

**Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

Донской государственный технический университет

*На правах рукописи*  
*Ли Сяокунь*

**Ли Сяокунь**

**Совершенствование методов управления скоростным автобусным  
транспортом (на примере Китайской Народной Республики)**

Специальность 2.9.8. – Интеллектуальные транспортные системы

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

Научный руководитель:  
Доктор технических наук, профессор  
Зырянов Владимир Васильевич

Ростов-на-Дону–2024

## СОДЕРЖАНИЕ

№ пп	Наименование	Стр.
	Введение	3
1	<b>Анализ развития систем организации приоритетного движения общественного транспорта</b>	10
1.1	Опыт организации приоритетного движения транспорта в различных странах	10
1.2	Развитие BRT в КНР	18
1.3	Проблемы организации BRT	28
2	Теоретико-методологическое обоснование создания BRT	45
2.1	Методы организации BRT	45
2.2	Модели расчётов BRT	46
2.3	Оценка эффективности моделей	71
3	Применение ИТС для организации BRT	77
3.1	Анализ развития систем BRT	77
3.2	Анализ данных о BRT в Китае.	93
3.3	Интегрирование системы BRT с новой интеллектуальной транспортной системой	109
4	Использование методов и моделей для управления BRT в городе Цзинань	118
4.1	Методы реализации анализа применения ИТС	118
4.2	Тематическое исследование работы общественного транспорта	154
4.3	Определение основных параметров модели	162
4.4	Оптимизированные результаты	164
	<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b>	176
	Список использованных источников	178

## **Введение**

### **Актуальность темы диссертации.**

Повышение привлекательности общественного транспорта достигается многими методами, одним из которых являются различные виды предоставления приоритета транспортным средствам наземного транспорта. В этом отношении выделяется система скоростного автобусного транспорта (Bus Rapid Transit, BRT), базирующаяся на технологиях интеллектуальных транспортных систем, обеспечивающая быстрое и экономичное обслуживание пассажиров в сочетании с высокой провозной способностью. BRT предполагает использование функций интеллектуальной транспортной системы в части планирования и диспетчеризации, управления движением, информирования пассажиров.

Реализация проектов BRT имеет большое значение для улучшения городской транспортной среды. В условиях роста заторов на городских улицах внедрение BRT может кардинально улучшить качество транспортного обслуживания. Благодаря своим преимуществам с точки зрения стоимости, гибкости и эффективности услуг общественного транспорта, BRT является эффективным средством решения проблемы городских заторов и повышения удобства передвижения для жителей. Реализация проектов BRT может эффективно интегрировать и упорядочить обычные автобусные маршруты и снизить транспортную нагрузку на основные автобусные коридоры. Современный статус внедрения BRT демонстрирует быстрое развитие и широкий охват.

В Китае, по мере роста городского населения, нагрузка на обычные наземные автобусы продолжает расти. Поэтому развитию BRT в Китае придается важнейшее значение. В 2004 году в Китае приняты рекомендации считать BRT приоритетным направлением развития городского пассажирского транспорта как практичную и доступную стратегию решения проблемы заторов. 13-й пятилетний план национального экономического и социального развития (2016-20), поставил задачи

развивать и диверсифицировать системы BRT включая интеллектуальные системы управления. Если по состоянию на 2015 год в Китае эксплуатировалось 2 991 км BRT, то в настоящее время протяженность сети BRT превышает 7 тыс. км.

Несмотря на достаточно успешные примеры реализации проектов BRT существуют и определенные проблемы как научного, так и прикладного характера. Для обеспечения работы систем BRT необходима эффективная система управления и планирования, обеспечивающая точное выполнение расписания движения и интеграцию с обычными автобусными маршрутами. Это является актуальной задачей поскольку в Китае только в 7 городах в час пик эксплуатационная скорость BRT превышает 20 км/час. Управление безопасностью систем BRT также является важным вопросом для обеспечения безопасности пассажиров и качества обслуживания.

#### **Степень изученности проблемы.**

Исследованиям по повышению эффективности и качества транспортного обслуживания населения с использованием возможностей интеллектуальных транспортных систем уделяется значительное влияние. С точки зрения совершенствования применения ИТС и организации дорожного движения можно выделить вклад таких ученых, как В.М. Власов, С.А. Евтюков, С.В. Жанказиев, В.В. Зырянов, Г. И. Клинковштейн, В.И. Коноплянко, В.Э. Клявин, А.Н. Новиков, И.А. Новиков, В.В.Сильянов, Сарбаев В.И., А.Г. Шевцова. Управленческие и технологические проблемы обеспечения приоритета общественного транспорта отражены в работах А.Э. Горева, В.А. Гудкова, В.В. Донченко, С.В. Еремина, В.М. Курганова, Л.Б. Миротина, Ю.В. Трофименко, Л.С. Трофимовой. Китайская научная школа в этом направлении представлена научными исследованиями Чжу Цзиньшоу, Ян Юнган, Чжан Хунцзюнь, Дэн Джулун, Гуан Сяопин, Лю Анье, Сюй Чжаою, Чэнь Чжуан. Труды этих и других ученых использованы автором в диссертационной работе.

Анализ данной проблемы с системной точки зрения позволил выявить недостаточный уровень знаний и определенных противоречий в исследуемой области. Это касается совершенствования методов и моделей оценки качества

транспортного обслуживания BRT, развития интеграционной платформы интеллектуальной системы управления BRT, моделей оптимизации интервалов движения транспортных средств BRT.

**Целью диссертационной работы** является повышение эффективности скоростного автобусного транспорта на основе интеллектуальных транспортных систем.

#### **Задачи исследования.**

1. Анализ опыта внедрения BRT и выявление проблем, которые создают барьеры на пути организации эффективного функционирования этого метода приоритетного движения общественного транспорта.

2. Проведение исследований по сбору данных и экспериментальной обработке с помощью интеллектуальной платформы обмена информацией об автобусах BRT.

3. Разработка моделей оценки качества работы BRT на серого регрессионного и кластерного анализа.

4. Разработка математической модели оптимизации интервалов движения BRT на основе использования генетического алгоритма с возможностью применения в реальном режиме времени

**Объект исследования:** городской пассажирский автобусный транспорт.

**Предмет исследования:** интеллектуальные системы скоростного автобусного транспорта.

**Рабочая гипотеза** заключается в предположении, что применение разработанной методики и моделей позволит обеспечить повышение качества работы общественного автобусного транспорта.

#### **Научная новизна работы**

1. Получены новые теоретико-методические решения системной задачи развития скоростного автобусного транспорта (BRT) включая совершенствование архитектуры интеллектуальной платформы BRT, методы и модели оценки качества функциональности BRT, модели оперативного управления подвижным составом BRT.

2. Впервые для подобных задач применены модели серого регрессионного и

кластерного анализа для оценки качества функционирования BRT и на их основе разработаны и реализованы алгоритмы.

3. Разработана новая модель оценки качества услуг общественного транспорта, которая отличается от существующих моделей тем, что позволяет комплексно сравнивать множество независимых показателей, группировать и анализировать их без ограничения объема собранных данных, а также обеспечивает объективное сравнение качества услуг BRT.

4. Разработана математическая модель для оптимизации интервалов отправления BRT на основе использования генетического алгоритма. Целевая функция модели представляет собой сумму общей стоимости пассажирских поездок и эксплуатационных расходов BRT.

**Теоретическая значимость работы** заключается в разработке и анализе методики создания интеллектуальной платформы обмена информацией о BRT, математической модели для оценки качества услуг общественного транспорта и оптимизации интервалов отправления BRT, а также методики автономной оптимизации интервалов отправления в зависимости от спроса пассажиров и эксплуатационных расходов BRT.

**Практическое значение работы** заключается в формировании методики для систем принятия решений по управлению транзитом BRT. Полученные результаты носят прикладной характер и могут быть использованы для решения практических задач. Результаты исследования использованы в практическом управлении по организации дорожного движения отрядом дорожной полиции Бюро общественной безопасности города Хэцзе (КНР).

**Методы исследования.** Диссертационная работа выполнена на основе проведенных научных исследований, трудов ведущих ученых в области интеллектуальных транспортных систем, организации дорожного движения и перевозок. В диссертационной работе использовались теоретические и экспериментальные методы исследований, включающие системный анализ, математическую статистику, методы моделирования. Фактические данные получены в ходе экспериментальных исследований, статистического анализа

данных Национального бюро статистики КНР, Министерства транспорта КНР.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Структура и функции новой интеграционной платформы интеллектуальной системы BRT.

2. Метод анализа и оценки качества функционирования BRT на основе моделей серого кластерного анализа.

3. Модель оптимизации расписания на основе генетического алгоритма с использованием целевой функции модели включающей сумму общей стоимости пассажирских поездок и эксплуатационных расходов BRT.

4. Система принятия управленческих решений на основе качества обслуживания BRT и эксплуатационных расходов автобусов для использования такими организациями, как автобусные компании и транспортные департаменты.

**Степень достоверности и апробация результатов:** Достоверность результатов. Достоверность результатов исследования была подтверждена теоретически - путем обоснования целей и задач исследования; и экспериментально - на основе использования генетического алгоритма (GA Genetic Algorithm) для расчета общей стоимости поездки пассажира на BRT. Моделирование проводилось путем объединения интеллектуальных систем с системами BRT и публикаций авторов в ВАК, рецензируемых изданиях Scopus/Web of Science.

**Апробация работы:**

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

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на научно-практических конференциях: 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.).

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

**Информационная база исследования:** Нормативные и методические материалы. Китайские и региональные целевые программы развития систем городского общественного транспорта, материалы. Целевые программы, материалы по городским системам скоростного автобусного транспорта. Министерство транспорта Китая и региональные органы власти, департаменты и агентства, статистические данные.

**Соответствие диссертационной работы паспорту специальности:** Выполненные исследования отвечают формуле паспорта научной специальности 2.9.8. Интеллектуальные транспортные системы: Пункт 10. Теоретические основы и прикладные методы анализа и повышения эффективности, надежности и безопасности функционирования интеллектуальных транспортных систем, их отдельных элементов на всех этапах жизненного цикла.

**Публикации:** Основные положения диссертации опубликованы в 6 статьях, в том числе 3 в изданиях из перечня рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций.

**Структура и объем работы:** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 131 наименований. Текст диссертации изложен на 188 страницах, включает 35 таблиц, 40 рисунков.



# **1 Анализ развития систем организации приоритетного движения общественного транспорта**

## **1.1 Опыт организации приоритетного движения транспорта в различных странах**

Система скоростного автобусного транспорта (англ.: Bus Rapid Transit, сокращенно BRT) - система массового транспорта, разработанная на базе автобусов, представляет собой новый тип системы общественного пассажирского транспорта между скоростным транспортом и обычными автобусами [27]. Он сочетает в себе режим работы железнодорожного транспорта и характеристики обычного общественного транспорта, использует современные транспортные средства общественного транспорта и отличные сервисные возможности, а также использует выделенное дорожное пространство с интеллектуальными транспортными технологиями, чтобы обеспечить пассажирам комфортное, удобное перемещение, высокую эффективность и качественные услуги. Данный вид транспорта также обладает характеристиками, присущими общественному транспорту (высокая пропускная способность и скорость), и поддерживает традиционные преимущества иных видов транспорта (гибкость и легкость в использовании) [1,9].

В последние годы, в связи с быстрым экономическим развитием, число автомобилей в китайских городах быстро росло. Количество автомобилей за последние десять лет увеличилось более чем на 14%, а проблема городских транспортных заторов стала тем аспектом, который ограничивает городское развитие. Это также касается общей цели любых перевозок – транспортировки людей и товаров безопасным, экономичным и эффективным способом с минимальными затратами на ресурсы и негативным влиянием на окружающую среду. Системы городского общественного транспорта играют ключевую роль в достижении этой цели. Общая сеть автобусных линий относительно неэффективна, а система скоростного транспорта большой емкости (BRT) откроет новые возможности для развития городского общественного транспорта [10].

Первая в мире система BRT была создана компанией OC Transpo в канадском

городе Оттава. Первые системы BRT, представленные в 1973 году, представляли собой выделенные полосы для автобусов в центре города с остановками на платформах. Только в 1983 году начали действовать первые выделенные автономные автобусные маршруты, названные Transitways. К 1996 году был полностью введен в эксплуатацию первый длинный маршрут системы Transitway, который составлял 31 километр [26,27,79].

Международные организации, такие как Организация Объединенных Наций, Всемирный банк, Международное энергетическое агентство и Международная федерация общественного транспорта, активно продвигают высокоскоростное автобусное сообщение в крупных городах по всему миру как революционное решение для развития городского общественного транспорта.

Еще в 1950-х годах в США была предпринята попытка создать систему скоростного автобусного сообщения, но в то время она не прошла из-за преобладающей ориентации частных автомобилей в качестве конкурента автобусному транспорту. Трамвай в тот период был для большинства городских жителей основным средством передвижения, на том этапе качество обслуживания трамвая было крайне неудовлетворительным, с 1920 года в прибыли трамвайной компании стало наблюдаться существенное снижение, из-за падения прибыли компания сократила и инвестиции в систему, что в конечном итоге привело к тому, что эпоха трамваев в истории общественного транспорта Соединенных Штатов Америки подошла к концу. Напротив, автобусы начали заменять трамваи в городском общественном транспорте: Сан-Антонио, штат Техас, стал первым городом в истории США, заменившим трамваи на автобусы в 1933 году, а Нью-Йорк в 1940 году взял под контроль частную трамвайную компанию и преобразовал автобусную систему в государственную. В 1945 году из-за экономического кризиса, разразившегося в США, количество поездок на общественном транспорте сократилось с 35 миллиардов до 12 миллиардов. В 1956 году Детройт отменил все трамваи. В Чикаго в 1939 году появилась первая полоса, предназначенная только для автобусов, а в 1958 году были отменены все трамваи, в Лос-Анджелесе в 1973 году был создан El Monte Transitway, а в Питтсбурге в 1977 году была открыта

автобусная система, наиболее похожая на BRT[79].

В настоящее время система BRT разработана в 166 городах Северной и Южной Америки, Европы и Азии, а Соединенные Штаты, Канада, Австралия и ряд европейских городских планировщиков и транспортных инженеров проводят параллель между быстрым автобусным движением и другими видами скоростного движения, активно занимаясь планированием и развитием систем скоростного автобусного сообщения [56,111,112].

Что касается автобусных маршрутов, то в 2017 году общая протяженность городских линий общественного транспорта Китая достигла 7959 00 км, увеличившись за год на 9,12 % по сравнению с 2016 годом; к концу 2018 года из которых 5119,3 км - автобусные маршруты BRT, а 12 850,2 км - полосы только для автобусов. К 2023 году в Китае будет насчитываться в общей сложности 19 900 километров выделенных полос для автобусов [94].

Что касается владения автобусами, то в 2016 году в Китае насчитывалось 7689 транспортных средств BRT, к концу 2018 года общее количество автобусов в Китае составило 673 400, из которых 9110 были транспортными средствами BRT, а к 2022 году общее количество автобусов в Китае достигло 703 200.

Что касается пассажиропотока, то в 2010 году общее количество пассажиров автобусов составило 68 674 000 000 человек, в 2017 году - 84 706 000 000 человек, а в 2018 году - 1 587 000 000 человек совершили поездки с помощью BRT. По сравнению с 2017 годом произошло значительное снижение. В 2022 году пассажиропоток BRT составил 1 222 000 000, а в 2024 году заверченный пассажиропоток городского общественного транспорта Китая составил 1 622 189 000 в период с января по май. В течение многих лет наблюдается резкое снижение пассажиропотока общественного транспорта. Одним из основных факторов сокращения пассажиропотока общественного транспорта в Китае является более высокий спрос на качество услуг. Благодаря таким преимуществам BRT, как удобство, комфорт, возможность достичь пункта назначения в относительно небольшой промежуток времени, снижение пассажиропотока BRT год от года наименьшее.

На данный момент Пекинский BRT имеет 5 линий, а именно BRT1 (Цяньмэнь - Демаочжуан), BRT2 (Чаоянмэнь - Янчжа), ветку BRT2 (Чаоянмэнь - сад Уи), линию BRT3 (Аньдинмэнь - Западная община Хунфуюань), ветку BRT3 (Аньдинмэнь - Тяньтун Бэйюань)[104,119].

Система BRT Гуанчжоу состоит из 30 + 1 (паромные линии) автобусных линий BRT, 30 линий используют режим настройки «закрытый коридор, гибкая линия», при котором транспорт может входить в коридор BRT и выходить из него; 1 в данном случае – это паромная линия, которая проходит через весь коридор, и пассажиры могут совершать односторонние поездки и бесплатные трансферы в коридоре BRT[75]. Средняя скорость движения автобусов в коридоре составляет 24 километра в час, а пиковый пассажиропоток составляет в среднем 850 000 пассажиров в день, достигнув максимума в 960 000 пассажиров 1 мая 2010 года[101], что делает систему BRT крупнейшей по пассажиропотоку на одной линии в Азии.

Система BRT в Ичане построена на проспекте Дуншань, самой оживленной главной дороге в городе. Общая протяженность коридора составляет 23,9 километра. В нем используется операционная модель «1 + N» для формирования асимметричной системы управления сетью автобусных линий BRT. Кроме того, была сформирована операционная сеть «1 коридор + 36 веток»[102]. Стандарт BRT находится посередине дороги, в центре полос движения, а платформа BRT имеет форму платформы, установленной посреди дороги. Кроме того, также имеется наземный переход на станцию и с нее, что уменьшает эффективную ширину дороги и облегчает пользование общественным транспортом. По состоянию на 2019 год среднесуточный пассажиропоток достигает 350 000 пассажиров в день, что составляет 63% от пассажиропотока городских автобусов, а рабочая скорость составляет 20-25 километров в час.

22 апреля 2008 года был открыт и введен в эксплуатацию Цзинаньский BRT. Стандарт BRT представляет собой сочетание дорожного и придорожного стилей. Платформа BRT в дорожном стиле представляет собой центральную островную платформу, а придорожная платформа используется с обычными автобусами. По

состоянию на декабрь 2019 года рабочая скорость Цзинаньской BRT среднесуточный пассажиропоток составляет 167 000 пассажиров в день, а ежедневный бесплатный трансфер составляет 35 000 пассажиров в день, что эквивалентно 8,35% от общего ежедневного пассажиропотока в два миллиона автобусов в городе Цзинань. По состоянию на май 2020 года в Цзинань было открыто в общей сложности 13 линий BRT протяженностью около 108,3 километра. На платформе также можно бесплатно пересесть на 22 обычных автобусных линии (B) и 1 пиковый пригородный экспресс-автобус (T). Это первая система быстрого транзита в Китае, которая эксплуатируется в сети.

### **Развитие BRT в Соединенных Штатах.**

Развитие BRT в США в основном связано с началом реализации проекта A-23 - программы совместных исследований в области транзита (TCRR), который быстро развивался под руководством Федерального управления общественного транспорта (FTA). В 43 городах были построены системы общественного транспорта с частичной функциональностью BRT, в 10 городах - полные системы BRT. Система BRT в городе Альбукерке, штат Нью-Мексико, стала первой золотой линией BRT в США[79]. Знак золотого соответствия Стандарту BRT, 85 и более баллов. Знак серебряного соответствия Стандарту BRT, 70–84,9 балла. Знак бронзового соответствия Стандарту BRT, 55–69,9 балла. (ITDP Institute for Transportation & Development Policy) [99]. 1990 год стал важным этапом в развитии Bus Rapid Transit (BRT) в США, и именно FTA сделала большой шаг вперед в развитии BRT в США. Продвигаемое FTA, БРТ стало более экономически эффективным решением проблем общественного транспорта в США.

В 2008 году число пассажиров на американском транспорте достигло самого высокого показателя с XX века, а в период с 2008 по 2023 год число пассажиров росло быстрее, чем численность населения и количество пройденных транспортных средств. За последние 20 лет было открыто более десятка новых проектов, включая систему скоростного автобусного транспорта (BRT) в Чарльстоне, открытие которой ожидается в 2026 году[69]. Будучи основным средством городского общественного транспорта, системы BRT опережают по

влиянию города, инвестирующие в общественный транспорт BRT, над городами, инвестирующими в обычный общественный транспорт, поскольку соединенные штаты сталкиваются с экономическими рисками, связанными с энергоносителями внутри США из-за растущей зависимости от нестабильного импорта нефти. По сравнению с легкорельсовым и подземным городским транспортом, низкие капитальные затраты и высокая эффективность BRT очень привлекательны для политиков, сталкивающихся с короткими избирательными циклами. В США из-за отсутствия консенсуса в отношении BRT, брендирования автобусной системы и отсутствия контроля качества общественного транспорта BRT трудно достичь желаемых целей при незначительных улучшениях, а предлагаемую программу корректировки затрат трудно оценить соответствующим образом. Привлекательность брендов для пассажиров не соответствует основной цели - изменению моделей поездок. Для системы городских автобусов существует широкий спектр брендов, но система BRT в основном находится в ведении и под управлением Управления городского транспорта.

### **Развитие BRT в Бразилии.**

Куритиба (Бразилия) стала первым городом в мире, где была создана система BRT, и более чем в 10 городах Бразилии существуют городские автобусные системы с некоторыми функциями системы BRT, а в 9 городах есть системы BRT, прошедшие сертификацию ITDP[99]. Будучи первым городом и страной, реализовавшей программу BRT, Бразилия стала активнее продвигать системы BRT.

Интегрированная транспортная сеть (Rede integrada de transporte) - это система BRT в Куритибе, Бразилия. Появившаяся в 1974 году, система BRT, имеет более комплексную интегрированную транспортную систему, с выделенными полосами для скоростных автобусов, бесплатными пересадками на автовокзалах и другими особенностями. Как самая ранняя система BRT, она охватывает 85% зоны обслуживания автобусов в Куритибе. Впервые предложенная система троичных дорог была принята в 1979 году, а в 2002 году система электронного билета заменила традиционные способы оплаты. В 2009 году были внесены изменения в

порядок эксплуатации и управления системой, а в 2010 году в систему BRT были добавлены функции информирования в режиме реального времени. Технология биодизельного топлива на основе сои способствует улучшению показателей загрязнения воздуха, и в феврале 2024 года (TransBrasil) автобусная система BRT была официально запущена в Рио-де-Жанейро, Бразилия. Авенида Бразил - важнейшая артерия центра города Рио-де-Жанейро, и ожидается, что к 2030 году целевой трафик системы BRT достигнет 250 000 пассажиров в день. Являясь воплощением типичного бразильского среднего и крупного городского транспортного комплекса, стратегическое планирование городского транспорта и транзитно-ориентированное развитие (ТОД) системы BRT, а также стратегические рамки для системы BRT и городского транспорта были рассмотрены соответственно с точки зрения их политико-экономических и социальных приоритетов[105].

