательных результатов в сокращении заторов на дорогах в малых и средних городах. Результаты его фундаментальных исследований в настоящее время были применены к планированию организации перевозок в городе Цзясян и могут быть применены для оптимизации организации перевозок в малых и средних городах Китая.

Шаньдунский научно-исследовательский институт дорожной техники Чжэнцю

Начальник
Бай Х.

управления

08.01.2025

Подпись, печать