Сорок девять процентов населения столичного региона Рио-де-Жанейро ежедневно пользуется общественным транспортом. Напротив, в бразильских городах общественному транспорту уделяется меньше внимания, что приводит к низкому уровню качества услуг общественного транспорта. Развитие автобусных систем BRT в более отдаленных городских районах имеет свои ограничения. Однако спрос на общественный транспорт в отдаленных районах не так уж мал. Многие бразильские города построены по диффузному принципу, группы населения с низким уровнем дохода находятся на периферии города, что затрудняет полное покрытие общественным транспортом всей городской территории.

### **Развитие BRT в Австралии.**

В Австралии есть четыре города с автобусной системой BRT: Брисбен, Мельбурн, Сидней и Аделаида, причем автобусная полоса в Аделаиде (Южная Австралия) является одной из самых длинных и скоростных управляемых автобусных полос в мире. Открыта в 1986 году, Средняя скорость движения по транспортной магистрали Северо-Восточной Аделаиды составляет 80 километров в час. Она способна обслуживать 31 000 пассажиров в день. Юго-восточная автобусная дорога Брисбена открылась в 2001 году, Внутренняя северная

автобусная дорога Брисбена - в 2004 году, а автобусная дорога Сидней-Ливерпуль-Парраматта - в 2003 году[99].

Автобусная система BRT в Брисбене была разработана как проект строительства городских автобусов с большим количеством автобусных ресурсов, но меньшими инвестициями в строительство и управление. Основная причина - высокий уровень доходов и высокая доля автовладельцев. Трудно изменить структуру передвижения городского населения. В Брисбене стартовая стоимость проезда в автобусах и BRT составляет 2,5 доллара, что также является одной из основных причин отсутствия экономических преимуществ[110].

Для многих городов Австралии BRT системы, хотя стоимость строительства, чем метро легкой железной дороги относительное экономическое преимущество, но стоимость дорогих земельных ресурсов и трудовых затрат, влияет на увеличение общей стоимости строительства. Политические споры по поводу расходов на BRT в Австралии, в отличие от других стран и регионов, также способствуют возникновению разногласий по поводу расходов и строительства BRT, несмотря на богатые ресурсы BRT в стране.

### **Развитие BRT в России.**

В нескольких российских городах существуют городские автобусные системы, которые имеют некоторые характеристики систем BRT. Развитие системы BRT в России продвигается как новый национальный проект БКД Российской Федерации «Модернизация пассажирского транспорта в городских агломерациях»[1,15]. Из них выделенные полосы приоритетного движения автобусов и другие российские города так или иначе развивают системы BRT. Несмотря на то, что в Москве развита сеть метро и трамвайных путей, перегруженность города остается серьезной проблемой, а автобусное движение в целом относительно неэффективно. С другой стороны, главные дороги с полосами, предназначенными только для автобусов, подобно скоростному транспорту, имеют относительно эффективное движение автобусов[46]. В 2016 году в Москве был реализован проект «Магистраль», который внес вклад в общее развитие автобусной системы BRT, модернизировав систему общественного транспорта.



Например, в южном российском городе Ростове-на-Дону на улице Михаила Нагибина есть полоса, предназначенная только для автобусов, и эффективность автобусного движения на этом участке города высока. Сильная привлекательность общественного транспорта для соседей по дороге. Устаревшее оборудование городского общественного транспорта вызывает снижение привлекательности для пассажиров. Это проблема и вызов для российских городских автобусных систем.

## **1.2 Развитие BRT в КНР**

Интеграция интеллектуальной системы BRT относится к задачам интеллектуальной интегрированной платформы управления диспетчерского центра BRT и выполняется посредством соответствующих методов подключения и стратегий интерфейса для достижения информационного взаимодействия с другими электронными системами таким образом, что связь между различными подсистемами формирует единую систему. В соответствии с потребностями разделения труда управления бизнесом, реализуют взаимодействие процессов и обмен информацией.

Интеграция интеллектуальной системы BRT – это не только накопление и объединение физического оборудования каждой подсистемы. Для того, чтобы каждая подсистема работала скоординированным образом, необходимо органично интегрировать каждую подсистему для реализации проводной либо беспроводной связи, при этом интегрируя все отдельные элементы [105].

В настоящее время для измерения габаритов и заправки автобусов используется точное электронное оборудование, которое может не только своевременно узнать расход топлива автобусов, но и проводить статистический анализ расхода топлива автобусов, чтобы повысить уровень управления использованием ресурсов. Если автобус оборудован сигнализатором превышения скорости, то, как только водитель превысит скорость, центр мониторинга может немедленно это выявить, что может лучше обеспечить безопасное вождение автобуса. Другой пример – установка интеллектуального монетоприемника, который может вести отдельную статистику по монетам и банкнотам, оценивать

поток людей на каждой станции, а диспетчерский отдел при этом способен более научно распределять транспорт согласно конкретным условиям.

Интеллектуальная диспетчерская система BRT координируется и сотрудничает со многими организациями для совместной разработки единой схемы управления движением. В системе используется множество интеллектуальных технологий, тем самым система может интеллектуально собирать, анализировать, фильтровать данные о трафике и передавать аннотированную информацию диспетчерам, менеджерам или водителям в диспетчерский центр, позволяя им быстро реагировать и принимать соответствующие экстренные меры [71].

Интеллектуальная диспетчерская система BRT в основном использует BDS/GLOANSS/GIS/GSM/GPRS/CDMA технологии видеонаблюдения для позиционирования транспортных средств и динамического отслеживания [33]. В то же время компьютер заменяет сложную ручную запись и проводит статистический анализ рабочих показателей и данных быстрым и точным образом и, наконец, реализует принцип интеллектуальности и модернизации работы и производства BRT.

### **1. Применение географической информационной системы в интеллектуальной системе диспетчеризации Китая**

Электронная карта дорожного движения является приложением географической информационной системы (BDS). База данных информационной системы имеет важное значение. При индуцировании транспортного потока BDS в основном используется для производства цифровых электронных карт, при этом создавая различные типы баз данных географической информации и служа в качестве рабочей платформы центра мониторинга управления дорожным движением [33].

Система BRT эффективно интегрирует передовые информационные технологии, технологии передачи данных, технологии электронных датчиков, технологии электронного управления и технологии компьютерной обработки в автобусную систему, а также использует передовые автобусные транспортные средства, обеспечивая отличные сервисные услуги и дорожное пространство с

интеллектуальными транспортными технологиями.

Интеллектуальная диспетчерская система опирается на географическую информационную систему для сбора соответствующей информации о поездках, включая информацию перед поездкой (pre-trip information)[117]. Предрейсовая информация включает в себя автобусные маршруты, карты, расписание отправления, загруженность дорог на каждом участке дороги и т. д. Информация о поездке включает информацию об отправлении транспортного средства, информацию о пассажирах транспортного средства, информацию о работе транспортного средства, время прибытия транспорта, информацию о возможных пересадках и т. д. Собранная информация хранится в базе данных географической информационной системы, а диспетчер имеет возможность получать и считывать информацию, отправленную устройством, установленном на транспортном средстве, в фоновом режиме с помощью программного обеспечения базы данных, таких как SQL SEVER, Oracle и DBR2[118]. Диспетчер при этом может запросить необходимую информацию в любое время по мере необходимости.

Поскольку навигационная электронная карта может определять положение движущегося транспортного средства, диспетчер способен считывать конкретное географическое местоположение транспортного средства и рассчитывать скорость с учетом рабочего состояния транспортного средства [127]. В конце концов, диспетчер передает результаты обработки анализа информации водителю через средства связи, чтобы водитель мог дать правильные и соответствующие действительности ответы, обеспечивая при этом нормальное вождение транспортного средства.

## **2. Применение технологии видеонаблюдения в интеллектуальной системе диспетчеризации Китая**

Система видеонаблюдения в основном используется для наблюдения за магистралью BRT, въездом и выездом транспортных средств на станциях BRT, а также за безопасностью каждой отдельной станции вдоль маршрута BRT и платформы в ночное время. Система видеонаблюдения состоит из трех основных частей: фронтальные камеры, каналы передачи информации и аппаратура

управления и контроля. Функции внешней системы включают в себя использование камер для получения изображения станции в режиме реального времени [129].

Центр может управлять наклоном камер и углом обзора объектива для осуществления наблюдения за станцией с большого расстояния. Аналоговое видео, записанное камерой, преобразуется в цифровое и отправляется в диспетчерский центр BRT по каналу передачи информации. В функции центральной системы входят запись видео и изображений, их обработка и замедленное воспроизведения видео для четкого контроля, а также последующее управление изображениями.

### **3. Методы планирования и управления транспортными операциями в Китае**

В NBT управление планированием операций полностью зависит от человеческого фактора, а методы обработки и анализа информации уступают интеллектуальным системам [131]. Во всем процессе планирования, специалисты, водители и пассажиры являются относительно независимыми лицами, и передача информации между ними также независима. Во всем диспетчерском процессе информация не может быть доставлена быстро и своевременно, в результате чего пассажиры и водители не могут своевременно получать информацию и направлять ее диспетчерам. Во всем процессе планирования не хватает интеграции отдельных агентов, а эффективность операций и планирования низка.

В управлении BRT используются передовые технологии, позволяющие диверсифицировать и модернизировать соответствующие средства обработки информации. Управление и планирование могут осуществляться в режиме реального времени, а информация может передаваться диспетчерам, водителям и пассажирам своевременно и точно. Взаимодействие между пассажирами, водителями и диспетчерами обеспечивает надежный и своевременный поток информации.

Помимо BDS, используются и другие передовые технологии, такие как географическая информационная система, пассажирская автоматика, система счета и др., помогающие осуществлять управление и передачу информации о дорожном движении в режиме реального времени [121]. Существует взаимная связь между

диспетчерами, водителями и пассажирами. Это экономит время пассажиров, повышает эффективность работы автобусных компаний и в определенной степени снижает загруженность дорог.

Интеллектуальная диспетчерская система является ядром BRT, независимо от того, хорошо она работает или нет. Система собирает информацию, сохраняет ее в базе данных, а планировщики используют SQL по мере необходимости. Программное обеспечение базы данных, такое как SEVER, может запрашивать и анализировать информацию, полагаясь на системы связи, которые передают результаты анализа водителю и могут передавать электронный стоп-сигнал знакам переменной информации на станциях. Пассажиры и водители также могут рассчитывать на передачу информации, при этом имея взаимосвязь с диспетчерским центром [42]. Взаимодействие передачи информации может действительно реализовать полный потенциал подобной системы, тем самым повысив скорость интеллектуальной диспетчерской системы.

Общая функция демонстрационной линии заключается в проведении мониторинга в режиме реального времени и оптимального планирования работы транспортных средств путем сбора, передачи и обработки информации о транспортных средствах, пассажиропотоке и дорожной информации, а также своевременном обнаружении и устранении различных аварий, предоставляя пассажирам комплексную и точную информацию. Таким образом, уровень обслуживания общественного транспорта может быть эффективно повышен, а интеллектуальная работа, планирование и управление городским общественным транспортом могут быть значительно улучшены.

Интеллектуальная транспортная система – это точная, эффективная, крупномасштабная, всесторонняя система, работающая в режиме реального времени путем интеграции передовых электронных технологий, информационных технологий, сенсорных технологий и технологий системного проектирования в управление наземным движением (применяемо в контексте анализа BRT) [43].

Интеллектуальная система общественного транспорта является одной из составляющих интеллектуальной транспортной системы. В ней применяются такие

технологии, как технология глобального позиционирования, технология беспроводной связи и географические информационные технологии для реализации диспетчеризации, мониторинга и эксплуатации автобусов в режиме реального времени [44]. По сути, стоимость эксплуатации автобусов снижается, а автобусное сообщение значительно улучшается, что облегчает жизнь людей.

Основываясь на комплексном применении технологий глобального позиционирования, технологии беспроводной связи, географических информационных технологий и других, интеллектуальная система общественного транспорта реализует интеллектуальную работу по планированию работы общественного транспорта, а также реализует совершенную информационную службу для пассажиров общественного транспорта.

Интеллектуальная автобусная система обеспечивает такие функции, как позиционирование, отслеживание полос движения, прогнозирование времени прибытия, передачу информации на ТПО, управление расходом топлива и т.д., также совмещая возможности развертывания и обслуживания автобусных линий посредством единой организации и расписания движения автобусов [45]. Кроме того, осуществляется централизованное управление стоянки транспортных средств, единое планирование, динамическая оптимизация и распределение людских и транспортных ресурсов в большем диапазоне, обеспечивающее снижение затрат на эксплуатацию автобусов, повышение адаптивности диспетчеризации и уровня обслуживания пассажиров.

При построении интеллектуальной системы общественного транспорта, теория и метод системной инженерии используются для интеграции современной связи, информации, электроники, управления, компьютера, сети, BDS и GLONSS, а также других высоких технологий в систему общественного транспорта, через создание интеллектуальной диспетчерской системы общественного транспорта, информационной системы общественного транспорта, электронной системы взимания платы за проезд и т.д. Реализация информатизации, модернизации и интеллектуальных функций диспетчеризации, эксплуатации и управления общественным транспортом, предоставление более безопасных, комфортных и

удобных услуг общественного транспорта для городских и сельских путешественников может решить проблему общественного транспорта.

Проект станции BRT включает в себя два основных компонента: дизайн станции для вместимости транспортных средств и дизайн пространства платформы для уровня обслуживания пассажиров [46]. Проект станции по вместимости транспортных средств в основном включает в себя количество линий и входов на станции, правила въезда транспортных средств и метод управления движением, которые напрямую определяют эффективность использования станции BRT. Разные станции имеют разную пропускную способность. Конкретный алгоритм может быть рассчитан в зависимости от пассажиропотока BRT и вместимости станций [47].

Система разделена на уровень инфраструктуры, уровень планирования связи, уровень информационных ресурсов, уровень интеграции ресурсов, уровень общественных услуг, тематический бизнес-уровень, прикладной уровень и уровень отображения [48].

Первый уровень – это уровень отображения. Пользователи могут использовать Интернет, большие стационарные экраны, мобильные телефоны и другие терминалы для запроса данных, а командно-диспетчерский центр может запрашивать статус транспортного средства и предоставлять нужную информацию.

Второй уровень – это прикладной уровень, включающий подсистему интеллектуального планирования, подсистему интеллектуальной автобусной карты, подсистему терминала транспортного средства, подсистему информации о дорожном движении, подсистему помощи в эксплуатации, подсистему замкнутого телевидения, подсистему корпоративной информации, подсистему оценки преимуществ, подсистему аварийной безопасности и управление связью. Все обозначенные подсистемы осуществляют обмен данными между системой и внешней средой. Для системных пользователей, прикладной уровень получает вводимые пользователем данные, реализует определенные бизнес-функции, вызывая процесс бизнес-логики основного уровня обработки, и возвращает результаты обработки на уровень отображения, используя интерактивный

интерфейс. Для внешней системы бизнес-процесс завершает обмен данными с внешней системой через сервис интерфейса прикладного уровня.

Уровень услуг делится на уровень тематических услуг и уровень общественных услуг. Тематический уровень услуг – это обслуживание анализа данных, прогнозирование и обработка географической информации[49]. Уровень данных делится на уровень интеграции ресурсов и уровень информационных ресурсов, а уровень данных является основой системы. Интеллектуальная система общественного транспорта включает в себя различные технологии, такие как Интернет, беспроводная связь, видео, спутниковая связь и т. д.

Уровень информационных ресурсов предоставляет бизнес-уровню унифицированные и стандартизированные атомарные услуги, которые используются для защиты деталей хранения, организации и доступа к бизнес-данным, а также реализуют интеграцию бизнес-данных. Бизнес-уровень должен получать доступ к бизнес-данным через атомарные службы [50]. Уровень интеграции ресурсов фильтрует и упорядочивает данные на основе уровня информационных ресурсов, а тематический бизнес-уровень обеспечивает поддержку и контроль данных. Уровень планирования связи обеспечивает поддержку интеграции системы через спутниковую связь, аналоговую и беспроводную сеть, Wi-Fi и Интернет [51].

Слой инфраструктуры включает в себя большие транслирующие экраны, электронные карты, компьютерные серверы, энергосистемы и системы телевизионного мониторинга. Бизнес-логика основного уровня обработки данных заключается в получении доступа к бизнес-данным через атомарные службы. Бизнес-уровень реализует совместное использование бизнес-логики, предоставляя унифицированный логический процесс данному уровню доступа.

Интеллектуальная система BRT должна в основном достигать следующих целей:

- 1) Соответствовать современным требованиям управления системы типа «бизнес-данные – капитальные данные – информационные данные», необходимым для работы системы BRT, и достигать оперативных целей эффективной работы,



высококачественного обслуживания и стандартизированного управления.

2) Динамически позиционировать транспортные средства BRT в режиме реального времени с помощью передовых технических средств и видеонаблюдение в реальном времени за парковками и станциями, чтобы обеспечить объективную основу для оптимизации расписания в реальном времени.

3) Использовать компьютерную информационную систему для оптимизации плана операций, планирования и распределения рабочей силы, в то же время объединяя соответствующую информацию, полученную в результате динамического мониторинга, сбора данных в реальном времени и обратной связи с персоналом, тем самым реализуя планирование в реальном времени с помощью компьютера.

4) В соответствии с рабочими характеристиками BRT реализовывать автоматическую идентификацию транспортных средств BRT, отдавая приоритет сигналам на перекрестках и выбирая соответствующие приоритетные стратегии, методы и режимы для обеспечения приоритетного управления сигналами на каждом перекрестке, что позволит уменьшить задержку движения [52].

5) Создавать интегрированную, эффективную и всесторонне используемую сеть передачи данных для удовлетворения потребностей доступа к мультимедийной информации интеллектуальной системы, бизнес-планирования и мониторинга в реальном времени, а также для удовлетворения будущего расширения данных и пользовательских услуг, реализации взаимосвязи интеллектуальных систем BRT, и интегрирования с интеллектуальными транспортными системами.

6) Создавать передовую систему электронных билетов, которая отвечает требованиям оперативного управления и оперативным потребностям BRT, чтобы обеспечить быстрое и удобное обслуживание пассажиров.

7) По различным каналам предоставлять точные, удобные и эффективные информационные услуги в режиме реального времени для большинства пассажиров, улучшать имидж общественного транспорта и повышать уровень обслуживания.

8) Благодаря интеллектуальной системной интеграции, модели взаимодействия «пассажиры – автобусы – дороги – станции» стать органичным целым, повысив эффективность управления и работы BRT.

9) Органично интегрировать интеллектуальную систему BRT с существующей системой управления дорожным движением и системой управления работой автобусов, а также использовать стандартизированные интерфейсы для обмена данными.

Автоматическое голосовое оповещение, сбор статистики пассажиропотока, управление автобусными маршрутами, статистика автобусных маршрутов, видеомониторинг в реальном времени, управление расписанием транспортных средств, сигнализация о превышении скорости, движение по выделенным линиям, контроль использования топлива, расписание смен, управление водителями, отображение текстовой информации, передача изображений, все это выступает задачами, необходимыми к выполнению для подобных систем.

Кроме всего вышеперечисленного, можно также говорить о преимуществах интеграции систем BRT:

1) Безопасность

1. Регулирование и контроль поведения водителей транспортных средств;
2. Контроль соблюдения безопасного состояния вождения транспортного средства;
3. Видеонаблюдение в режиме реального времени для обеспечения безопасности пассажиров и имущества;

2) Эффективность

1. Автоматическое планирование схем подачи транспорта для повышения пропускной способности;
2. Оптимизация точности информации о прибытии;
3. Интеллектуальная статистика пассажиропотока;

Система реализована посредством распределенного внедрения и централизованного управления. То есть на каждом транспортном средстве автобусной пассажирской транспортной компании устанавливается относительно

независимая система мониторинга и сигнализации, а для передачи используется беспроводная сеть 4G/5G, тем самым каждая независимая подсистема подключается к платформе мониторинга и управления.

### **1.3 Проблемы организации BRT**

#### **1. Основные преимущества BRT**

Интеллектуальная система BRT разделена на три части: подсистема внешнего оборудования, система сетевой передачи и платформа управления. Стандартная система BRT в основном включает следующие пять основных элементов:

##### **1) Закрытые выделенные полосы**

Выделенные полосы для экспресс-автобусов относительно независимы от полос для других транспортных средств. Такая конструкция может сделать обслуживание BRT более быстрым и надежным, а также облегчить посадку и высадку пассажиров. Благодаря физическому отделению от другого транспорта, экспресс-автобусы могут доставлять пассажиров к месту назначения без помех со стороны другого транспорта.

##### **2) Хорошо спроектированные и оборудованные станции**

Автобусная станция экспресс-автобусов спроектирована с учетом требований безопасности и комфорта. Продажа билетов осуществляется в форме предварительной покупки билетов или регистрации на вокзале. Кроме того, платформа и двери автобуса находятся на одном уровне, что позволяет пассажирам быстрее и проще садиться в автобус и выходить из него.

##### **3) Технологически продвинутые общественные транспортные средства**

В системе BRT используются вместительные, высокопроизводительные, экологически чистые и комфортные транспортные средства. Дизайн, компактность дверей и салонов транспортных средств позволяют пассажирам быстрее садиться в автобус и выходить из него, а также легче перемещаться внутри транспортного средства. В соответствии с различными потребностями и условиями, на разных маршрутах могут использоваться автобусы разной вместимости. Вождение плавных, малошумных и экологически чистых автобусных транспортных средств

не только делает BRT более экологичным выбором, но и обеспечивает комфортные услуги для пассажиров [53].

#### 4) Системная организация, отвечающая потребностям пассажиров

Системы BRT обычно обеспечивают круглосуточное обслуживание с высокой частотой. Маршруты и графики обслуживания могут быть скорректированы в зависимости от сезона, даты и времени, чтобы удовлетворить различные потребности пассажиров

#### 5) Интеграция интеллектуальной транспортной системы (ИТС)

Интеллектуальная транспортная система сочетает в себе коммуникационные и электронные технологии с инфраструктурой BRT, что может повысить эффективность работы и удобство BRT. ИТС также может позволить автомобилям BRT пользоваться приоритетом на перекрестках и предоставлять пассажирам такие услуги, как информацию о поездке в режиме реального времени. Интеллектуальные транспортные системы также могут помочь диспетчерам понять местонахождение транспортных средств и уведомить пассажиров о состоянии автобусов.

С точки зрения пассажирских перевозок, система автобусов большой вместимости в основном такая же, как легкорельсовый транспорт. Судя по рабочей скорости системы, скорость автобусной системы большой вместимости и легкорельсового транспорта составляет от 10 до 20 километров в час, что составляет от 1/3 до 1/2 рабочей скорости метро. Судя по срокам строительства, автобусная сеть большой вместимости обычно занимает 1-2 года до полной готовности к использованию. Автобусная система большой вместимости обладает несравнимыми преимуществами с точки зрения сроков строительства, стоимости строительства и уровня обслуживания, а также соответствует потребностям строительства современного мегаполиса [54].

Наиболее существенными преимуществами системы BRT являются:

1) Экономия пространства и большая вместительность. Каждый пассажир системы BRT занимает только половину места, занимаемого пассажирами в личном автомобиле.

2) Экономия средств. Система BRT недорогая в строительстве, эксплуатации и обслуживании. Стоимость строительства системы BRT составляет всего 1/10 стоимости строительства метро с такой же пропускной способностью.

3) Защита окружающей среды. Потребление источников энергии и выбросы загрязняющих веществ на 90% меньше на пассажира в BRT по сравнению с личными автомобилями.

4) BRT может быть средством реализации стратегии «Транзитно-ориентированное развитие (TOD)». Подобное автобусное развитие относится к строительству жилых и коммерческих районов вокруг автобусных остановок таким образом, чтобы автобусные маршруты могли более удобно удовлетворять потребности пассажиров в поездках в жилых и коммерческих районах [55]. TOD может увеличить количество пассажиров общественного транспорта, создать более пригодные для жизни сообщества условия и сделать их более сплоченными.

5) Гибкость в использовании. Маршрут, частота, тип транспортного средства и пространственная планировка системы BRT могут быть скорректированы в соответствии с потребностями пассажиров и местными особенностями.

Интеллектуальная система управления BRT осуществляет мониторинг в режиме реального времени и визуальное планирование транспортных средств, работающих на экспресс-автобусах, тем самым улучшая полную скорость загрузки транспортных средств и пропускную способность автобусной системы в целом. Диспетчерское управление также может снизить транспортные расходы и повысить эффективность предприятий общественного транспорта.

Обеспечивание более высокого уровня обслуживания предприятий происходит путем повышения пунктуальности и предсказуемости автобусных перевозок, а также помогая пассажирам более эффективно использовать время ожидания и время в пути. Планирование адаптируется к уровню пассажиропотока, повышает гибкость автобусного сообщения, сокращает время ожидания и повышает комфорт [56].

Кроме того, предоставляются полные информационные услуги для пассажиров: интеллектуализация общественного транспорта обеспечивает обмен

информацией и интеграцию между различными видами общественного транспорта, а также повышается своевременность обслуживания и обновления информации.

Операторы являются высококвалифицированными специалистами, что помогает в обеспечении высокой степени интеллектуального управления операциями: предприятия общественного транспорта могут отслеживать текущее состояние транспортных средств общественного транспорта в режиме реального времени с помощью мощной информационной системы и интеллектуальной системы управления общественного транспорта, получать данные о пассажиропотоке в реальном времени, в конечном итоге распределяя и управляя транспортными средствами и человеческими ресурсами, а также корректируя маршруты.

Благодаря рациональной оптимизации, интеграции и управлению в режиме реального времени, система управления формирует интеллектуальную диспетчерскую систему автобуса по типу «распределение ресурсов в соответствии со спросом». Заменяя ручное планирование на интеллектуальное, то есть используя способы контроля работы транспортных средств с помощью спутникового позиционирования, реализуется и активно применяется удаленное автоматическое планирование транспортных средств с помощью системы.

## **2. Основные недостатки BRT**

Несмотря на то, что скоростной автобусный транспорт является важным средством передвижения с преимуществами низкой цены и отличной производительности, он все же не может полностью заменить другие виды скоростного транспорта, например железнодорожный транспорт. Ввиду сравнительных преимуществ различных транспортных средств, с точки зрения планировщиков дорожного движения, ключевой вопрос заключается в том, какое транспортное средство является наиболее подходящим при определенных обстоятельствах, поскольку преимущества транспорта не могут быть абсолютными. Чем выше плотность населения города, тем более высокий уровень транспортной планировки требуется. Различная интенсивность землепользования, плотность населения, социально-экономические условия и природные условия в пределах

городов определяют иерархическое распределение транспорта. Различные средства транспорта должны быть связаны друг с другом, чтобы сформировать транспортную систему, только в таком случае возможна максимизация полезности транспортных систем.

Общие эксплуатационные расходы BRT очень низкие, а период строительства короткий, однако, когда объем трафика увеличивается, эксплуатационные расходы BRT значительно возрастают.

Основные технико-экономические характеристики BRT, метро, легкорельсового транспорта и обычного автобуса сравниваются в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Основные технико-экономические характеристики различных транспортных систем

Название вида транспорта	Одностороннее движение/трафик (тс/ч)	Рабочая скорость(км/ч)	Удельная стоимость (Юань/км)	Период строительства/годы
Метро	35 ~ 40	4 ~ 6	10 ~ 15	4 ~ 6
Скоростной трамвай	20 ~ 35	1 ~ 3	1 ~ 3	3 ~ 4
BRT	0 ~ 35	1 ~ 3	0.5 ~ 1	1 ~ 2
Автобус	10 ~ 20	0.4 ~ 1	X	X

Преимущества железнодорожного транспорта заключаются в интеграции системы. Самым большим недостатком железнодорожного транспорта является высокая стоимость, в то время как самым большим преимуществом традиционного общественного транспорта является низкая стоимость. Идея разработки системы BRT состоит в том, чтобы объединить преимущества этих двух систем для создания новой системы общественного транспорта. Тем не менее, технологически продвинутые и высокоинтегрированные интеллектуальные системы играют очень важную роль в BRT.

### 3. Проблемы создания и интеграции BRT

1) Трудно получить технологию движения общественного транспорта с низким

уровнем выбросов, поскольку любой транспорт является источником выбросов, и его следует сокращать. Низкое энергопотребление и малое количество выхлопных газов BRT эффективно сокращают выбросы выхлопных газов автомобилей. Вместе с тем, по сравнению со многими социальными транспортными средствами, автотранспортные средства BRT, в конце концов, являются весьма редкими, некоторые из них составляют лишь одну тысячную общественных транспортных средств, а их подъездные пути составляют 30% всей дорожной инфраструктуры. Смешанное движение, где сочетаются как автомобили, велосипеды, так и пешеходы, становится все более распространенным и даже расширяется, и переходит на дороги в близлежащих районах. Это приводит к тому, что общественные транспортные средства часто замедляются и бездействуют, повышая уровень шума в окружающей среде, энергопотребления и выброса загрязняющих газов. В условиях затора, автомобили выделяют в 5-6 раз больше выхлопного газа, чем при нормальном движении. BRT является топливно-энергетической системой общественного транспорта, которая связана с функционированием топливно-энергетической системы крупных общественных транспортных средств и не имеет моделей развития, основанных на низком потреблении энергии, низком загрязнении и низких выбросах, так как не имеет доступа к низкочастотным технологиям общественного транспорта [57].

## 2) Отличия в развертывании BRT систем

Реальность показывает, что города, в которых действует система BRT, сталкиваются с разного рода неудобствами, которые вызывают неудобства для жителей. В настоящее время ни один город в мире не имеет полной интегрированной системы BRT, которая бы успешно сочеталась с близлежащими городами.

## 3) Высокие расходы

Сравнивая только один маршрут, стоимость строительства BRT очень низка, но срок службы транспортного средства короче, чем у легкорельсового транспорта (у скоростного трамвая срок службы в 3 раза выше, чем у BRT) [58]. В случае более низкого трафика, общие эксплуатационные расходы BRT очень низки, а время



строительства короткое, но, когда объем трафика увеличивается, эксплуатационные расходы BRT и внешние затраты также стремительно возрастают. Когда спрос близок к максимальному возможному спросу BRT, то общие эксплуатационные расходы на использование легкорельсового транспорта лишь немного выше, чем у BRT. Но если потребность в трафике на каждом маршруте невелика, BRT может обеспечить более высокое покрытие при той же стоимости, а если объем меньше, то система BRT также может использовать меньшее количество транспортных средств для снижения затрат и поддержания достаточно плотного пассажиропотока.

#### 4) Загрязнение и шум

Легкорельсовый транспорт использует электричество, загрязнение воздуха по большей степени ограничивается электростанциями, а уровень шума при этом сравнительно низкий. BRT также может использовать легкие автомобили со сверхнизким уровнем загрязнения и малошумные, либо гибридные транспортные средства, однако их стоимость выше, чем у обычных транспортных средств. Электричество также может использоваться в качестве источника энергии (электромобили или троллейбусы), но стоимость строительства при этом намного выше, чем у традиционных видов энергии, однако все равно дешевле, чем у легкорельсового транспорта.

#### 5) Качество услуг общественного транспорта

Время ожидания на автобусных остановках относительно велико по сравнению с такси.

С быстрым ростом числа владельцев автомобилей, проблема пробок на дорогах постепенно стала вызывать всеобщую обеспокоенность. В последние годы быстрое увеличение количества личных автомобилей еще больше стимулировало рост спроса на перевозки и оказало большое негативное влияние на городской транспорт. Пробки на дорогах стали важной проблемой, ограничивающей городское развитие. Одна из основных причин, по которой система BRT не получила широкого распространения, заключается в том, что политика распространения данного транспорта недостаточно хорошо понята и широко не пропагандируется [59]. Многие люди считают «приоритет автобуса» пустой тратой

дорог и средств, особенно когда другие транспортные средства стоят в очереди, чтобы проехать. Кроме того, существует большая критика в отношении бесперебойной работы общественного транспорта. Здесь нужно понимать, что эффективность трафика измеряется людьми, и чем больше людей проходит за единицу времени, тем выше эффективность трафика. Пассажировместимость автобуса в десять или даже десятки раз больше, чем у легкового автомобиля, поэтому повышение рабочей скорости автобусов может значительно улучшить транспортировку, удовлетворить потребности движения и уменьшить загруженность дорог. При разработке системы BRT необходимо полностью учитывать ситуацию с городским землепользованием и располагать линии BRT в районах с высокой интенсивностью движения и плотностью пассажиров, чтобы система BRT могла максимально охватить существующее распределение пассажиропотока.

#### **4. Перспективы развития BRT**

Схема дорожного движения находится на верхних уровнях исследования проектов внедрения BRT, соединяя схему планирования, эксплуатации, инженерного проектирования и управления движением. Схема движения реализует цели схемы планирования, уточняет и оптимизирует ее в соответствии с ограничениями ресурсов транспортной системы, после чего, на этой основе схема планирования получает обратную связь. Оптимальное сочетание рабочих маршрутов, выбор операционных объектов и билетная система оказывают важное влияние на схему проектирования движения, а схема проектирования движения также является важным ограничением на рабочее состояние системы. Взаимодействие и сочетание планирования дорожного движения и управления движением вместе составляют оптимизацию временных и пространственных ресурсов перекрестка.

BRT это не просто автобус большой вместимости, проезжающий по выделенной автобусной полосе. Следует признать, что передовая и совершенная современная концепция обслуживания пассажиров является основой широкого успеха BRT во всем мире, а модернизация и дальнейшее усовершенствование, это

только форма и средства реализации передовой концепции обслуживания BRT.

Многие системы железнодорожного транспорта спроектированы с учетом пассажиропотока в часы пик. Хотя они удовлетворяют потребность в пассажиропотоке, они часто не могут получать достаточную поддержку пассажиропотока на протяжении длительного времени, что приводит к высоким эксплуатационным расходам. И наоборот, если проект основан на среднем пассажиропотоке, это приводит к невозможности удовлетворить потребность в пассажиропотоке в часы пик. Система BRT имеет в этом отношении более гибкое преимущество и может быть скорректирована за счет формирования интервала отправления и группировки транспортных средств.

Модель TOD (транзитно-ориентированная) представляет собой модель развития городских территорий, путем направления ресурсов и вложений в рациональное развитие города. Система экспресс-автобусов также имеет свою определенную направленность движения, поскольку транспортная система является важной частью системы BRT [60].

Удобство применения технологий определяет успех или неудачу всей автобусной системы. Привлекая большее количество пассажиров, настройка системы трансфера должна полностью учитывать оригинальную автобусную систему. Многие страны приняли различные меры в соответствии со своими потребностями. Например, Япония разработала безбарьерные службы на привокзальных площадях, чтобы облегчить передвижение пожилых людей. Сингапур стремится тесно связать работу людей, покупки и другие виды деятельности с системой общественного транспорта, контролируя требуемое жителями пешеходное расстояние между различными видами транспорта в разумных пределах.

Установка светофоров и использование дорог стали привычными, из-за чего их трудно изменить. BRT же, не может охватить все станции города, поэтому для повышения качества услуг общественного транспорта в городе требуется разумное планирование и развертывание других транспортных систем. Кроме того, чтобы действительно добиться приоритета автобуса, других автомобилей и такси,

необходимо обсудить разумные меры по эксплуатации транспортных средств. Наконец, создание системы требует большого количества вложений, и необходимо рассмотреть вопрос о том, как решить вопрос с источниками финансирования. Есть также операторы, которые устанавливают интеллектуальные системы и постоянно совершенствуют построение интеллектуальных систем, и все это необходимо контролировать, принимая определенные меры.

BRT должен быть важной частью основной составной сети городского общественного транспорта и должен быть тесно связан и дополнен сетью железнодорожного транспорта. Линии BRT и традиционная автобусная сеть должны быть взаимосвязаны, чтобы сформировать эффективную систему перевозки пассажиропотока. Автобусная сеть BRT находится на верхнем уровне автобусной иерархии и имеет пропускную способность, близкую к легкорельсовому транспорту. Только обеспечив достаточно высокий уровень обслуживания, больше путешественников смогут воспользоваться этим видом транспорта. Это требование удовлетворяет потребность в организации трафика, повышая надежность, пунктуальность, комфорт и удобство системы.

Система BRT сочетает в себе режим работы железнодорожного транспорта и характеристики обычного общественного транспорта, использует передовые средства общественного транспорта и отличные сервисные услуги, а также обеспечивает удобные, эффективные и высококачественные услуги для пассажиров благодаря выделенному дорожному пространству и интеллектуальным транспортным технологиям. Новый вид общественного транспорта с высокими техническими характеристиками, высокой эффективностью, низким энергопотреблением и уровнем загрязнения окружающей среды, а также низкой стоимостью, обладает не только присущими железнодорожному транспорту характеристиками (высокая пропускная способность и скорость), но также сохраняет традиционные преимущества обычного общественного транспорта (гибкость и экономичность).

Бортовое оборудование и диспетчерский командный центр являются важными компонентами интеллектуальной автобусной системы, но в случае ограниченных

средств, сначала следует построить первое, то есть установить бортовые терминалы на большем количестве линий, чтобы интеллектуальная отправка покрывала как можно больше линии и станций. Что касается диспетчерского командного центра, он может быть построен в соответствии с более низким стандартом. Единственное требование заключается в гарантировании выполнения основной диспетчерской функции.

В связи с непрерывным развитием интеллектуального общественного транспорта проблемы промышленной модели и кадрового потенциала являются проблемами, вызывающими наибольшие опасения при развертывании подобных систем. Построение интеллектуальной системы общественного транспорта заключается не только в увеличении количества оборудования, но и в том, чтобы включать в себя множество элементов управления информацией, например, управление бизнес-процессами предприятия. Интеллектуальный менеджмент берет в качестве носителя передовое информационно-техническое оборудование и требует владения определенными навыками работы с информационным оборудованием. Общий уровень заработной платы в автобусной отрасли ниже среднего, а возрастная структура сотрудников – ниже среднего рабочего возраста. Предприятиям трудно удерживать профессиональный и технический персонал с многолетним опытом.

Изоляция между системами привела к феномену «острова информации» – разницы между доступом к информации и отсутствию интеграции с другими системами, что не способствует дальнейшему развитию интеллектуального управления общественным транспортом.

При снижении трудоемкости управленческого персонала, интеллектуальная система общественного транспорта сыграла очень важную роль в управлении персоналом, эффективно сдерживая возникновение крупных аварий и дорожно-транспортных происшествий, а также обеспечивая безопасное вождение.

Основные элементы эффективности обслуживания системы BRT в основном включают 6 компонентов, а именно рабочие полосы BRT, станции, специализированные транспортные средства, системы сбора платы за проезд,

интеллектуальные транспортные технологии, а также организацию и управление полос движения.

1) Рабочие полосы BRT. В зависимости от степени разделения транспортных средств и расположения выделенных полос, полосы, отведенные под BRT делится на 4 категории: полосы смешанного движения, выделенные полосы вне дороги, выделенные центральные полосы и специализированные дороги.

2) Выделенная станция. Специальная станция BRT использует концепцию системы железнодорожного транспорта, то есть метод проверки билетов вне поезда, что повышает скорость посадки и высадки пассажиров, сокращает время стоянки и, таким образом, повышает скорость работы всей системы.

3) Специализированные транспортные средства. Усовершенствование автомобилей BRT по сравнению с традиционными автобусными транспортными средствами в основном проявляется в следующих аспектах:

1. Улучшение пассажироместимости транспортного средства,
2. Повышение комфорта пассажиров;
3. Повышение безопасности и надежности эксплуатации транспортных средств.

4) Системы сбора платы за проезд. Система взимания платы в BRT в основном делится на ручное и автоматическое взимание платы, а также может быть реализована передачей билетов с другим трафиком.

5) Применение технологии ИТС. Применение интеллектуальной транспортной технологии в системе BRT включает следующие аспекты:

1. Динамическое планирование. Динамическое планирование транспортных средств реализуется с помощью технологии автоматического позиционирования транспортных средств, а статистика пассажиропотока и данные о поездках реализуются с помощью системы взимания платы за проезд.

2. Технология вспомогательного вождения автомобиля. Технология беспилотного вождения помогает автомобилю оставаться плавным и быстрым при движении на различных участках дороги, а технология остановки повышает точность парковки автомобиля на станции.

3. Технология приоритета сигнала. Основываясь на интеллектуальной технологии управления и технологии автоматического позиционирования транспортных средств, автомобили BRT имеют приоритет при проезде на перекрестках.

4. Информационные услуги для пассажиров. Предоставляет информацию о работе станций и поездов в режиме реального времени, а также информацию об услугах системы BRT через Интернет, телефон или терминалы запросов в пунктах сбора и распределения пассажиров.

б) Организация и управление полос движения. Эффективная работа системы BRT неотделима от научной организации работы и управления. Оперативное управление системой BRT в основном отражается в использовании передовых технологий для создания центрального диспетчерского центра и для достижения единой диспетчеризации транспортных средств в системе.

В зависимости от степени отделения транспортных средств BRT от другого транспорта и расположения выделенных полос, полосы BRT делится на 4 категории.

Таблица 1.2 – Виды выделенных полос движения для системы BRT

	Выделенный уровень	Преимущества	Недостатки
1	Полоса смешанного движения	Легко реализовать и развернуть	Подвержена помехам со стороны других транспортных средств
2	Выделенная полоса вне дороги	Удобна для расположения автобусных остановок; соответствует привычкам пассажиров	Мешает правосторонним транспортным средствам, а также въезжающим и выезжающим такси; неудобна для автобусов, поворачивающих налево
3	Выделенная центральная полоса дороги	Защита от правосторонних такси, транспортных средств и немоторизованных транспортных средств, движущихся на высоких скоростях	Влияет на проезд левосторонних транспортных средств; неудобное местоположение станций, необходимо перестраивать левосторонние транспортные средства
4	Специализированные дороги BRT: выделенная дорога; надземная дорога; подземный туннель	Хорошая операционная среда, можно легко гарантировать, что на работу системы BRT не повлияют какие-либо действия со стороны.	Ограничены условиями дорожной сети, реализация сложна, а стоимость (реконструкция) высока.

Конструкции станций классифицируются как открытые и закрытые, с высокими или низкими платформами. Выделяются открытая или двустворчатая дверь, распашная дверь внутрь, распашная дверь наружу или боковая раздвижная дверь и другие конструкции, в зависимости от конструкции платформы и компоновки вагона.

Таблица 1.3 – Доступные для улучшения характеристики и особенности BRT станций

Наименование характеристик	Главная особенность	Цель
Увеличение количества стоянок на станции	Удовлетворить обслуживание нескольких автобусов, прибывающих на станцию одновременно	Улучшение пропускной способности
Увеличение полос обгона на станциях	Внедрение и работа станции обгона автомобиля	Увеличение скорости работы и пропускной способности
Строительство независимых станций	Предоставление пассажирам более комфортных мест ожидания и платформ для размещения более современных станционных объектов.	Улучшение комфорта
Интегрированная высота платформы	Возможность контроля уровня посадки и высадки пассажиров	Увеличение скорости работы
Интеграция интеллектуальных технологий	Информация о поездке пассажиров в режиме реального времени и информация о работе транспортного средства	Гарантирование эксплуатационной надежности
Интегрированная система проверки билетов	Продажа билетов вне автомобиля	Увеличение скорости работы
Комплексное развитие станции	Сочетание транспорта и торговли для достижения комплексного землепользования	Устойчивое развитие

Транспортные средства BRT являются важным фактором, влияющим на скорость работы системы, пропускную способность и улучшение традиционной автобусной системы BRT для транспортных средств, что в основном отражает комплексный уровень обслуживания.

Таблица 1.4 – Доступные для улучшения характеристики транспортных средств в системе BRT

Наименование характеристик	Главная особенность	Цель
Внедрение	Одно- или двухнавесные	Увеличение



обычных/крупногабаритных автобусов	автомобили	пассажировместимость автомобиля
Увеличение дверных (входных/выходных) пространств	Улучшение доступа к транспортному средству и из него.	Увеличение скорости притока пассажиров
Улучшение дизайна интерьера	Удобные сидения и оптимизация пространства для достижения максимального комфорта	Повышение комфорта пассажиров
Улучшение внешнего вида транспорта	Уникальный дизайн каждого транспортного средства	Укрепление имиджа системы
Внедрение передовых технологий помощи водителю	Сочетание интеллектуальных транспортных технологий для точного позиционирования автомобиля и автоматической навигации	Увеличение скорости транспорта
Принятие новой экологически чистой системы	Выбор экологически чистых видов топлива (электричество, природный газ и т. д.)	Увеличение скорости транспорта и уменьшение загрязнения окружающей среды

Для автобусных маршрутов и станций с концентрированным пассажиропотоком необходимо увеличить полосы обгона на станции BRT, а также предусмотреть такие автобусы (экспрессы), которым не нужно останавливаться для обгона. Как правило, используется шахматная компоновка станций, а общая ширина автобусной дороги уменьшается за счет смещения платформы в сторону. Благодаря увеличению количества полос для обгона, увеличивается и транспортный поток, это также приводит к тому, что автобусы меняют полосу движения. Эти обгоняющие транспортные средства не могут подбирать и высаживать пассажиров, таким образом, они не могут улучшить способность станции удовлетворять спрос пассажиров.

Система BRT требует определенного уровня пассажиропотока, а недостаточный пассажиропоток приведет к недостаточным преимуществам и использованию дорожных ресурсов выделенными автобусными полосами, поэтому в таком случае нет необходимости строить систему BRT. То есть, для строительства подходит город с общей плотностью населения от 10 до 20 тысяч человек на квадратный километр. Принято считать, что BRT может проявить свои наилучшие преимущества, когда потенциальный пассажиропоток достигает от 10 до 20 тысяч

человек в час.

При планировании маршрутов BRT, большинство участков дороги реализуют «запрет на левостороннее движение». Хотя в определенной степени достигается приоритет автобуса, а скорость и эффективность работы улучшаются, это также может привести к увеличению интенсивности движения на ответвлениях дороги, вызывая заторы и влияя на работу системы общественного транспорта.

### **Выводы**

Текущий статус внедрения BRT показывает благоприятную тенденцию развития. Как правительство, так и предприятия активно продвигают строительство BRT, чтобы повысить уровень обслуживания и охват общественного транспорта. Благодаря постоянному прогрессу и инновациям в области технологий, BRT станет более эффективным, экологически чистым и будет лучше служить населению. Согласно исследованию 2024 года, китайская индустрия скоростных автобусных перевозок (BRT) все еще имеет потенциал для роста в будущем. С ускорением процесса урбанизации и ростом спроса на общественный транспорт, BRT, как важная часть общественного транспорта, имеет лучшие перспективы развития. Есть некоторые недостатки в реализации BRT в Китае, но преимущества BRT как высокоэффективного вида общественного транспорта по-прежнему очевидны. Учитывая имеющиеся проблемы, соответствующие ведомства могут повысить качество обслуживания и удобство использования BRT, оптимизировав режим работы и улучшив строительство инфраструктуры.

## **2 Теоретико-методологические обоснования создания BRT**

### **2.1 Методы организации BRT**

В рамках изучения данной тематики было обнаружено, что благодаря приведенным выше исследованиям выявляется необходимость использовать реальный мониторинг и корректировку мониторинга времени BRT и интервалов между транспортными средствами. С помощью интеллектуальной транспортной системы можно значительно повысить удовлетворенность пассажиров и реализовать реальную автономность автобуса. Адаптивное управление является наиболее подходящим принципом целевого управления [13].

Существуют различные способы, позволяющие добиться регулирования интервала отправления автобусов BRT. Один из них – это использование архивных данных, таких как корректировка частоты выхода автобуса через систему GLONASS и BDS, балансировка и структурирование затрат на функционирование системы BRT и др [50,56]. В то же время проводится исследование автобусных операций, в которых используется динамическое планирование для автобусов [14]. Существуют многоцелевые методы оптимизации, позволяющие гарантировать, что каждый автобусный маршрут имеет соответствующую частоту отправления в разное время.

Существует способ рассчитать интервал распределения посредством создания модели поведения транспорта. Рекомендуется применение генетического алгоритма недоминирующей сортировки (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm-2, NSGA-2)[2, 51]. Для последующих исследований были разработаны стратегия многоточечного динамического кроссовера и метод эвристического оператора вариации.

В то же время существуют также методы исследования, основанные на оптимизации интервала автобусов с целью удовлетворенности пассажиров транспортных средств. Есть такие модели исследований, которые оптимизируются посредством многих итераций. Они также применяются с быстрым генетическим алгоритмом (GA – Genetic Algorithm)[78]. Они включают в себя оптимизацию и

корректировку частоты движения автобусов под влиянием различных факторов.

При изучении интервала отправления автобуса проводится исследование алгоритма частоты отправления автобуса, основанного на методе комплексного интегрирования (SCA-UA Shuffled Complex Evolution) [6]. В случае изучения частоты автобусов было также обнаружено, что генетический алгоритм иммунного клонирования также может решить эту проблему автобусов [38]. На основании анализа законов о распределении вероятности транспортного потока, некоторые эксперты предложили модель отъезда по перекрестному сечению, подходящую для моделирования микротрафиков на основе пуассоновского распределения (Poisson distribution)[52].

В то же время есть исследовательские модели, которые используют табу поиск (Tabu Search – TS)[32]. Существует исследовательская модель с использованием аналогового отжига (Simulated Annealing – SA) [11]. Существуют также модели, которые оптимизируются путем планирования на основе искусственных иммунных алгоритмов.

## **2.2 Модели расчёта BRT**

**Настройка частоты отправления автобусов с использованием системы (ГЛОНАСС, BDS).**

GLONASS и BDS могут собирать информацию о работе транспортного средства в режиме реального времени, включая скорость в режиме реального времени, время задержки на остановочных пунктах и перекрестках и т.д [33]. Способ расчета поездки пассажира путем объединения данных технологий, позиционирования с технологией IC-карты пассажира и информации о работе транспортного средства является наиболее оптимальным вариантом [44].

Рассчитав время остановки на остановочном пункте по данным электронного билета по IC-карте пассажира автобуса, можно рассчитать количество пассажиров, ожидающих автобус на станции [42]. Все автобусы на данной линии оснащены бортовыми системами (GLONASS или BDS), которые собирают и передают информацию о работе транспортного средства, после чего информация в режиме реального времени поступает в центр управления автобусов [24,37]. Необходимо

рассмотреть создание модели частоты отправления автобусов в рамках планирования системы с точки зрения двух аспектов: пассажиров и операторов автобусов [63,67,68].

С точки зрения пассажиров, чем выше частота отправления, тем лучше, поскольку сокращается время ожидания и скопление транспортных средств на станции; а с точки зрения операторов автобусов, чем выше операционная прибыль транспортного средства, тем лучше, поэтому в случае с определенным общим количеством пассажиров, чем ниже частота, тем лучше.

Создание модели алгоритма представляет собой следующую структуру и может быть обусловлена нижеперечисленными формулами:

Коэффициент использования пассажирских мест:

$$W_1 = \frac{R\bar{S}}{fC_{max}L} * 100\%, \quad (1)$$

Где:

$W_1$  – средний пассажиропоток автобусов, заполняемость пассажирами;

$R$  – сумма коэффициентов прибытия пассажиров на все автобусные остановки на маршруте за период оптимизации;

$\bar{S}$  – среднее расстояние, пройденное пассажирами на маршруте;

$f$  – частота отправления;

$C_{max}$  – максимальная вместимость транспортного средства;

$L$  – длина автобусного маршрута.

Расчет времени ожидания пассажирских автобусов на остановках:

Согласно расписанию, время ожидания считается равным обратному отсчету до частоты отправления, то есть интервалу отправления, поэтому интервал отправления должен соответствовать максимальному времени ожидания пассажира.

$$a \leq \frac{1}{f} \leq b, \quad (2)$$

Где:

$a$  – минимальный интервал отправления, который в основном зависит от максимальной пропускной способности линии и определяется компанией,

эксплуатирующей автобусы;

$b$  – максимальное время ожидания для пассажиров;

$f$  – частота отправления.

Экономические преимущества эксплуатации автобусов:

Экономические выгоды от эксплуатации делятся на постоянные затраты автобусных компаний и эксплуатационные расходы автобусов. Среди них, фиксированная плата представляет собой определенную величину. Стоимость проезда на автобусе пропорциональна частоте отправления автобуса.

$$q^T = p_0 \sum_{i=1}^n \int_0^T R_i(t) dt - \bar{N} P_1 - A, \quad (3)$$

Где:

$q^T$  – величина экономической выгоды от эксплуатации автобусов общего пользования в течение цикла оптимизации  $T$ ;

$p_0$  – стоимость проезда (по системе одного билета);

$R_i(t)$  – вероятность прибытия пассажиров в момент  $t$  на станцию  $i$ ;

$\bar{N}$  – частота отправления в течение цикла;

$P_1$  – эксплуатационные расходы каждого транспортного средства в одну сторону;

$A$  – фиксированная стоимость в течение цикла эксплуатации транспортных средств общественного транспорта.

Уровень комфорта пассажиров может соответствовать уровню комфорта в автомобиле, то есть уровню обслуживания при эксплуатации автобуса и других общественных видов транспорта [7]. Достижение эффективности ставится в качестве первой цели, а определенные весовые факторы определяются отдельно.

Частота отправления и минимальная частота отправления в течение приемлемого для пассажиров времени ожидания автобуса будут установлены в качестве целевого показателя третьего уровня, тем самым им присваивается определенный вес.

Модель оптимизации частоты отправления автобусов в соответствии с методом расписания системы (GLONASS, BDS) выглядит следующим образом:

$$\min F = P_1(\omega_1 d_1^+ + \omega_2 d_2^-) + P_2(d_3^+ + d_4^-), \quad (4)$$

$$s. t \begin{cases} \frac{R\bar{S}}{f C_{max} L} * 100\% + d_1^- - d_1^+ = k_1 \\ p_0 \sum_{i=1}^n \int_0^T R_i(t) dt - \bar{N}P_1 - A + d_2^- - d_2^+ = k_2 \\ \frac{1}{f} + d_3^- - d_3^+ = b \\ \frac{1}{f} + d_4^- - d_4^+ = a \end{cases}, \quad (5)$$

Где:

$\omega_1$  и  $\omega_2$  – весовые коэффициенты;

$k_1$  – максимальная степень полной загрузки транспортного средства, приемлемая для пассажиров;

$k_2$  – минимальная приемлемая эффективность работы компании, эксплуатирующей автобусы в течение цикла T;

Допущения модели заключаются в следующем:

а) Система планирует поездки автомобилей в реальном времени, чтобы согласовать начальное расстояние с интервалом отправления, в то время как сама модель рассматривает только случай однопоточного автобуса.

б) Скорость транспортного средства на том же участке дороги определяется в период принятия решения, а во время эксплуатации не возникает аварийных ситуаций.

в) На транспортные средства, находящиеся на одной линии, не влияют другие транспортные средства на одной и той же автобусной остановке, а скорости ускорения и замедления транспортных средств одинаковы.

г) Задержки на автобусных остановках в значительной степени зависят от времени посадки пассажиров, поскольку для посадки в автобус пассажирам необходимо приобрести билет, а в автобусе имеется только один автомат по приему IC-карт, система очередей у единой стойки обслуживания и выход из автобуса через двойные двери.

д) Стоимость проезда на всю поездку разовая, а способ покупки билета – в основном электронная кредитная карта.

## 2. Генетические алгоритмы

Проектирование частот отправления для сетей автобусных маршрутов является довольно сложной задачей, и, учитывая сложность проблемы, для ее решения был разработан генетический алгоритм [3,34,41].

В этом параграфе мы рассмотрим построение модели одновременной оптимизации сети автобусных маршрутов, частоты отправления для минимизации времени в пути и разработаем генетический алгоритм для решения этой задачи [42]. Эта модель в основном используется для одновременной оптимизации автобусных маршрутов и частоты отправления.

### (1) Построение модели

#### 1) Время ожидания прибытия автобуса

Время ожидания — это время ожидания пассажиром какого-либо транспортного средства после прибытия на автобусную остановку, включая время выхода пассажиров. Среднее время ожидания для пассажиров, прибывающих на автобусную остановку, составляет:

$$E(w) = \frac{E(H)}{2\left[1 + \frac{V(H)}{E^2(H)}\right]}, \quad (6)$$

Где:

$w$  – время ожидания;

$E(w)$  – среднее время ожидания;

$E(H)$  – среднее значение интервала отправления;

$V(H)$  – отклонение интервала отправления.

Расчет общего времени ожидания

$$Z_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n x_{ij} E(w)_{ij}, \quad (7)$$

Где:

$Z_1$  – общее время ожидания пассажиров;

$x_{ij}$  – пассажиропоток с автобусной остановки  $i$  на автобусную остановку  $j$ ;



$E(w)_{ij}$  – среднее время ожидания пассажиров от автобусной остановки  $i$  до автобусной остановки  $j$ ;

$n$  – общее количество остановок.

## 2) Общее время работы автобуса (в пути)

Время движения автобуса рассчитывается от пункта отправления до пункта назначения и вычисляется только после посадки пассажиров в автобус. Оно также зависит от длины автобусного маршрута на начальной и конечной станциях и скорости самого автобуса.

$$Z_2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n \frac{x_{ij} l_{ij}}{v}, \quad (8)$$

Где:

$Z_2$  – общее время работы автомобиля;

$l_{ij}$  – длина автобусного маршрута от остановки  $i$  до остановки  $j$ ;

$V$  – средняя рабочая скорость автобуса.

## 1.3 Целевая функция

$$\min Z = Z_1 + Z_2, \quad (9)$$

Где:

$Z$  – общее время в пути на автобусе

## (2) Ограничения работы модели

Ограничения заключаются в следующем и представлены формулой:

$$\begin{cases} l_{min} \leq l \leq l_{max} \\ n_{min} \leq n \leq n_{max} \\ t = T \\ f_{min} \leq f \leq f_{max} \\ n_v \leq N_{max} \end{cases}, \quad (10)$$

Где:

$l_{min}$  – минимально допустимое расстояние между двумя автобусными остановками;

$L$  – расстояние между двумя автобусными остановками;

$l_{max}$  – максимально допустимое расстояние между двумя автобусными

остановками ;

$n_{min}$  – минимальное количество автобусных остановок на маршруте.;

$n$  – количество автобусных остановок на маршруте;

$n_{max}$  – максимальное количество автобусных остановок на маршруте;

$t$  – переменная для количества автобусных маршрутов в районе планирования ;

$T$  – количество транспортных маршрутов на территории фактического планирования ;

$f_{min}$  – минимальное допустимое значение частоты отправления ;

$f$  – частота отправления автобусов по маршруту  $i$  ;

$f_{max}$  – максимальное допустимое значение частоты отправления ;

$n_v$  – общее количество фактически оборудованных транспортных средств ;

$N_{max}$  – максимальное количество транспортных средств, разрешенное на данной территории.

(3) Гипотеза и допущения генетического моделирования

1) Известна планировка участка планируемой зоны и количество запланированных маршрутов;

2) Случайное прибытие пассажиров ;

3) Среднее время ожидания пассажиров составляет половину времени между двумя соседними остановками ;

4) Пассажиры отдают приоритет прямым маршрутам ;

5) Время остановки транспортного средства не рассчитывается ;

6) Выбор маршрута путешествия пассажира основан на принципе кратчайшего пути.

### **3. Модель игрового анализа частоты отправления автобуса**

Процесс анализа теории игр основан на характеристиках таких концепций, как борьба, соревнование или сотрудничество, а также на рациональном мышлении всех участников игры [46]. Теория может предсказывать поведение участников

игры или разделять их интересы на основе определенной информации, а также может дополнительно оптимизировать поведение каждого из них.

Равновесие Нэша: рациональная комбинация стратегий в ходе игры. В этой комбинации каждый аутсайдер не может в одностороннем порядке изменить свою стратегию, чтобы получить более высокую прибыль. Характеризуемая им комбинация стратегий является наилучшим ответом каждого аутайдера на стратегии, выбранные другими аутайдерами, то есть у аутсайдеров нет достаточных оснований для нарушения этого равновесия. В случае с частотой отправления автобусов оператор автобуса и человек, отвечающий за спрос на автобусы, представляют собой игру с выбором стратегии.

### (1) Построение модели

На рисунке показана древовидная диаграмма тех, кто нуждается в общественном транспорте.

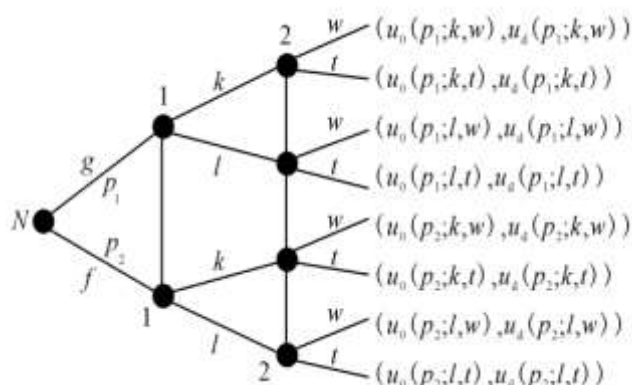


Рисунок 2.1 - Древовидная карта людей, нуждающихся в общественном транспорте

Где:

g – высокий пассажиропоток;

f – низкий пассажиропоток;

p1 – высокая вероятность пассажиропотока;

p2 – низкая вероятность пассажиропотока;

k – высокочастотная подача;

l – отклонение низкой частоты;

w – время ожидания автобуса;

$t$  – количество людей вне автобуса;

$u_d$  – способ оплаты для пользователей автобусов;

$u_0$  – способ оплаты для оператора автобуса.

Частота отправления представляет собой частоту отправления автобуса за определенную единицу времени. Когда  $n_i$  подсчитывается как количество отправок автобуса в определенный день или в течение определенного периода времени, то формула расчета имеет вид:

$$n_i = (h * 60) / t_{fi}, \quad (11)$$

Где:

$i$  – количественная форма стратегии отправления с точки зрения оператора автобуса, принимающего решения: 1 – представляет собой высокочастотное отклонение, 2 – низкочастотное отклонение;

$h$  – время работы автобуса, ч;

$t_{fi}$  – интервал отправления, мин/смена.

Расходы тех, кто нуждается в общественном транспорте, принимают отрицательное значение в качестве расчетной величины их оплаты. Их необходимо рассчитать с учетом различных характеристик путевых расходов и времени в пути. В зависимости от влияния пассажиропотока, при различном выборе одного пассажира, преимущества автобусных операторов после отправления также неодинаковы. Расчет дохода осуществляется по следующей формуле:

$$\begin{cases} u_{o(i,j,\alpha)} = n_i(R_s - R_\omega - R_{ej}) + \alpha R_p \\ u_{d(i,j,\alpha)} = -\alpha \left[ R_p + \beta \left( t_{pj} + \frac{t_i}{2} \right) \right] - (1 - \alpha)(R_t + \beta t_{tj}) \end{cases} \quad (12)$$

Где:

$u_{o(i,j,\alpha)}$  – доход операторов общественного транспорта при разных пассажиропотоках и разной частоте отправления;

Значение  $j$  напрямую связано с пассажиропотоком. Когда берется 1, это означает высокий пассажиропоток, а 2 – низкий пассажиропоток;

$\alpha$  – переменная, равная 0 или 1, представляет собой количественную оценку

стратегии выбора транспортных средств пассажирами;

$R_s, R_\omega, R_{ej}$  и  $R_p$  – сумма субсидий на автобус за автобусный цикл, оплата труда водителя за цикл, эксплуатационный расход транспортного средства за цикл и стоимость поездки;

$u_{d(i,j,\alpha)}$  – доход от потребностей в общественном транспорте, соответствующий различной частоте отправления автобусных операторов в разных состояниях пассажиропотока;

$\beta$  – коэффициент стоимости времени, который указывает на восприятие пассажиром ценности времени во время ожидания автобуса и во время поездки;

$t_{pj}$  – время путешественников в пути при различных условиях пассажиропотока;

$t_i$  – интервал отправления с разной частотой;

$\frac{t_i}{2}$  – среднее время ожидания автобуса;

$R_t$  – стоимость выбора индивидуального транспорта для поездки;

$t_{tj}$  – время использования необщественного транспорта для путешественников в различных условиях пассажиропотока.

Необходимо рассчитать матрицу средневзвешенных доходов всех участников игры с распределением вероятностей. При этом любое изменение параметра может повлиять на результат игры. Поскольку посторонний  $q$ , участвующий в игре, поймет свой собственный тип  $\theta_q$  и стратегию других  $s^*_{-q}(\theta_{-q})$ , основываясь на своей собственной стратегии  $s^*_q(\theta_q)$  и выводах других посторонних типов  $p_{-q}(\theta_q)$ , чтобы максимизировать свою ожидаемую полезность, необходимо произвести расчет:

$$s^*_q(\theta_q) \in \arg_{s_q} \max \sum_{\theta_{-q}} p_{-q} \left( \frac{\theta_{-q}}{\theta_q} \right) u_q (s_q, s^*_{-q}(\theta_{-q}), (\theta_q, \theta_{-q})) \quad (13)$$

Способ оплаты между группой спроса на автобус и оператором автобуса рассчитывается следующим способом:

$$\begin{cases} u_{o(i,j)} = n_i(R_s - R_\omega - R_{ej}) + \sum_{m=1}^N \varepsilon_m R_p \\ u_{D(i,j)} = -\sum_{m=1}^N (\varepsilon_m (R_p + \beta_m (\frac{t_i}{2} + t_{(m,pj)})) + (1 - \varepsilon_m)(R_{mt} + \beta_m t_{(m,tj)})) \end{cases} \quad (14)$$

Где:

$u_{o(i,j)}$  и  $u_{D(i,j)}$  – преимущества операторов общественного транспорта и групп спроса на общественный транспорт при различных вариантах выбора соответственно;

$N$  – общее число людей, нуждающихся в общественном транспорте;

$\varepsilon_m$  – выбор средств передвижения для  $m$ -го пользователя автобуса со значением 1 или 0, что означает выбор автобуса или не автобуса;

$\beta_m$  – коэффициент временной цены  $m$ -го пассажира, пользующегося спросом на автобус;

$R_{it}$  – стоимость проезда не на автобусе для  $m$ -го пассажира, нуждающегося в общественном транспорте;

$t_{(m,pj)}$  и  $t_{(m,tj)}$  – время, когда  $m$ -му пассажиру необходимо пересечь на автобус или не автобус в разных условиях пассажиропотока.

Если среднее значение используется в качестве репрезентативного для характеристик данных, то метод расчета дохода может быть дополнительно упрощен до:

$$\begin{cases} u'_{o(i,j,p_d)} = n_i(R_s - R_\omega - R_{ej}) + p_d N R_p \\ u'_{D(i,j,p_d)} = -N(p_d [R_p + \bar{\beta}(\frac{t_i}{2} + \overline{t_{pj}})]) + (1 - p_d)(\overline{R_t} + \bar{\beta} \overline{t_{tj}}) \end{cases} \quad (15)$$

Где:

$u'_{o(i,j,p_d)}$  и  $u'_{D(i,j,p_d)}$  – представляют собой упрощенный расчет выгод для операторов автобусов и групп спроса на автобусы при различных условиях, соответственно;

$p_d$  – отношение фактического числа людей, пользующихся автобусом с разной частотой отправления, к общему числу людей, нуждающихся в общественном транспорте;

d необходимо принимать за 3 при запуске на высоких частотах и 4 при запуске на низких частотах;

$\bar{\beta}$ ,  $\bar{R}_t$ ,  $\bar{t}_{pj}$  и  $\bar{t}_{tj}$  – соответственно представляют собой среднее значение эксплуатационного расхода одноместных транспортных средств, коэффициент временной цены для групп пассажиров, стоимость поездок не на автобусе, время поездок на автобусе и время поездок на других транспортных средствах при различных пассажиропотоках.

При необходимости контролируемые переменные могут быть скорректированы для получения идеального результата игры. Операторы автобусов должны полагаться на определенные данные опроса для выбора, оптимизации и организации различных частот отправления.

(2) Допущения модели:

1) Пассажироместимость автобуса может соответствовать потребностям автобуса, то есть отсутствует явление ожидания следующего автобуса;

2) В условиях дорожной сети количество средств передвижения, не связанных с автобусом, может удовлетворить потребности пассажиров (их спрос на путешествия во времени) ;

3) В условиях дорожной сети на расстояние до начала движения влияет только частота и интервал отправления;

4) Люди из группы спроса на автобусы, которые высоко ценят время, узнав информацию об отправлении (время прибытия автобуса), выберут способ передвижения, не связанный с автобусом.

#### **4. Генетический алгоритм для односточечного пересечения и базовой вариации**

С целью достижения минимального совокупного времени ожидания всех пассажиров и максимальной средней скорости полной загрузки движущегося транспортного средства, в качестве цели, учитывая ограничения минимального и максимального интервала движения транспортного средства и соотношение спроса

и предложения вместимости транспортного средства, была разработана модель оптимизации частоты BRT для нескольких типов транспортных средств в соответствии с динамическим спросом при совместной работе, основанная на характеристиках модели алгоритма наследования расположения без поддержки других характеристик [50]. Генетический алгоритм сортировки без доминирования -II (NSGA-II) был улучшен, и для достижения эффективного решения модели были разработаны стратегия многоточечного динамического пересечения и эвристический оператор изменения [55].

#### (1) Построение модели

В модели учитывается только время ожидания и время в пути, а соответствующее значение единицы времени умножается на поддающуюся количественной оценке стоимость поездки пассажира. Значение за единицу времени рассчитывается с помощью «производственного метода». Используя время в пути пассажира для расчета путевых расходов, можно использовать данную формулу:

$$C = P / 60TN, \quad (16)$$

Где:

C – значение в единицу времени, юань/мин;

P – валовой национальный продукт на душу населения, юань;

T – количество рабочих дней в течение одного года;

N – нормальное рабочее время в рабочий день, принимаемое за 8 часов;

Целевая функция состоит из трех частей: стоимость времени ожидания пассажира, стоимость времени нахождения пассажира в транспорте и стоимость эксплуатации BRT.

Стоимость времени ожидания пассажира

$$N_p = r_i^k h_k, \quad (17)$$

Где:

$N_p$  – количество пассажиров (человек) на автобусной остановке  $i$  в  $k$ -й час;



$r_i^k$  – коэффициент прибытия на автобусную остановку  $i$  в  $k$ -й час, чел/мин;  
 $h_k$  – интервал отправления  $k$ -го периода, мин;

$$h = 0.5h_k, \quad (18)$$

Где:

$h$  – среднее время ожидания пассажира на остановке  $i$ , минут.

Стоимость времени ожидания для пассажиров.

$$y_{1i}^k = C_1 N_p h = 0.5 C_1 r_i^k h_k^2, \quad (19)$$

Где:

$y_{1i}^k$  –  $k$  стоимость времени ожидания пассажиров на остановке,  $i$  в течение периода, юаней;

$C_1$  – стоимость единицы времени ожидания автобуса пассажирами, юани/мин.

Стоимость времени пребывания пассажира в транспорте

$$T_{i-1,i}^k = L_{i-1,i} / V = t_{i,j}^k - s_{i-1,j}^k, \quad (20)$$

Где:

$T_{i-1,i}^k$  – время в пути автобусов BRT от остановки  $i$  до остановки  $i-1$  в минутах;

$L_{i-1,i}$  – расстояние между остановками от остановки  $i$  до остановки  $i-1$ , в метрах;

$V$  – средняя скорость, м/мин;

$t_{i,j}^k$  – время, в которое  $j$ -й автомобиль на автобусном маршруте прибывает на  $i$ -ю автобусную остановку в  $k$ -й временной интервал;

$s_{i-1,j}^k$  – время, в которое  $j$ -е транспортное средство на автобусном маршруте отправляется с  $i-1$ -й автобусной остановки в  $k$ -й период времени;

$$s_{i,j}^k - t_{i,j}^k = \bar{a} * r_i^k * h_k + \bar{b} * p_{i-1,j}^k * q_i^k, \quad (21)$$

Где:

$s_{i,j}^k - t_{i,j}^k$  – представляет временной интервал между моментом прибытия

транспортного средства на площадку  $i$  и моментом выезда транспортного средства с площадки  $i$ , мин;

$\bar{a}$  и  $\bar{b}$  – среднее время, необходимое пассажиру, чтобы сесть в автобус и выйти из него, соответственно;

$p_{i-1}^k$  – количество пассажиров, перевезенных первым вагоном при отправлении со станции  $i-1$  в течение  $k$ -го периода;

$q_i^k$  – коэффициент высадки пассажиров на остановке  $i$  в  $k$ -й час.

Стоимость времени для пассажиров в пути:

$$y_{2i}^k - C_2 p_{i-1,j}^k T_{i-1,j}^k + C_2 p_{i-1,j}^k (1 - q_i^k) (s_{i,j}^k - t_{i,j}^k) = C_2 p_{i-1,j}^k (t_{i,j}^k - s_{i-1,j}^k) + C_2 p_{i-1,j}^k (1 - q_i^k) (\bar{a} r_i^k h_k + \bar{b} p_{i-1,j}^k q_i^k), \quad (22)$$

Где:

$y_{2i}^k$  – стоимость времени посадки пассажира на остановке  $i$  в период времени  $k$ , юани;

$C_2$  – стоимость единицы времени пребывания пассажиров в пути, юани/мин,  $C_1$  принимает то же значение.

Время посадки состоит из двух компонентов: времени в пути автобуса между соседними остановками и времени, затрачиваемого пассажирами на посадку и высадку из автобуса на конкретной остановке. Первое слагаемое функции затрат на время посадки представляет собой сумму времени, затраченного автобусом BRT на проезд от остановки  $i-1$  до пассажира на этой остановке, а второе слагаемое - время, затраченное пассажиром на посадку и выход из автобуса.

Эксплуатационные расходы BRT

$$y_3^k = C_3 * \sum_{k=1}^n (H_k / h_k), \quad (23)$$

Где:

$y_3^k$  – эксплуатационные расходы BRT, юани;

$C_3$  – средние эксплуатационные расходы на поездку в BRT. Эти данные предоставлены автобусной компанией;

$H_k$  – продолжительность k периода, мин.

Оптимизационная модель интервала отправления скоростного автобуса s.t.

$$\begin{cases} \min Y = \sum_k \sum_i y_{1i}^k + \sum_k \sum_i y_{2i}^k + \sum_k y_3^k \\ h_{\min} \leq h_k \leq h_{\max} \\ \frac{L * 60}{V * \min(h_k)} \leq N_B \end{cases}, \quad (24)$$

Где:

$y$  – общая стоимость, юани;

$y_{1i}^k$  – стоимость ожидания пассажиров;

$y_{2i}^k$  – стоимость нахождения пассажиров в транспорте;

$y_3^k$  – эксплуатационные расходы BRT;

$h_{\min}$  и  $h_{\max}$  – минимальный и максимальный допустимый интервал подачи транспорта, мин;

$L$  – общая протяженность маршрута, м;

$N_B$  – количество существующих транспортных средств BRT в автобусной компании;

$\min(h_k)$  – наименьший интервал отправления за k период, мин.

(2) Допущения модели

1. Нет такого явления, как застрявшие в пути или потерявшиеся пассажиры.

2. Количество пассажиров, прибывающих на конкретную автобусную остановку в единицу времени, и скорость высадки остаются неизменными с течением времени.

3. Время в пути зависит только от расстояния между автобусными остановками и не связано с временем пребывания автомобиля на перекрестках.

4. После того, как все пассажиры сядут в автобус, он немедленно трогается;
5. Не существует такого явления, как обгон;
6. Передняя и задняя двери транспорта могут открываться и закрываться, а пассажиры активно пользуются данными функциями.

### **5. Гибридный интеллектуальный алгоритм, сочетающий групповое моделирование мелких частиц и случайное моделирование**

Транспорт необходим для исследования, поскольку его подача осуществляется между каждой автобусной остановкой, а стохастический характер вероятности прибытия пассажиров на автобусную остановку может быть рассчитан с помощью подхода к составлению расписания с ограничением случайности [65,67,]. Изучив временные затраты на эксплуатацию транспортных средств BRT, временные затраты пассажиров на ожидание автобуса и накопление пассажиров в транспортном средстве, можно разработать эффективную модель для оптимизации интервалов отправления BRT для достижения нескольких целей, которые минимизируются при определенном уровне достоверности. (1) Построение модели

Параметризация будущей расчетной модели:

$i$  – транспортное средство BRT,  $i=1, 2, 3, \dots, I$ ;

$I$  – количество транспортных средств BRT;

$j$  – автобусная остановка на маршруте скоростного автобуса,  $j=1, 2, 3, \dots, J$ ;

$J$  – количество автобусных остановок на маршруте быстрого транзита;

$r_j$  – вероятность прибытия пассажиров на  $j$  автобусную станцию в течение периода исследования, при этом коэффициент приезжающих на автобусную остановку пассажиров распределен равномерно;

$f_{i,j}$  – время, когда  $i$ -ное количество BRT отходит от  $j$ -ной автобусной остановки. Когда  $j=1$ , то данный параметр также является временем отправления  $i$ -ного количества BRT;

$T_j$  – случайное время в пути BRT между автобусной станцией  $j-1$  и автобусной станцией  $j$  в течение периода исследования, значение подчиняется нормальному распределению;

$h$  – интервал отправления BRT в течение периода исследования;  
 $h_{min}$  и  $h_{max}$  – диапазоны минимальных и максимальных значений интервала подачи транспорта в течение периода исследования;  
 $S_{i,j}$  – время остановки  $i$ -ного BRT на  $j$ -ной автобусной остановке, так что  $S_1 = 0$ ;  
 $t_{ud}$  – среднее время, за которое пассажиры садятся в автобус и выходят из него;  
 $td_{i,j}$  – время прибытия  $i$ -ного BRT на  $j$ -ную автобусную остановку. Когда  $j=1$ , то данный параметр также соответствует времени отправления  $i$ -ного BRT;  
 $t_k$  – время, за которое автобус закрывает двери;  
 $m$  – количество мест в автобусе;  
 $t_w$  – максимальное время ожидания, которое могут позволить себе пассажиры;  
 $q_{i,j}$  – количество пассажиров в  $i$ -ном автобусе BRT, когда он покидает  $j$ -ную автобусную остановку;  
 $U_{i,j}$  – количество людей, которые могут сесть в автобус, когда  $i$ -ный автобус BRT прибывает на  $j$ -ную автобусную остановку;  
 $D_{i,j}$  – количество людей, вышедших из  $i$ -ного автобуса BRT на  $j$ -ной автобусной остановке;  
 $D_1$  и  $D_2$  – время начала и окончания периода исследования;  
 $Q$  – фиксированная пропускная способность BRT;  
 $\eta$  – совокупный коэффициент загрузки за исследуемый период;  
 $\beta_j$  – коэффициент высадки пассажиров;  
 $\beta_j$  – представляет собой меру вероятности;  
 $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_5$  – представляют ограничения при определенном уровне достоверности вероятность.

Время прибытия на автобусную остановку

$$td_{i,j} = \max(f_{i,j-1} + T_j, f_{i-1,j} + 0.2), \quad (25)$$

Время прибытия  $i$ -го транспортного средства BRT на  $j$ -ю автобусную остановку.

$td_{i,j}$  – время, в которое  $i$ -е транспортное средство BRT покидает остановку  $j-1$ ;

$f_{i,j-1}$  – случайное время в пути для BRT между остановками  $j-1$  и  $j$ ;

$T_j$  – автобусные остановки;

$0,2$  – время, за которое транспортное средство  $i-1$  покинет  $j$ -ю автобусную остановку, мин (необходимо обеспечить, чтобы транспортное средство прибыло первым и уехало первым). Берётся наибольшее значение.

Время остановки на автобусной остановке

$$S_{i,j} = \frac{t_{ud}(D_{i,j} + U_{i,j})}{n} + t_k, \quad (26)$$

Время стоянки  $i$  автомобиля BRT на  $j$  автобусной остановке  $S_{i,j}$  является суммой количества пассажиров, которые выходят из автобуса  $D_{i,j}$  и количества пассажиров, которые садятся в автобус  $U_{i,j}$ , умноженное на среднее время посадки и высадки пассажиров  $t_{ud}$ , деленное на количество дверей  $n$ , плюс время переключения дверей  $t_k$  (открытие или закрытие).

Интервал отправления каждой автобусной остановки

$$h_{i,j} = f_{i,j} - f_{i-1,j}, \quad (27)$$

Интервал отправления с  $j$ -ной автобусной остановки  $h_{i,j}$  равен разнице во времени отправления  $i$ -ного транспорта BRT и  $i-1$  вагона BRT на  $j$ -ной автобусной остановке.

Количество людей, находящихся в автобусе

$$U_{i,j} = \min\{Q - q_{i,j-1}, r_j(f_{i,j} - f_{i-1,j})\}, \quad (28)$$

Где,

$U_{i,j}$  – максимальная вместимость автобуса минус количество людей, прибывающих на  $j$ -ную автобусную остановку, и количество автомобилей  $i-1$  BRT, покидающих  $j$ -ную автобусную остановку, до  $i$ -ного транспорта BRT, прибывающего на первую автобусную остановку.

При этом сравнивается количество людей, прибывших на каждую автобусную

остановку за указанный период времени, что приводит к меньшему значению. Поскольку  $f_{i,j}$  являются случайными величинами,  $U_{i,j}$  также случайны.

Количество людей в автомобиле

$$q_{i,j} = q_{i,j-1} + U_{i,j-1} - D_{i,j-1}, \quad (29)$$

$q_{i,j}$  – количество людей в автобусе, когда  $i$ -ный автобус BRT прибывает на  $j$  автобусную остановку.

Расчет происходит путем сложения количества людей в автобусе, когда  $i$ -ный автобус BRT прибывает на  $j - 1$  автобусную остановку  $q_{i,j-1}$  и количества людей, садящихся в автобус на автобусной остановке  $j - 1$  ( $U_{i,j-1}$ ), после чего вычитается количество людей, выходящих на автобусной остановке  $j-1 - D_{i,j-1}$ . Поскольку  $U_{i,j-1}$  является случайной величиной,  $q_{i,j}$  также случайны.

Количество людей, выходящих из автобуса

$$D_{i,j} = \beta_j q_{i,j-1}, \quad (30)$$

Где,

$D_{i,j}$  – количество людей, которые выходят на  $j$  автобусной остановке, пропорционально количеству людей, когда  $i$ -ное транспортное средство BRT прибывает на  $j$ -ную автобусную остановку ( $q_{i,j}$ );

$\beta_j$  – масштабный коэффициент.

Количество людей, которые не смогли сесть в автобус

$$\omega_{i,j} = \max\{\omega_{i-1,j} + r_j h_{i-1,j} - U_{i,j}, 0\}, \quad (31)$$

Где,

$\omega_{i,j}$  – количество людей, которые не смогли сесть в автобус, когда  $i$ -й транспорт. Выбирается наибольшее полученное значение.

Стоимость времени для пассажиров, ожидающих автобус на автобусной остановке

$$W = \sum_{i=1}^I \left[ \frac{r_j (f_{i,j} - f_{i-1,j})^2}{2} \right] + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \omega_{i,j} (f_{i+1,j} - f_{i,j}), \quad (32)$$

Стоимость времени ожидания пассажира на остановке равна произведению

скоростей прибытия пассажиров на  $j$ -ную автобусную остановку ( $r_j$ ) и  $f_{i,j} - f_{i-1,j}$  – временному интервалу между двумя соседними автобусами BRT. Если есть пассажиры, которые не успевают сесть в автобус, то для расчета также нужно добавить количество людей, которые не смогли сесть в автобус, когда автобус  $i-1$  покинул  $\omega_{i-1,j}$ , умноженное на сумму интервала отправления между автобусом  $i-1$  BRT и автобусом  $i$  BRT на  $j$ -ной автобусной остановке и время ожидания автобуса  $i-1$  BRT. Из-за случайности переменных доверительное значение  $\alpha_1$  может достигать  $W_1$ . Функция может быть основана на значении случайных событий:

$$\min W_1 P_r \left\{ \left[ \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \frac{r_j (f_{i,j} - f_{i-1,j})^2}{2} + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \omega_{i,j} (f_{i+1,j} - f_{i,j}) \right] \leq W_1 \right\} \geq \alpha_1, \quad (33)$$

Степень загрузки автобуса

$$\eta = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \max \left\{ \frac{q_{i,j} - m}{1.2Q - m}, 0 \right\}, \quad (34)$$

Общая загрузка  $i$  BRT – это разница между фактическим количеством людей в BRT, когда  $i$ -ный транспорт BRT покидает автобусную платформу ( $q_{i,j}$ ), и количеством посадочных мест  $m$ , деленным на 1,2 от полной вместимости  $Q$  (максимальная пассажировместимость). Если данное соотношение меньше нуля, это означает, что в вагоне есть свободные места, и все они в данный момент считаются равными нулю.  $\eta_{i,j}$  может достичь  $\eta_1$  с уверенностью  $\alpha_2$ .

$$\min \eta_1 P_r \{ \eta \leq \eta_1 \} \geq \alpha_2, \quad (35)$$

Эксплуатационные расходы транспортного средства

Стоимость времени работы транспортного средства  $C$  равна стоимости каждого отправления, умноженной на количество отправок в течение этого периода времени

$$C = \sum_{i=1}^I (f_{i,j} - f_{i,1}), \quad (36)$$

$C$  может достигать значения  $C_1$  с уверенностью  $\alpha_3$ .

$$\min C_1 P_r \{ C \leq C_1 \} \geq \alpha_3, \quad (37)$$

(2) Ограничения модели

Ограничение на количество пассажиров

Количество пассажиров на BRT не превышает его собственную



пассажировместимость при определенном уровне достоверности.

$$Pr\{q_{i,j} \leq Q\} \geq \alpha_4, \quad (38)$$

Ограничения по времени ожидания пассажиров

В случае неопределенности, максимальное время ожидания не должно превышать максимально допустимое время ожидания с определенной вероятностью. Если это время будет превышено, пассажиры будут недовольны.

$$Pr\{f_{i,j} - f_{i-1,j} \leq t_w\} \geq \alpha_5, \quad (39)$$

Необходимо создать модель планирования с ограничением случайных возможностей для оптимизации интервала отправления автобусов быстрого сообщения

$$\begin{aligned} \min Z &= \alpha W_1 + \beta \eta_1 + \gamma C_1 & (40) \\ \text{s. t } \left\{ \begin{array}{l} Pr\{W \leq W_1\} \geq \alpha_1 \\ Pr\{\eta \leq \eta_1\} \geq \alpha_2 \\ Pr\{C \leq C_1\} \geq \alpha_3 \\ Pr\{q_{i,j} \leq Q\} \geq \alpha_4 \\ Pr\{f_{i,j} - f_{i-1,j} \leq t_w\} \geq \alpha_5 \\ h_{\min} \leq h \leq h_{\max} \\ D_1 \leq f_{i,j} \leq D_2 \end{array} \right. & , \quad (41) \end{aligned}$$

Где,

$i=1,2,3, \dots, I$ ;

$J=1,2,3, \dots, J$ .

### 3. Допущения моделирования

1) Все эксплуатируемые транспортные средства являются транспортными средствами с полным спектром услуг и имеют одну и ту же форму;

2) Ожидающие пассажиры, прибывающие первыми, садятся в автобус первыми;

3) Во время движения транспортного средства отсутствует такое явление, как обгон;

4) Скорость прибытия пассажиров на станцию должна быть равномерно распределена.

### 6. Модели оптимизации расписания с учетом стоимости и номинальной

## вместимости автобуса (Использованы генетические алгоритмы для вычислений (GA))

Минимальные затраты на время ожидания и максимальный комфорт пассажиров являются целями моделирования, в то время как достижение максимальной вместимости автобуса является целью автобусной компании [35,56].

1. Стоимость времени ожидания автобуса пассажирами высчитывается по следующей формуле

$$VT_{ik} = \lambda_{ik} * \frac{1}{2} \Delta t_k^2, \quad (42)$$

Где:

$VT_{ik}$  – время ожидания пассажиров на остановке  $i$  в течение периода  $k$ ;

$i$  – номер автобусной остановки;

$k$  – период времени;

$\Delta t_k$  – интервал отправления в пределах периода времени  $k$ .

Для всей автобусной линии общее время ожидания пассажиров составляет:

$$VT = \sum_{k=1}^k \sum_{i=1}^I \lambda_{ik} * \frac{1}{2} \Delta t_k^2, \quad (43)$$

Где,

$VT$  – общее время ожидания пассажиров;

$i$  – номер автобусной остановки;

$k$  – период времени;

$\Delta t_k$  – интервал отправления в пределах периода времени  $k$ .

Общая стоимость ожидания автобуса пассажирами составляет:

$$X_1 = \gamma_1 * \sum_{k=1}^k \sum_{i=1}^I \lambda_{ik} * \frac{1}{2} \Delta t_k^2 = \gamma_1 * \sum_{k=1}^k \sum_{i=1}^I P_{ik} * \frac{1}{2} \Delta t_k^2, \quad (44)$$

Где:

$i$  – номер автобусной остановки;

$k$  – период времени;

$\Delta t_k$  – интервал отправления в пределах периода времени  $k$ ;

$P_{ik}$  – количество пассажиров в автобусе на автобусной остановке  $i$  за  $k$  период времени;

$\gamma_1$  – стоимость ожидания для пассажира, юани;

$\lambda_{ik}$  – вероятность того, что пассажиры на автобусной остановке  $i$  смогут добраться до автобусной остановки  $i-1$  в течение  $k$  периода времени.

## 2. Стоимость заполнения транспорта пассажирами

Во время поездки стоимость и оценка заполнения автобуса может быть выражена дискомфортом или определенными неудобствами для пассажиров. Загруженность автобуса пассажирами может быть отражена только в том случае, если отношение количества пассажиров в автобусе на определенной остановке к общей пассажироместимости автобуса превышает коэффициент вместимости транспортного средства (ICF):

$$\Delta = \begin{cases} 1, & \text{ICF} \leq \frac{P_{ik}}{(Q_1+Q_2)F_k} \\ 0, & \text{ICF} \geq \frac{P_{ik}}{(Q_1+Q_2)F_k} \end{cases}, \quad (45)$$

Где,

$Q_2$  – число пассажирских мест в автобусе;

$Q_1$  – номинальная пассажироместимость в автобусе;

$F_k$  – частота отправления автобусов в течение периода времени  $k$ ;

$P_{ik}$  – количество пассажиров в автобусе на автобусной остановке  $i$  за  $k$  период времени;

Функция расстояния между пассажирами при переполнении является:

$$\eta = \sum_{c=1}^c (Q_{ikp} - Q_2) * L_c * \Delta z, \quad (46)$$

Где,

$Q_2$  – число пассажирских мест в автобусе;

$c$  – обозначение переполненной остановки;

$Q_{ikp}$  – пассажиропоток автобуса, при котором  $q$ -й автобус находится в переполненном состоянии в течение  $k$  периода времени на автобусной остановке  $i$ ;

$L$  – общая длина автобусной линии.

Стоимость перегрузки пассажиров составляет:

$$X_2 = \gamma_2 * \eta = \gamma_2 * \sum_{c=1}^c (Q_{ikp} - Q_2) * l_c * \Delta z, \quad (47)$$

Где,

$Q_2$  – число пассажирских мест в автобусе;

$F_k$  – частота отправления автобусов в течение периода времени  $k$ ;

$c$  – обозначение переполненной остановки;

$Q_{ikp}$  – пассажиропоток автобуса, при котором  $q$ -й автобус находится в переполненном состоянии в течение  $k$  периода времени на автобусной остановке  $i$ ;

$l$  – расстояние между двумя соседними автобусными остановками, км;

$\gamma_2$  – стоимость переполненности автобуса для пассажиров, юани;

Целевая функция эксплуатационных расходов автобусной компании

Эксплуатационные расходы автобуса

$$X_3 = \gamma_3 * L \sum_{k=1}^k \left( \frac{T_k}{\Delta t_k} \right) + \left( \sum_{i=1}^i (e_i + b_i) * (E_i + B_i) + \sum_{i=1}^i \delta_i \right) * \lambda, \quad (48)$$

Где,

$T_k$  – общее эксплуатационное время за  $k$  период времени;

$L$  – общая длина автобусной линии;

$e$  – среднее время выхода пассажиров из автобуса;

$b$  – среднее время посадки пассажиров;

$\delta$  – время разгона и замедления транспортного средства;

$B$  – количество пассажиров в автобусе на автобусной остановке;

$E$  – количество пассажиров, выходящих на автобусной остановке;

$\lambda$  – коэффициент преобразования затрат во времени для автобусной компании;

$\gamma_3$  – средняя стоимость проезда на километр, юани

Анализ состояния

В модели расписания отправления автобуса основными условиями являются ограничения на интервал отправления автобуса, общее количество автобусных остановок и средний показатель полной загрузки автобуса.

Интервал отправления высчитывается по формуле:

$$\Delta t_{kmin} \leq \Delta t_k \leq \Delta t_{kmax}, \quad (49)$$

Где,

$\Delta t_k$  – интервал отправления в пределах периода времени  $k$ .

Общее количество отправок автобусов BRT:

$$\sum_{k=1}^k F_k \leq F_{\max} , \quad (50)$$

Где,

$F_k$  – частота отправления автобусов в течение периода времени  $k$ .

Условия для средней нормы по полной загрузке автобуса BRT

Для обеспечения эксплуатационных расходов автобусной компании, средняя норма полной загруженности автобуса должна быть больше минимальной нормы полной загрузки. Когда коэффициент использования вместимости автобуса составляет 50%, то можно считать, что места в автобусе заполнены. Поэтому 50% принимается за нижний предел коэффициента загрузки автобуса.

$$ICF \geq 0.5 , \quad (51)$$

Таким образом, общая модель оптимизации расписания такова:

$$\begin{aligned} \text{Min} X &= \omega_1 X_1 + \omega_2 X_2 + \omega_3 X_3 \\ \text{s. t. } &\begin{cases} \Delta t_{kmin} \leq \Delta t_k \leq \Delta t_{kmax} \\ \sum_{k=1}^k F_k \leq F_{\max} = 120 \\ ICF \geq 0.5 \end{cases} , \end{aligned} \quad (52)$$

Где,

$\omega$  – вес каждого показателя;

$F_{\max}$  – общее количество отправок автобусов BRT;

$\Delta t_{min}$  – минимальный интервал отправления в течение  $k$  периодов времени;

$\Delta t_{max}$  – максимальный интервал отправления в течение  $k$  периодов времени.

## 2.3 Оценка эффективности моделей

### 1. Оценка эффективности системы позиционирования (GLONASS, BDS)

#### 1. Преимущества и недостатки

С помощью системы позиционирования устанавливается модель частоты отправления автобусов в режиме реального времени. Однако с помощью приведенных выше моделей и допущений, можно четко выявить недостатки модели:

1) Информация в режиме реального времени о количестве пассажиров, выходящих на каждой платформе, не может быть собрана надлежащим образом. В то же время, нет пассажиров, которые не воспользовались бы своими картами или не оплатили бы билеты с помощью мобильных телефонов. Если нет билетных касс,

то нет способа лучше установить количество пассажиров, которые платят наличными.

2) В действительности рабочая скорость автобуса на одном и том же участке дороги является переменной только в пределах ограничения скорости. Во время движения возможны заторы на дорогах, сбои в работе и другие чрезвычайные ситуации, которые не учитываются моделью.

3) В действительности, на одной и той же автобусной станции вероятность прибытия пассажиров очень случайна. На эту вероятность будут влиять погодные условия, время дня, дни недели, праздничные дни и другие факторы.

4) Транспортные средства, следующие по одной линии, находятся на одной автобусной остановке. При отсутствии автобусной линии BRT, на них в любом случае будут влиять другие транспортные средства. Скорости ускорения и замедления транспортных средств неодинаковы. В то же время несколько линий BRT могут иметь общую автобусную остановку и взаимодействовать друг с другом.

5) На одной и той же автобусной остановке, когда количество пассажиров резко возрастет, пассажиры будут ждать автобус большее количество времени, чем учитывается при планировании. Когда происходит наплыв пассажиров и транспортное средство задерживается на автобусной остановке, система BRT с выделенной полосой движения автобусов может вовремя покинуть остановку, но на систему BRT без выделенной полосы движения автобусов будут влиять транспортные средства на других линиях.

Кроме того, эта модель слабо учитывает реальные проблемы. Модель оказывает сильное влияние на управление транспортным средством и анализ при проектировании, но сбор информации о пассажирах в автобусе относительно примитивен, из-за чего она не может точно собирать информацию о пассажирах транспортного средства. Однако баланс между пассажирами и автобусными компаниями, учет преимуществ автобусных компаний и стоимости поездок пассажиров очень точен.

## **2. Оценка эффективности синхронной генетической оптимизационной модели**

В этой модели время посадки и высадки пассажиров является неопределенным, то есть время остановки транспортного средства также является неопределенным, но модель игнорирует время остановки транспортного средства, что оказывает определенное влияние на точность и позиционирование модели в предоставлении данных в реальном времени.

Однако эта модель удовлетворяет, как оптимизационные процессы частоты отправления, так и оптимизацию сети автобусных линий и подачи транспорта. Хотя она не может быть оптимизирована более точно, она все равно способна удовлетворять требования пассажиров для общей интенсивности и оптимизации.

### **3. Оценка эффективности модели, основанной на теории игр**

Преимущества и недостатки:

Согласно теории игр, устанавливается определенная модель взаимодействия между пассажирами и операторами автобусов, которая имеет различные управляемые переменные между отдельными пользователями автобуса и группами пассажиров. В этой модели были обнаружены определенные недостатки:

1) На самом деле те, кто нуждается в общественном транспорте, будут учитывать стоимость проезда на автобусе BRT, время ожидания автобуса и время поездки на автобусе, прежде чем сесть в автобус. Спрос на автобусы BRT будет учитывать вышеуказанные факторы в качестве критериев для рассмотрения, но подобные многовариантные ситуации связаны с субъективным пониманием спроса на автобусы. Поэтому, когда расходы пользователей автобусов трудно оценить, возникает определенное отклонение от конечного результата расчета модели.

2) В периоды пиковой нагрузки, пропускная способность автобуса не в состоянии удовлетворить потребности спроса на автобусы, из-за чего возникает дополнительное ожидание, то есть даже после ожидания перезаполненного автобуса, все равно нужно дожидаться следующего. Данная модель не учитывает возникновение таких проблем.

3) Модель устанавливает, что на интервал движения передних и задних автобусов влияют только частота отправления и интервал между ними. Однако фактическая ситуация такова, что на интервал движения передних и задних

автобусов будет влиять множество факторов, таких как загруженность дорог, задержка посадки и высадки на автобус, настроение водителя, погода и ряд других факторов.

В этой модели различные характеристики отдельного пользователя автобуса будут влиять на конечный результат поездки. В то же время для группы пассажиров, стратегия оператора автобуса может быть неудовлетворительной, а показатели, выбранные при расчете оплаты стоимости времени, не являются удовлетворительными и всеобъемлющими. Однако модель полностью учитывает текущий пассажиропоток и потенциальный пассажиропоток автобусов BRT, а также подбирает и уточняет показатели анализа.

#### **4. Оценка эффективности генетического алгоритма для односточного пересечения и базовой вариации**

Преимущества и недостатки:

1) Когда разрабатывалась эта модель, в ней не очень тщательно учитывалось явление «застрявших» пассажиров. При реальных обстоятельствах, в период пикового пассажиропотока, существует высокая вероятность того, что появятся подобные пассажиры. Во время пребывания на станцию, пассажиры могут рассматривать больше вариантов и выбирать маршруты, не связанные с автобусом.

2) В начале разработки модели количественного анализа пассажиров, прибывающих на определенную станцию за единицу времени, количество людей, выходящих из автобуса, по умолчанию оставались неизменными, но в реальных ситуациях количество пассажиров, прибывающих на определенную станцию, и количество людей, выходящих из автобуса, могут сильно меняться.

3) При расчете времени работы транспортного средства, модель учитывает только расстояние между станциями и не учитывает время ожидания транспортного средства на перекрестке, а также не вычисляет фактическое время работы транспортного средства.

4) При реальной работе транспортного средства, если есть выделенная полоса для автобусов, обгоны могут быть относительно редки, но когда для автобусов не выделяется своя собственная полоса, то реальность обгона более распространена.



Хотя модель недостаточно всеобъемлюща, чтобы учесть детальное положение транспортного средства в реальной ситуации в процессе проектирования, модель сводит к минимуму эксплуатационные расходы BRT и минимизирует временные затраты пассажиров в пути, а также минимизирует временные затраты пассажиров на ожидание автобуса.

## **5. Гибридный интеллектуальный алгоритм, сочетающий групповое моделирование мелких частиц и случайное моделирование**

Преимущества и недостатки:

1) В этой модели учитывается, что эксплуатируемые транспортные средства являются полноразмерными транспортными средствами одной и той же модели. В реальности, большинство эксплуатируемых транспортных средств не характеризуются одной моделью, а с точки зрения эксплуатации они, как правило, смешиваются с многомодельными транспортными средствами.

2) Модель также требует, чтобы транспортное средство не совершало обгона во время движения. Это условие трудно выполнить в реальных условиях. В то же время необходимо проводить различие между ситуацией, когда имеется выделенная полоса для автобусов. В случае сосуществования нескольких режимов движения, довольно трудно точно рассчитать результаты моделирования.

Однако, хотя модель имеет определенные ограничения в некоторых реальных задачах, она полностью учитывает межстанционное время работы BRT и случайность прибытия пассажиров на станцию, в то же время решая задачу оптимизации минимизированного интервала отправления BRT с помощью гибридных интеллектуальных алгоритмов.

## **Выводы**

В результате анализа нескольких моделей и сравнительных исследований было установлено, что алгоритм GA (генетический алгоритм) в основном используется для решения интеллектуальной задачи составления расписания в системе составления расписания движения автобусов, которая оптимизирует схему составления расписания, имитируя процесс биологической эволюции. Он может

найти оптимальное или близкое к оптимальному решение среди всех решений по расписанию, удовлетворяющих ограничениям, за ограниченное количество алгоритмических шагов. Применение алгоритма GA в составлении расписания автобусов включает в себя метод кодирования, разработку генетических операторов и создание фитнес-функции. Благодаря итерационным операциям выбора, кроссинговера и мутации алгоритм GA может имитировать естественный эволюционный процесс, постепенно оптимизировать схему составления расписания, минимизировать время ожидания пассажиров и количество отправок компании, а также избежать возникновения явления «больших интервалов». Практическое применение алгоритма GA в составлении расписания движения общественного транспорта имеет значительный эффект, он может эффективно повысить эффективность составления расписания и снизить эксплуатационные расходы, а также повысить удовлетворенность пассажиров. Благодаря интеллектуальному составлению расписания автобусные компании могут лучше реагировать на изменения в пассажиропотоке и добиваться рационального распределения и эффективного использования ресурсов.

### **3. Применение ИТС для организации BRT**

#### **3.1 Анализ развития систем BRT**

Когда в разных городах развиваются системы высокоскоростного транспорта, они в основном соответствуют потребностям местных условий. В Соединенных Штатах, из-за различных методов строительства, существует множество методов строительства, потому что BRT имеет разумную компоновку, широкую конструкцию вагона и высокую пассажироместимость. Таким образом, использование интеллектуальных транспортных технологий и системы быстрого транзита может предоставить пассажирам быстрые, удобные, эффективные и гибкие услуги по перевозке пассажиров, основные характеристики которых проявляются в следующих аспектах.

Исключительное право проезда – Для повышения эффективности работы системы BRT предусмотрены отдельные полосы для автобусов BRT. Полностью закрытые автострады, предназначенные только для автобусов, имеют абсолютное право проезда и могут быть объединены с другими социальными транспортными средствами для достижения приоритета общественного транспорта в пространстве системы BRT [71,72].

Автобусы нового типа большой вместимости, низкопольные защиты окружающей среды, высокого класса, тяги и модернизации и могут адаптироваться к требованиям развития «зеленого транспорта» [81].

Платформа продаж и проверки стоимости проезда направлена на продвижение и проверку стоимости проезда вне транспортного средства и автоматической системы проверки платы за проезд (AFC), тем самым сократив время остановки автобусов, в то же время, улучшив уровень эксплуатации, управления и уровень обслуживания.

Высота платформы и автобусная дверь с прилегающими к ней ступеньками находятся на одном уровне, что может облегчить пассажирам вход в поезд и выход из него, что очень важно для пожилых, людей с ограниченными возможностями и инвалидностью, а также для пассажиров с детьми.

Закрытая платформа современного формата, которая может обеспечить

безопасность пассажиров и может быстро адаптироваться под те места, где «трудно входить и выходить» из автобусных транспортных средств.

Приоритет сигнала перекрестка – транспортным средствам BRT предоставляется приоритет при проезде через перекрестки, чтобы вовремя реализовать приоритет транспортных средств BRT в полосе отвода движения для увеличения их скорости [19,90].

Служба информации для пассажиров – внедрение передовых технологий позиционирования транспортных средств для непрерывного отслеживания движущихся транспортных средств и предоставления пассажирам информации в режиме реального времени для облегчения их путешествия.

Интеллектуальная система скоростного автобусного сообщения (intelligent system of bus rapid transit).

Информационные технологии, технологии передачи данных, технологии электронного мониторинга, технологии электронного управления и компьютерные технологии обработки эффективно интегрированы в скоростной транспорт и создают в режиме реального времени точную, эффективную и комплексную интеллектуальную систему [20,113].

Интеллектуальная система BRT состоит из четырех подсистем: центра управления, придорожного оборудования, бортовой системы и оборудования остановок [19]. Обмен данными внутри и между подсистемами осуществляется через коммуникационную сеть. Интеллектуальная система BRT может быть подключена к центру управления светофорами для обеспечения центрального приоритета автобусов [20]. Интеллектуальная система BRT может быть подключена к светофорам, чтобы обеспечить приоритет автобуса на месте.

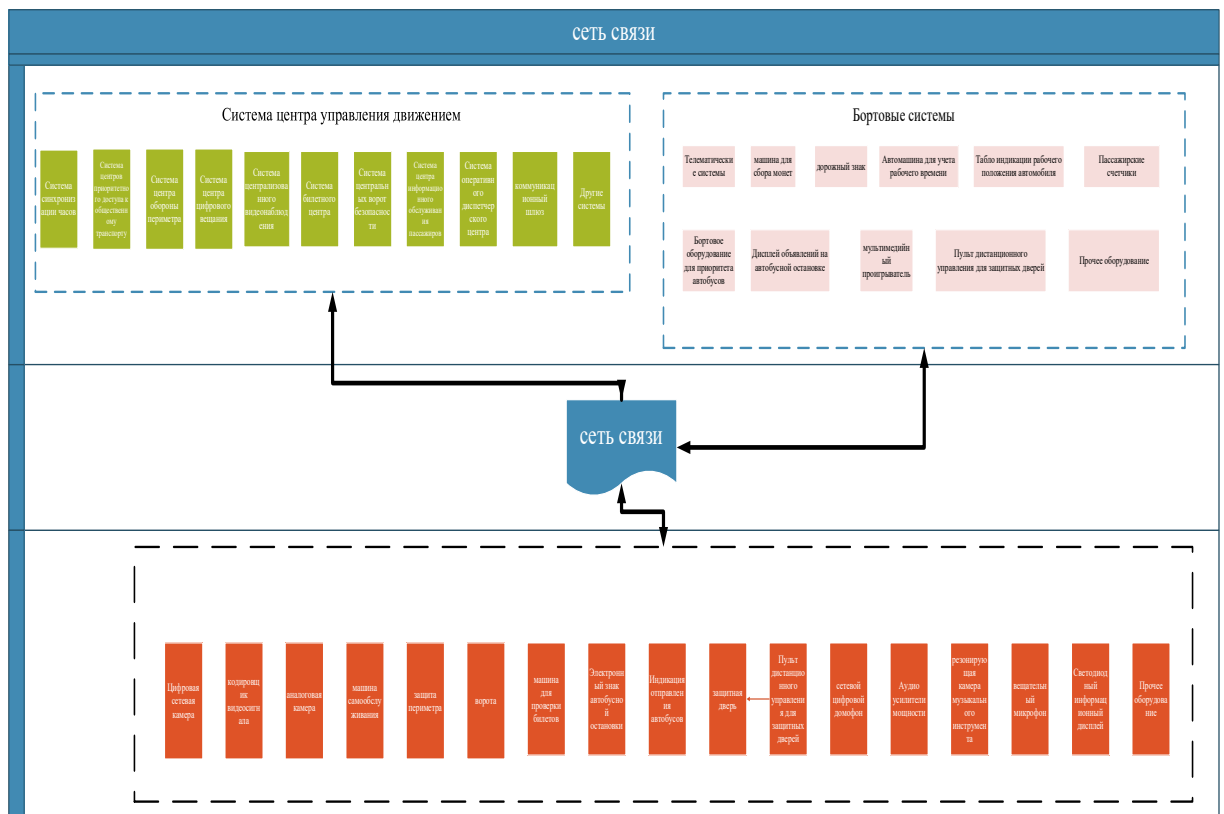


Рис 3.1-Физическая основа для интеллектуальных систем общественного транспорта

Система приоритетного доступа к автобусам устанавливается в диспетчерских центрах, на городских автобусах и перекрестках и включает в себя систему центра приоритетного доступа к автобусам, коммуникационные шлюзы и бортовое оборудование. Бортовое оборудование должно включать бортовые информационные терминалы и оборудование для определения приоритета автобуса [21].

Система приоритетного доступа подразделяется на два режима: центральный приоритет автобуса и приоритет автобуса на месте:

а) Режим центрального приоритета автобуса может быть реализован следующим способом: установленный на транспортном средстве информационный терминал передает информацию о местонахождении транспортного средства и информацию о его работе в систему центра приоритетного доступа к автобусам через коммуникационный шлюз, а система центра приоритетного доступа к автобусам передает заявку на приоритет автобуса в центр управления светофорами.

б) Режим приоритета автобуса на месте может быть реализован следующим образом: установленный на транспортном средстве информационный терминал

передает заявку на приоритет автобуса через установленный на транспортном средстве блок оборудования приоритета автобуса на придорожный блок оборудования приоритета автобуса, а придорожный блок оборудования приоритета автобуса передает заявку на приоритет автобуса в сигнальную машину. Технические требования к системе центра приоритетного доступа к автобусам должны соответствовать положениям стандарта GB/T 31455.2.

Спецификация интерфейса данных связи между системой центра доступа к приоритету автобуса и коммуникационным шлюзом должна соответствовать положениям GB/T 31455.2.

Спецификация интерфейса данных связи между системой центра управления светофорами и коммуникационным шлюзом должна соответствовать положениям GB/T 31455.2.

Технические требования к оборудованию, устанавливаемому на транспортном средстве должны соответствовать положениям GB/T 31455.3-2015.

Спецификация интерфейса передачи данных между установленным на транспортном средстве оборудованием должна соответствовать положениям GB/T 31455.3-2015.

Спецификация интерфейса данных связи между установленным на транспортном средстве оборудованием и коммуникационным шлюзом должна соответствовать положениям GB/T 31455.5.

Спецификация интерфейса данных связи между оборудованием приоритета шины и светофорным устройством должна соответствовать положениям GB/T 31455.7.

Спецификация интерфейса передачи данных между бортовым устройством оборудования приоритета автобуса и придорожным устройством оборудования приоритета автобуса может быть выполнена по индивидуальному заказу [89].

### **Анализ интеллектуальных транспортных систем**

GB/T 20607-2006 Интеллектуальные транспортные системы - Архитектура - Услуги применим к ISO/CD14813 11:2. 4 (Интеллектуальные транспортные системы

- Эталонная модель архитектуры ИТС Часть 1: Области услуг ИТС Услуги, Sub-services} (английская версия), стандарт предложен Техническим комитетом по стандартизации интеллектуальных транспортных систем Китая (SAC/TC268) и находится под контролем Технического комитета[5,72].

(1) Архитектура системы ИТС (ITS system architecture)

Описывает состав ИТС, определяет функциональные модули, информацию, которой обмениваются модули, протоколы связи и интерфейсы, также известна как каркас системы ИТС или архитектура системы ИТС.

(2) Пользователь ИТС (ITS user)

Прямое или косвенное получение или предоставление услуг ИТС людям, системам или мониторинг окружающей среды, могут быть бенефициары системы ИТС, пользователи системы ИТС, производство системы ИТС или операторы, использование системы ИТС управляющие движением.

(3) Поставщики услуг ИТС (ITS service providers) являющиеся субъектами интеллектуальных транспортных услуг.

Поставщик услуг, который находится в отношениях обслуживания и обслуживания с пользователями ИТС.

(4) Субсервис ИТС (ITS sub-service)

Продукт или поведение, ориентированное на конкретного пользователя ИТС.

(5) Услуга ИТС (ITS service) .

Одна или несколько аналогичных или взаимодополняющих подуслуг, предоставляемых пользователю ИТС.

(6) Домен услуг ИТС. (ITS service domain)

Конкретная область применения, содержащая одну или несколько услуг.

Требования к реализации

1. Зоны обслуживания ИТС

В процессе внедрения система ИТС варьируется от одного регионального органа к другому или может меняться в зависимости от понимания участников.

Область услуг ИТС является наивысшим обобщением архитектуры ИТС и не

описывает технологии и функции, связанные с применением системы ИТС [22].

Примерами областей услуг ИТС являются: управление дорожным движением, информационные услуги, управление транспортом и т. д.

## 2. Услуги ИТС

Домен услуг содержит один или несколько классов услуг ИТС. Каждый класс услуг ИТС может содержать несколько экземпляров связанных услуг, и эти комбинации связанных экземпляров услуг ИТС называются услугами ИТС. Услуга ИТС состоит из одной или нескольких аналогичных или взаимодополняющих подуслуг, предоставляемых пользователям ИТС[23].

а) Каждая услуга ИТС представляет собой конкретное действие, связанное с управлением или информацией о сети дорожного движения, и должна быть разделена на подуслуги с точки зрения пользователя, вида транспорта.

б) Название услуги должно отражать тип поддерживаемого поведения (например, информация перед поездкой).

в) Подсервисы в рамках услуги должны учитывать характер поведения услуги и пользователя или вида транспорта, которому соответствует услуга (например, информация об общественном транспорте перед поездкой).

г) Каждый уровень в иерархии должен быть последовательным в своей степени разграничения.

## 3. Подсервисы ИТС

Подсервисы ИТС состоят из продуктов или моделей поведения, ориентированных на конкретного пользователя ИТС, и являются фундаментальными компонентами архитектуры/системы ИТС[11].

При построении архитектуры ИТС подуслуги ИТС должны быть подробно описаны единообразным образом. Подробное описание подуслуг может быть получено путем декомпозиции услуг ИТС. Различные описания могут быть получены с разных точек зрения.

Области обслуживания ИТС, задействованные в создании интеллектуальной системы BRT, следующие:

Область услуг по управлению дорожным движением



Область услуг по управлению дорожным движением в основном направлена на обеспечение нормальной работы людей, транспортных средств и объектов на дорожной сети и может включать динамический мониторинг, принятие решений, таких как управление движением на основе информации о событиях на дорожной сети в реальном времени (автоматизированное или ручное), а также управление спросом, обеспечение соблюдения правил дорожного движения, управление лизингом, управление парковкой, управление немоторизованным транспортом и пешеходами [25].

#### (1) Мониторинг динамики дорожного движения

Данная услуга включает в себя использование современных средств мониторинга для сбора информации о дорожном движении и предоставления данных для управления дорожным движением, обеспечения соблюдения правил дорожного движения и проведения научных исследований. Подсервисы, такие как

- обнаружение данных о дорожных потоках;
- мониторинг информации о нарушениях правил дорожного движения.

#### (2) Управление дорожным движением

Эта услуга включает в себя использование технических и управленческих средств для стимулирования и управления транспортными потоками. Сюда входит управление соответствующими объектами, такими как городские (например, главные магистрали, скоростные шоссе) и междугородные (например, автострады, автомагистрали) дороги. Примеры методов управления включают в себя управление сигналами в реальном времени, индуктивное управление рампами скоростных дорог, динамическую корректировку маршрута в зависимости от дорожных событий или строительства, приливное управление транспортным потоком (управление направлением движения по полосам) в случае заторов или дорожных событий, а также регулирование скорости. Кроме того, сюда может входить управление приоритетным доступом для общественного транспорта и машин экстренных служб, мониторинг автомобильных и железнодорожных переездов и т. д.

Такие подуслуги, как

- управление дорожными сигналами;
- управление специальными полосами движения;
- контроль доступа к скоростным магистралям;
- управление рампами;
- контроль скорости;
- разработка и внедрение региональных стратегий управления движением;
- интеграция управления движением и маршрутного ориентирования;
- приоритетное управление специальными сигналами для транспортных средств.

### (3) Управление спросом

Эта услуга включает в себя разработку и применение стратегий управления и контроля, которые влияют на спрос на поездки.

С помощью определенных стратегий, таких как ценовые стратегии, региональный контроль доступа и региональный контроль путешественников, она влияет на уровень спроса на общественные поездки и относительный спрос на различные виды транспорта, чтобы рационально регулировать рост транспортного спроса, структуру видов поездок и пространственно-временное распределение транспортных потоков.

Такие подуслуги, как

- прогнозирование спроса на транспортные услуги;
- управление контролем доступности;
- управление ценообразованием в условиях перегруженности дорог;
- динамический контроль и управление ценами на парковку;
- управление качеством дорожной среды.

### (4) Управление дорожными происшествиями

На основе полученной информации о дорожном происшествии и дорожной информации в режиме реального времени эта служба принимает соответствующие меры по управлению дорожным движением и координирует действия с соответствующими подразделениями, чтобы уменьшить воздействие инцидента на дорожное движение и снизить ущерб.

Подслужбы, такие как

- предотвращение дорожных происшествий;
- обнаружение дорожных происшествий;
- выявление дорожных инцидентов;
- реализация мер по организации аварийного движения и распространение информации о дорожных происшествиях;
- управление дорожными инцидентами;
- учет дорожных инцидентов;
- учет дорожных происшествий.

## 2. Область электронных услуг по взиманию платы за проезд

Область электронных услуг по взиманию платы за проезд подчеркивает преимущественно безналичный способ оплаты за пользование транспортными услугами и сооружениями.

### (1) Электронный сбор платы за проезд

Услуга может включать в себя взимание с пользователей транспортных сборов посредством электронных транзакций, таких как плата за проезд по дорогам, мостам и туннелям, плата за пробки на дорогах, плата за платные транспортные информационные услуги, плата за парковку, проезд в общественном транспорте и т. д.

Такие подслужбы, как

- безостановочный электронный сбор платы за проезд по дорогам, мостам и туннелям;
- электронный сбор платы за парковку на дорогах, мостах и в туннелях;
- электронная плата за парковку;
- электронные сборы за проезд на общественном транспорте;
- электронная плата за проезд по городским дорогам;
- плата за проезд по городским дорогам с добавленной стоимостью.

### (2) Интеграция электронного сбора платы за проезд

Эта услуга может включать интеграцию операций по взиманию платы за проезд между различными регионами и видами транспорта.

Такие подуслуги, как

- электронный сбор платы за проезд по сети автомагистралей;
- оплата проезда на общественном транспорте по «единой карте».

### 3. Транспортные информационные услуги

Сфера информационных услуг на транспорте подразумевает предоставление путешественникам всеобъемлющей и интегрированной информации до и во время их поездок. Она может включать в себя предоставление статической и динамической информации, связанной с дорожной сетью, схемы совместного использования автомобилей, планирование поездок, навигацию транспортных средств и другие услуги.

#### (1) Информационная служба перед поездкой

Данная услуга включает в себя получение информации о дорожном движении и общественном транспорте, такой как текущая информация о состоянии дорожного движения, информация о погоде на дорогах, основные законы и правила дорожного движения, информация о дорожных сборах, информация о состоянии и местоположении общественного транспорта, связанная с местоположением путешественника, информация о планировании поездки, информация о совместном использовании автомобилей и т. д., с помощью различных информационных терминалов дома, в офисе, в общежитии и в крупных общественных местах, таких как торговые центры и т. д., до поездки путешественника [26].

Такие подуслуги, как

- услуга планирования поездок;
- услуга справочной информации о поездках;
- справочная информация о поездках;
- информационная служба по совместному использованию поездок.

#### (2) Услуга информирования водителей о дорожной обстановке

Эта услуга включает в себя предоставление водителям в пути информации, связанной с дорожным движением, которая может включать зоны строительства, плату за проезд, парковку, события, погоду и информацию о других видах транспорта.

Такие подуслуги, как

- служба информации о доступности дорожной сети;
- служба динамической информации о дорожной обстановке;
- служба информации о парковках;
- справочная информация по маршруту следования.

### (3) Информационная служба общественного транспорта на маршруте

Эта услуга включает в себя получение пассажирами информации об услугах общественного транспорта в режиме реального времени, например, информации о пересадках на общественном транспорте, на обочине дороги, на автобусных остановках, в автобусных дворах и на транспортных средствах общественного транспорта с помощью различных информационных терминалов.

Подсервисы, такие как

- служба информации о пересадках на общественном транспорте;
- служба информации об эксплуатации транспортных средств общественного транспорта;
- служба информации о работе транспортных средств общественного транспорта.

### (4) Указание маршрута и навигация

Эта услуга включает в себя предоставление информации группам или отдельным лицам об оптимальном маршруте к месту назначения. Оптимальный маршрут может учитывать информацию о дорожном движении в сети, информацию об общественном транспорте и сочетание мультимодальной транспортной информации.

Такие подуслуги, как

- ведение по маршруту;
- статическая навигация по маршруту;
- динамическая навигация по маршруту;
- навигация по маршруту в смешанном режиме.

### (5) Комплексная транспортная информационная услуга

Эта услуга включает предоставление путешественникам всесторонней и

комплексной транспортной информации, которая может включать информацию о различных видах транспорта, информацию о связанных с транспортом услугах, таких как стоянки, транспортные предприятия, пункты технического обслуживания транспортных средств, питание, ночлег, живописные места, торговые центры и т. д., информацию о транспортных законах, правилах, политике и планах, а также общие знания о транспорте.

Такие подуслуги, как

- информация о пунктах технического обслуживания автомобилей;
- информация о законах и правилах дорожного движения.

4. Интеллектуальные дороги и область услуг по безопасному и ассистивному вождению

Область интеллектуальных дорожных услуг и услуг по обеспечению безопасного вождения включает в себя, в частности, использование придорожных и бортовых устройств обнаружения, связи и управления, поддержку помощи водителю и управление работой транспортного средства с целью повышения безопасности и эффективности эксплуатации транспортного средства [27].

(1) Предоставление интеллектуальной дорожной информации

Эта услуга включает в себя сбор и передачу в реальном времени соответствующей информации, такой как транспортный поток, дорожные события, состояние автопарка, условия безопасности транспортных средств, физическое и психическое состояние водителя, состояние дорожной инфраструктуры, метеорологические условия и т. д., с использованием дорожной инфраструктуры, а также бортового оборудования для обнаружения, связи и управления.

(2) Вождение с поддержкой безопасности

Эта услуга включает в себя использование дорожной инфраструктуры, интеллектуальных систем связи и информации, а также интеллектуальных систем управления транспортным средством для предотвращения горизонтальных столкновений, продольных столкновений, столкновений на перекрестках, расширения поля зрения водителя, защиты пассажиров перед столкновением и предупреждения о соседнем транспортном средстве.

### (3) Автоматизированное управление транспортным средством

Эта услуга включает автоматизацию таких операций транспортного средства, как слежение за полосой движения, соблюдение дистанции, смена полосы движения, движение по кругу, позиционирование для парковки и т. д., благодаря поддержке дорожной инфраструктуры, интеллектуальных систем связи и информации, а также интеллектуальных систем управления транспортным средством [28].

### (4) Автоматизированное управление автопарком

Эта услуга включает в себя предоставление интеллектуальной информации о дорогах, и автоматическое управление транспортными средствами.

Она реализует управление многоместным автопарком с такими функциями, как автоматическая проверка въезда и выезда транспортных средств.

## 5. Область услуг по обеспечению транспортной безопасности

Область услуг по обеспечению транспортной безопасности направлена на повышение уровня безопасности дорожной сети, включая управление реагированием на чрезвычайные ситуации, управление безопасностью пассажирских и грузовых перевозок, управление безопасностью немоторизованных транспортных средств и пешеходов, а также управление безопасностью перекрестков.

### (1) Управление экстренной помощью

Эта служба включает в себя использование передового испытательного оборудования и технических средств для получения информации о чрезвычайных ситуациях, координации действий различных ведомств для быстрой мобилизации спасательных ресурсов и проведения спасательных работ. В то же время выдаются предупреждающие сообщения, чтобы избежать вторичных аварий.

### (2) Управление безопасностью на транспорте

Эта услуга включает в себя осуществление мониторинга транспортных процессов с целью снижения потенциальных угроз безопасности; автоматическое информирование о крупных авариях и предоставление программ самопомощи;

безопасное управление перегрузкой и перегрузом, а также перевозкой опасных грузов.

## 6. Услуги по управлению транспортом

Сфера услуг по управлению транспортом направлена на повышение регулирующего потенциала отрасли, эффективности и уровня обслуживания пассажирского и грузового транспорта посредством управления пассажирским и грузовым транспортом и городским общественным транспортом, включая управление отраслью и управление эксплуатацией. В основном это управление транспортом, управление городским общественным транспортом, управление пассажирским транспортом дальнего следования и управление грузовым транспортом.

### (1) Управление транспортом

Эта услуга в основном включает в себя интеграцию функций различных государственных функциональных отделов, реализацию подачи и утверждения заявок, обмен данными между функциональными отделами, выездную проверку транспортных средств, составление различных статистических отчетов и т.д., а также руководство развитием транспортной отрасли.

### (2) Управление работой общественного транспорта

Эта услуга в основном направлена на улучшение управления работой городского общественного транспорта с помощью различных технологий и средств. Она может включать в себя: получение информации о местонахождении и состоянии транспортных средств в режиме реального времени для корректировки плана работы; мониторинг состояния транспортных средств общественного транспорта, например коэффициента загрузки пассажиров, работы двигателя, давления в шинах и т. д.; использование системы планирования общественного транспорта для обеспечения надежного и удобного соединения различных видов транспорта (например, автобусов и легкорельсового транспорта); управление обслуживающим персоналом и эксплуатационными расходами. Кроме того, сюда входит предоставление пользователям услуг по аренде и вызову автомобилей в режиме реального времени [28].



Такие подуслуги, как

- мониторинг и обслуживание инфраструктуры общественного транспорта;
- управление расписанием движения автобусов;
- мониторинг условий эксплуатации транспортных средств общественного транспорта;
- планирование работы общественного транспорта (например, управление персоналом и т. д.);
- оптимизация автобусной сети.

#### 7. Интегрированные транспортные услуги (ИТУ).

Область интегрированных транспортных услуг в основном обеспечивает поддержку интермодальных перевозок пассажиров и грузов и ускоряет пересадку пассажиров/грузов между видами транспорта.

#### 8. Услуги по управлению транспортной инфраструктурой

Сфера услуг по управлению транспортной инфраструктурой включает в себя управление строительством, эксплуатацией и обслуживанием транспортной инфраструктуры с целью повышения эффективности ее эксплуатации и управления.

##### (1) Мониторинг и обслуживание транспортной инфраструктуры

Эта услуга направлена на мониторинг и управление техническим обслуживанием транспортной инфраструктуры, такой как дорожное покрытие, инфраструктура мостов, тоннелей, вспомогательные сооружения, инженерные сооружения и т. д., а также на разработку и реализацию планов управления и технического обслуживания. Кроме того, она включает в себя мониторинг метеорологических и экологических условий, влияющих на движение транспорта, таких как обнаружение дорожных метеорологических условий, включая туман, лед, снег, ветер, дождь и т.д.; и обнаружение экологических условий дорожной сети, таких как наводнения, оползни, падение камней и т.д.

##### (2) Комплексное управление информацией о дорогах высокого уровня

Эта услуга в основном обеспечивает эффективную интеграцию основных бизнес-баз данных для планирования и строительства, комплексного обслуживания, управления дорогами и эксплуатации высокочастотных автомагистралей, а также

предоставляет интерфейс платформы общественного управления для различных пользователей управления высококлассными автомагистралями.

#### 9. Область услуг по управлению данными ИТС

Область услуг по управлению данными ИТС включает в себя управление разнородными данными из различных источников, совместное использование и обмен данными ИТС, а также обеспечение поддержки данных для прикладных услуг.

##### (1) Получение данных и доступ к ним

Эта услуга в основном включает в себя использование выездного оборудования и других средств сбора данных для получения необходимых данных и доступа к данным из источников данных ИТС, таких как государственные органы и транспортные компании [29].

##### (2) Проверка и хранение данных

Эта услуга в основном предназначена для автоматической проверки формата, содержания и других данных из нескольких источников, выявления ошибочных данных, обеспечения целостности данных, и в то же время, в соответствии с определенными стандартными спецификациями для хранения.

##### (3) Обработка данных

Эта услуга в основном использует инструменты анализа данных для дальнейшей обработки сохраненных данных. Таких как статистика данных, прогнозирование тенденций, комплексный анализ и т.д., а также в зависимости от необходимости проведения специальной углубленной обработки для повышения полноты и удобства использования данных.

##### (4) Совместное использование и обмен данными

Этот сервис предоставляет пользователям каналы обмена данными и пути обмена данными с определенными разрешениями.

##### (5) Поддержка приложений для работы с данными

Эта услуга в основном ориентирована на потребности конкретных приложений, извлекает соответствующие данные для анализа и обработки, а также обеспечивает поддержку данных для конкретных приложений.

#### (6) Управление историческими данными

Эта услуга направлена на классификацию и архивирование данных, которые необходимо сохранить на длительный период времени, таких как исторические данные о транспортных потоках, информация об атрибутах дорог, управление дорожным движением, исторические данные об автобусных маршрутах, исторические данные о пассажирах и грузах.

#### (7) Обслуживание и обновление данных

Эта услуга включает в себя, главным образом, регулярное обслуживание и обновление данных, таких как проверка, ремонт, резервное копирование и пополнение новыми данными на регулярной основе, чтобы обеспечить полноту, доступность и своевременность данных[30].

#### (8) Безопасность данных

Данная услуга включает в себя предотвращение потери, утечки и злонамеренной модификации данных посредством контроля полномочий доступа пользователей, аутентификации личности, шифрования информации и других технологий, гарантирующих безопасность, для обеспечения конфиденциальности, доступности, целостности и надежности данных ИТС.

### **3.2 Анализ данных о BRT в Китае.**

В Цзинане имеется 13 маршрутов BRT, 37 дополнительных маршрутов BRT (36 обычных и 1 пиковый пригородный) и 107 остановок BRT [125]. Общая протяженность маршрутов BRT в Цзинане составляет 121,1 км, объем перевозок в среднем 167 000 пассажиров в день и 35 000 бесплатных пересадок в день [103]. Общая еженедельная частота использования линий BRT в Цзинане составляет 8546 [85]. Конкретные недельные частоты для каждого маршрута, обслуживаемого Bus Rapid Transit (BRT), показаны на рисунке 1. Динамика общей еженедельной частоты BRT показана на рисунке 2.



Рисунок 3.2- Еженедельная частота движения скоростных автобусов (BRT)

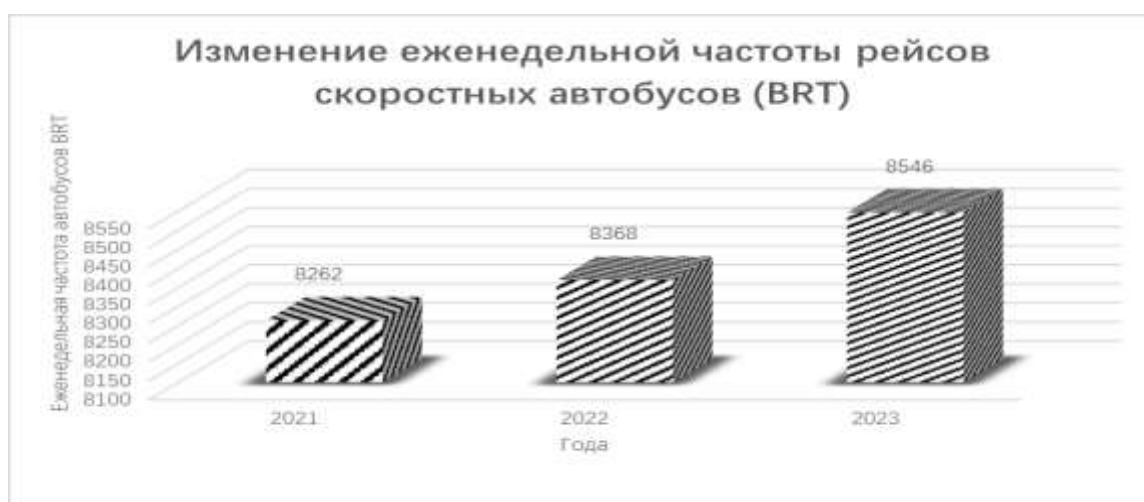


Рисунок 3.3- Изменение еженедельной частоты рейсов скоростных автобусов (BRT)

В системе скоростного автобусного сообщения (BRT) Цзинаня используются транспортные средства с левыми и правыми дверьми: 18-метровые (по шесть дверей с левой и правой стороны) и 12-метровые (по четыре двери с левой и правой стороны), которые гибко конфигурируются в зависимости от потребностей пассажиропотока [95]. Система BRT в Цзинане насчитывает 241 транспортное средство, из которых 125 - 18-метровые (шесть дверей с левой и правой стороны) и 116 - 12-метровые (четыре двери с левой и правой стороны) [94]. Все транспортные

средства - низкопольные, посадочные места находятся на одной высоте с центральными островными платформами, что удобно для пожилых пассажиров и особых групп населения.

Ожидается, что к 2025 году расстояние между двумя ближайшими автобусными остановками в центре Цзинаня будет не более 500 м, а средняя скорость обычных городских автобусов в часы пик составит не менее 16 км/ч и автобусов BRT в часы пик составит не менее 24 км/ч [95]. Доля автомобилей, пользующихся городским общественным транспортом в центре города, достигнет 50 %. Для достижения этой цели необходима помощь интегрированной платформы общественного транспорта.

Пекинские автобусы BRT имеют 5 маршрутов с погонным километражем 102,5 км и 115 остановками [123]. Среди них BRT-1 имеет самый большой пассажиропоток, в среднем 40 000 пассажиров в день [109].

Система BRT Гуанчжоу состоит из 31 линии BRT. Средняя пропускная способность системы BRT Гуанчжоу составляет 850 000 пассажиров в день, а максимальная - 960 000 пассажиров в день. Имеется 750 автобусных остановок и 1 319 автобусов BRT. Поток пассажиров в системе BRT Гуанчжоу составляет 28 000 человек. (Normal University - Jinan University) - самая большая остановка в системе BRT Гуанчжоу, длина остановки составляет 285 метров [120].

По сравнению с системами BRT в этих мегаполисах (Пекине и Гуанчжоу), система BRT в Цзинане также быстро развивается и неизбежно будет оказывать существенное влияние на существующую систему BRT по мере роста населения и спроса на общественный транспорт.

### **Операционная архитектура интеграционной платформы общественного транспорта.**

Определение интеллектуальной системы BRT

Преимущества железнодорожного транспорта связаны не только с самой дорогой, но и с интеграцией системы. Высоко интегрированная операционная система формируется вокруг выделенного пространства для путей. Самым большим недостатком железнодорожного транспорта является его высокая

стоимость, а самым большим преимуществом традиционного общественного транспорта является его низкая стоимость. Идея разработки системы скоростного транспорта заключается в объединении преимуществ этих двух систем для создания новой системы общественного транспорта. Поэтому технологически продвинутые и высоко интегрированные интеллектуальные системы играют очень важную роль в скоростном транспорте.

Так называемая интеллектуальная система BRT относится к подмножеству интеллектуальной транспортной системы, применяемой к BRT. Она полностью применяет технологию интеллектуального транспорта (ITS) для реализации интегрированного и интеллектуального мониторинга «люди-автомобиль-остановка-дорога» в системе BRT. Планирование, управление и обслуживание [98].

#### Цель интеллектуальной системы BRT

Интеллектуальная система скоростного транспорта с передовыми технологиями, эффективная работа, надежность и практичность, может полностью отображать характеристики приоритета общественного транспорта, разумной подачи транспорта, безопасности и комфорта, а также высококачественного обслуживания. В соответствии с характеристиками системы BRT, благодаря интеграции системы и оптимизации проектирования, интеллектуальная система BRT в основном достигает следующих целей:

1) Удовлетворение современных требований к управлению системы «локальный бизнес - капитальные данные - информационные данные», необходимых для работы системы скоростного автобусного сообщения, и достижение целей эффективной работы, высококачественного обслуживания и стандартизированного управления и эксплуатации;

2) Внедрение передовых технических средств для выполнения динамического позиционирования в реальном времени транспортных средств BRT и проведения видеонаблюдения в реальном времени за автобусными станциями, чтобы обеспечить объективную основу для оптимизации планирования в реальном времени;

3) Использование компьютера для оптимизации подготовки рабочего плана и

плана расписания труда, а также объединения данных, полученных с помощью динамического мониторинга, сбора в реальном времени и обратной связи от персонала, а также реализации планирования в реальном времени с помощью компьютеров;

4) Реализация автоматической идентификации транспортных средств BRT в соответствии с рабочими характеристиками BRT, выполнение относительного и условного приоритета сигнала перекрестка, выбор соответствующих методов приоритета и методов приоритета для достижения контроля приоритета сигнала на каждом перекрестке для уменьшения времени задержки на перекрестке;

5) Создание интегрированной, эффективной и всеобъемлющей сети передачи данных для удовлетворения текущих потребностей интеллектуальных систем для передачи мультимедийной информации, бизнес-планирования и мониторинга в реальном времени, а также для удовлетворения будущего расширения, реализация взаимосвязи и взаимосвязи интеллектуальной системы BRT с обычной автобусной системой. Необходимость интеграции интеллектуальной транспортной системы.

6) Создание передовой электронной системы оплаты проезда, которая отвечает требованиям эксплуатации и управления BRT, а также оперативным потребностям для предоставления пассажирам быстрых и удобных услуг.

7) Предоставление пассажирам точных, удобных и эффективных информационных услуг по различным каналам в режиме реального времени для улучшения имиджа общественного транспорта и повышения уровня обслуживания.

8) Повышение эффективности управления и эксплуатационных преимуществ BRT, а также объединение интеллектуальных систем «люди-автомобили-станции-дороги» благодаря интеграции.

9) Осуществление органической интеграции интеллектуальной системы BRT с существующей системой управления дорожным движением и системой управления работой автобусов, а также принятие стандартизированных интерфейсов для обмена информацией и бесшовной интеграции.

Функции интеллектуальной системы BRT

Для достижения основных целей эксплуатации и управления

высокопроизводительной, быстрой, пунктуальной и эффективной системой BRT интеллектуальная система будет играть в ней ключевую роль [99]. Ее общие функции в основном включают четыре аспекта: управление расписанием операций, информационное обслуживание пассажиров, приоритет сигнала автобуса, продажу билетов на вокзале.

#### (1) Управление оперативным расписанием

Оперативное диспетчерское управление в реальном времени осуществляется через диспетчерский центр с целью ведения централизованной диспетчеризации и единого управления. Диспетчерский центр имеет такие функции, как управление операционным планом, мониторинг и диспетчеризация в реальном времени, управление планом технического обслуживания транспортных средств, статистический анализ эксплуатационных данных и т.д. В диспетчерском центре также есть вспомогательная диспетчерская, обеспечивающая функции дежурства торгового персонала и запросов смен. Среди основных функций можно выделить:

##### 1) Мониторинг в реальном времени

1. Мониторинг транспортных средств в режиме реального времени: определение местоположения транспортных средств, голосовая связь или обмен короткими сообщениями между центром и группой транспортных средств.

2. Станционное видеонаблюдение: наблюдение за въезжающими и выезжающими на станцию автомобилями, потоком пассажиров на вокзале, охраной на территории, ночной охраной станции и т.д.

3. Мониторинг станций: автоматическая идентификация въезжающих и выезжающих транспортных средств, видеонаблюдение, отображение и трансляция информации об отправлении, диспетчерских инструкций и т. д.

##### 2) Планирование в реальном времени

1. Компьютерное планирование в реальном времени: автоматическое отправление транспорта согласно плану и расписанию, отправление вручную, экстренное расписание, экспресс доставка до крупных вокзалов, подача шаттлов и т. д.

2. Информационное взаимодействие между центром и группой транспортных



средств: предоставление средств информационного взаимодействия в режиме реального времени для отправки инструкций и отчетов между диспетчерским центром и водителями.

### 3) Передача информации об отправлении

Происходит путем установления табло с инструкциями по отправке и оборудования для трансляции на всех станциях (в том числе в холле персонала), чтобы транслировать информацию, такую как номер транспортного средства, время и тип отправления транспортных средств, которые будут отправлены [100].

### 4) Статистический анализ эксплуатационных данных

Происходит анализ и обработка промежуточных процессов и данных повседневных операций, а также их классификация с помощью профессиональных программных инструментов, чтобы найти соответствующие законы для управления операциями и планирования.

### 5) Запрос информации о персонале

1. Присутствие торгового персонала: диспетчерский центр может отслеживать присутствие торгового персонала на дежурстве, что минимизирует влияние на подачу транспорта из-за временного отсутствия торгового персонала.

2. Запрос смены дежурства: для того, чтобы торговый персонал мог удобно проверять, когда и где выйти на следующую рабочую смену.

### (2) Служба информации для пассажиров

Предоставление пассажирам комплексных информационных услуг может обеспечить пассажирам удобство в поездках, привлечь путешественников к использованию экспресс-автобусов, улучшить имидж общественного транспорта и улучшить качество обслуживания. Информационные услуги для пассажиров включают информационные услуги в автомобиле и информационные услуги по станциям.

### 1) Консультационные услуги на автобусных остановках;

1. Автоматически транслируется динамический прогноз времени прибытия следующего поезда и его текущее положение между станциями с помощью голосовых помощников и текстовых оповещений.

- 2) Ручное/автоматическое оповещение служебной информации;
- 3) Автоматические голосовые подсказки для автомобилей, въезжающих и выезжающих на станцию;
- 4) Информационные услуги в автобусе.

1. Ручное/автоматическое управление передает информацию о въезде и выезде транспортного средства и соответствующую служебную информацию в голосовом и текстовом виде;

2. Отображение текущего местоположения транспортного средства и информации о подаче транспорта и т.д.

3. Трансляция информации внутри и снаружи вагона;

4. Трансляция социально-важных новостей и развлекательного контента в режиме реального времени.

Контроль относительного и условного приоритета сигналов реализован на перекрестках дорог, чтобы транспортные средства BRT могли сокращать задержки и защищать интересы большинства путешественников.

### (3) Система продажи и проверки билетов

1) Ручная/автоматическая загрузка билетов и загрузка данных о билетах;

Повышение скорости входа и выхода пассажиров со станций с помощью эффективных методов продажи и проверки билетов и своевременной загрузки данных о билетах в расчетный центр.

2) Управление билетами;

Расчет доходов от тарифов, сбор информации о билетах на каждой станции в режиме реального времени, хранение и учет билетов, а также регулярное предоставление отчетов об оценке стоимости проезда.

### 5. Физическая структура системы

Интеллектуальные системы BRT включают подсистему сетевой передачи, электронные системы диспетчерского центра (подсистемы планирования операций, интеллектуальные интегрированные платформы управления, подсистемы корпоративной MIS), бортовую подсистему позиционирования, электронные подсистемы транспортного средства и транспортной платформы, подсистему

управления парковками, подсистему управления транспортным приоритетом и приоритетом сигналов, подсистему видеонаблюдения станции и др., при этом все они работают одновременно. Таким образом, они обеспечивают стабильную и надежную платформу поддержки оборудования для интеллектуальной системы BRT[101].

#### 1) Подсистема сетевой передачи

Роль подсистемы сетевой передачи заключается в передаче изображений мониторинга, управления операциями и данных информационного обслуживания между станциями, депо и диспетчерскими центрами. Создавая выделенную сеть связи или используя общую сеть по выделенным полосам, можно интегрировать различные методы связи (беспроводные/проводные) для соединения различных станций, депо и диспетчерских центров [102].

#### 2) Подсистема планирования операций

Основные функции подсистемы диспетчеризации операций включают в себя: подготовку и модификацию рабочего плана, подготовку и изменение плана распределения транспортных средств и труда, регистрацию и проверку торгового персонала, вспомогательную диспетчеризацию в режиме реального времени, информацию о расписании выпуска, статистику, анализ и обратную связь эксплуатационных данных.

#### 3) Подсистема позиционирования автомобиля, бортовая электронная подсистема

Эксплуатационные транспортные средства являются важной частью системы общественного транспорта. Основным объектом планирования работы являются работающие транспортные средства. Понимание работы транспортных средств и полос движения в реальном времени и своевременный обмен информацией с работающими транспортными средствами являются неотъемлемыми требованиями для интеллектуального планирования операций [103]. Используя технологии позиционирования транспортных средств, мобильную связь, технологии автоматической идентификации транспортных средств и технологию

географических информационных систем, мониторинг местоположения в реальном времени и обмен информацией о работающих транспортных средствах используются для предоставления точной информации о работе транспортных средств и полос движения в реальном времени для интеллектуальной диспетчеризации.

#### 4) Электронная подсистема транспортной платформы

Основные функции электронной системы включают в себя: продажу электронных билетов и управление данными билетами; управление станциями и аварийное реагирование; информационные услуги для пассажиров; точную навигацию при въезде в транспортное средство и управление дверью с экрана платформы.

#### 5) Подсистема управления парковками

Функция управления стоянками заключается в оказании помощи в работе системы диспетчерского управления. Система управления стоянками должна иметь возможность управлять информацией о транспортных средствах и персонале, а также перераспределять их, чтобы обеспечить эффективное и упорядоченное управление парковочными местами.

#### 6) Подсистема управления приоритетом

Данная подсистема реализует «приоритет сигнала», предоставляя приоритет различным сигналам светофора для скоростных транспортных средств, тем самым данные скоростные транспортные средства пользуются большим правом проезда при пересечении перекрестков, чтобы повысить надежность и пунктуальность работы системы.

#### 7) Подсистема видеонаблюдения станции

Подсистема видеонаблюдения станции позволяет диспетчерскому центру своевременно отслеживать состояние работы станций, депо и полос движения, а также может предоставлять такую информацию, как сбор и распределение пассажиров, порядок работы на месте и состояние безопасности на месте.

#### 8) Подсистема MIS

Система MIS предприятия скоростного автобусного сообщения тесно

интегрирована с другими подсистемами интеллектуальной системы для реализации совместного использования информационных потоков, бизнес-обработки, эффективного управления потоками капитала и обеспечения других подсистем с хранением данных и статистическим анализом, вспомогательной поддержкой принятия решений и т.д [104].

#### 9) Интеллектуальная интегрированная платформа управления

Интеллектуальная интегрированная платформа управления должна не только обеспечивать основные функции всей интеллектуальной системы, включая управление информацией, управление данными и т.д., но также осуществлять централизованное управление другими системами, включая отображение электронных указателей станций, трансляцию кабельного вещания. а также информационный запрос на сенсорном компьютере. обслуживание и обновление веб-сайта BRT и т. д.

#### 6. Системная координация в рамках подсистем BRT

Между вышеупомянутыми подсистемами устанавливается следующая связь:

1) BDS-терминал электронной системы транспортного средства непрерывно собирает информацию о местоположении транспорта, передает ее в диспетчерский центр через беспроводную сеть и отображает ее на платформе BDS; диспетчерский центр также может отправлять диспетчерские команды через беспроводную сеть для настройки работы транспортного средства, тем самым помогая водителю справиться с нестандартными ситуациями [105].

2) После ежедневного ввода транспортных средств в эксплуатацию и выполнения дежурных задач, система управления парковкой способна организовывать выезд и стоянку в соответствии с планом-графиком работы диспетчерского центра, а также осуществлять управление каждой сменой и подготовку к работе следующей смены. Торговый персонал и персонал автостоянки могут просматривать текущие схемы планирования операций с помощью сенсорного устройства запроса информации и доски с инструкциями по отправке на стоянке, а также могут следить за трансляцией, чтобы более оперативно подавать транспорт.

3) Когда транспортные средства проезжают через платформу, оборудование автоматической идентификации транспортных средств распознает проходящие транспортные средства и отправляет информацию на следующий перекресток. Система управления приоритетом сигналов при этом предоставляет услуги приоритетного сигнала для ускорения транспортных средств и экономии времени.

4) Каждая станция и депо контролируются видеосистемой станции, которая передает видеoinформацию обратно в диспетчерский центр через систему сетевой передачи данных, которая в дальнейшем отображается на телевизионной стене, чтобы диспетчер мог вовремя осознать ситуацию на станции.

5) Местоположение транспортного средства и предполагаемое время прибытия отображаются на большом проекционном экране диспетчерского центра. Благодаря электронным девайсам, сенсорному устройству запроса информации и веб-сайту BRT, установленному на станции, путешественники могут получать своевременную и точную информацию об эксплуатации транспортных средств и предоставляемых услугах [106].

6) Депо, платформы и диспетчерские центры передают видео, звуковые (голосовые) сообщения и данные через сетевую систему передачи; локальная сеть диспетчерского центра связана с автобусной компанией через сеть общего пользования.

7) В диспетчерском центре через интеллектуальную интегрированную платформу управления, систему планирования операций и систему MIS происходит органическая интеграция различных бизнес-процессов и процессов обработки данных, а также диспетчеризация операций и рабочей силы, управление продажей и контролем билетов, оснащение оборудования, что в целом отражается в интегрированной системной среде. Можно говорить о том, что одновременно происходит управление материальными потоками, транспортными средствами, станциями, парковками, оценка производительности труда и другие бизнес-задачи.

По сравнению с высокими инвестиционными затратами на городской железнодорожный транспорт, система скоростных перевозок становится все более популярной в странах по всему миру из-за ее низкой стоимости и высокой

окупаемости инвестиций. Автобусная система BRT обладает преимуществами гибкости и мобильности, а также может обеспечить более качественные транспортные услуги для жителей пригородных районов с низкой плотностью населения и жителей малых и средних городов. Автобусы BRT предоставляют жителям удобные и эффективные услуги общественного транспорта, а также могут быть преобразованы в отраслевые транспортные услуги, позволяющие садиться в автобус и выходить из него на пригородных остановках [107].

Поскольку города обычно густонаселены, а методы их развития более «урбанизированы», общественный транспорт играет жизненно важную роль в этом процессе. Частные автомобили быстро заполнили улицы города, загрязняя окружающую среду и довольно быстро приходя в негодность. Успех городского развития обычно зависит только от качества и доступности общественного транспорта. Однако общественный транспорт с высокой пропускной способностью не может уменьшить загруженность дорог или способствовать развитию городов. Для того, чтобы общественный транспорт продвигал рентабельные и осуществимые гибридные проекты, необходима система общественного транспорта для удовлетворения текущих и будущих потребностей в транспорте.

Тем самым можно сказать, что общая цель заключается в безопасной, экономичной и эффективной транспортировке людей и товаров при минимальных ресурсах и затратах на охрану окружающей среды. Системы городского общественного транспорта играют ключевую роль в достижении этой цели. Общая сеть автобусных линий относительно неэффективна, а система скоростного транспорта большой емкости (BRT) открывает новые возможности для развития городского общественного транспорта [6].

В процессе внедрения интегрированной платформы общественного транспорта необходимо объединить работу систем данных о городском трафике и систем обработки данных компаний общественного транспорта, скоординировать развертывание систем управления движением, прогнозирования и планирования, а также преодолеть недостаток обмена информацией в традиционных системах управления движением и проблему фрагментарного управления данными между

различными городами.

Интеграционная платформа общественного транспорта — это платформа для анализа и обмена информацией об общественном транспорте с использованием архитектуры больших данных для достижения общенациональной взаимосвязи информации о дорожном и общественном транспорте, унификации информации о планировании, например, автобусов BRT, совместного развития и управления эксплуатацией [5].

Новая интегрированная платформа общественного транспорта включает пять интеллектуальных модулей: интеллектуальную платформу сбора данных, интеллектуальную платформу планирования управления, интеллектуальную платформу информационного центра, интеллектуальную платформу взаимодействия и интеллектуальную платформу оценки.

Интеллектуальная платформа сбора данных использует спутниковое оборудование, оборудование CCTV, радары, счетчики пассажиропотока, турникет и другое оборудование для сбора всех видов основных данных о городских автобусах BRT и обычных автобусах для обеспечения поддержки интеллектуального информационного центра большими данными [109].

Основная роль интеллектуальной платформы управления заключается в планировании работы автобусов, моделировании маршрутов с помощью платформы интеллектуального информационного центра, обработке данных, прогнозировании и анализе для обеспечения безопасного и оперативного управления BRT и обычными автобусами [110].

Платформа интеллектуального информационного центра, являющаяся ядром всей платформы, обладает возможностями обмена данными, анализа данных, обучения и моделирования искусственного интеллекта, автоматического управления, автоматической настройки, а также может обрабатывать другие данные, связанные с городским движением. Является важным центральным узлом для хранения и вывода данных.

Интеллектуальная платформа взаимодействия может предоставлять информационные услуги автобусной системы BRT, обеспечивая пассажиров



различными данными, быстрыми и интеллектуальными услугами. Обеспечение интерактивной связи между платформой системы и пассажирами [111].

Интеллектуальная платформа оценки, благодаря всестороннему анализу всевозможных факторов, влияющих на качество обслуживания, создает систему стандартов оценки с комплексной поддержкой обратной связи для оптимизации платформы и выработки решений [112].

Интегрированная платформа общественного транспорта способна собирать и обрабатывать соответствующие данные путем объединения разнородных данных между большой базой данных и городской интеллектуальной платформой управления дорожным движением для составления пакетов данных о дорожном движении, например, о притоке общественного транспорта на полосы BRT. Решить проблемы пробок и снизить транспортную нагрузку.

Интегрированная платформа общественного транспорта способна собирать и обрабатывать соответствующие данные из других городов, загружаемые в большую информационную базу. Например, интегрированная платформа общественного транспорта должна обеспечивать функции межгородского общественного транспорта, перераспределения общественного транспорта, трансфера пассажиров, анализа данных и прогнозирования.

Интегрированная платформа общественного транспорта работает следующим образом: сбор информации, обработка информации, хранение данных, обмен данными, применение информации и пользовательский терминал. Сбор информации включает в процесс сбор данных из большинства источников информации системы BRT, включая автобусные компании, пассажирский транспорт и дорожное движение. Для обработки информации используются такие технологии, как многоклассовая модель обработки данных, распределенная архитектура больших данных, технология многоклассового анализа, анализ и обработка данных искра (Spark), обработка данных Хадооп (Hadoop), анализ и прогнозирование данных искусственного интеллекта AI, сетевые облачные вычисления и сетевые облачные сервисы. Обработанные данные применяются для интеллектуального планирования, интеллектуального анализа пассажиропотока,

интеллектуальной системы оценки и интеллектуальной системы управления. Пользователем интеграционной платформы общественного транспорта является департамент управления дорожным движением. Режим работы интеграционной платформы общественного транспорта показан на следующем рисунке 3.

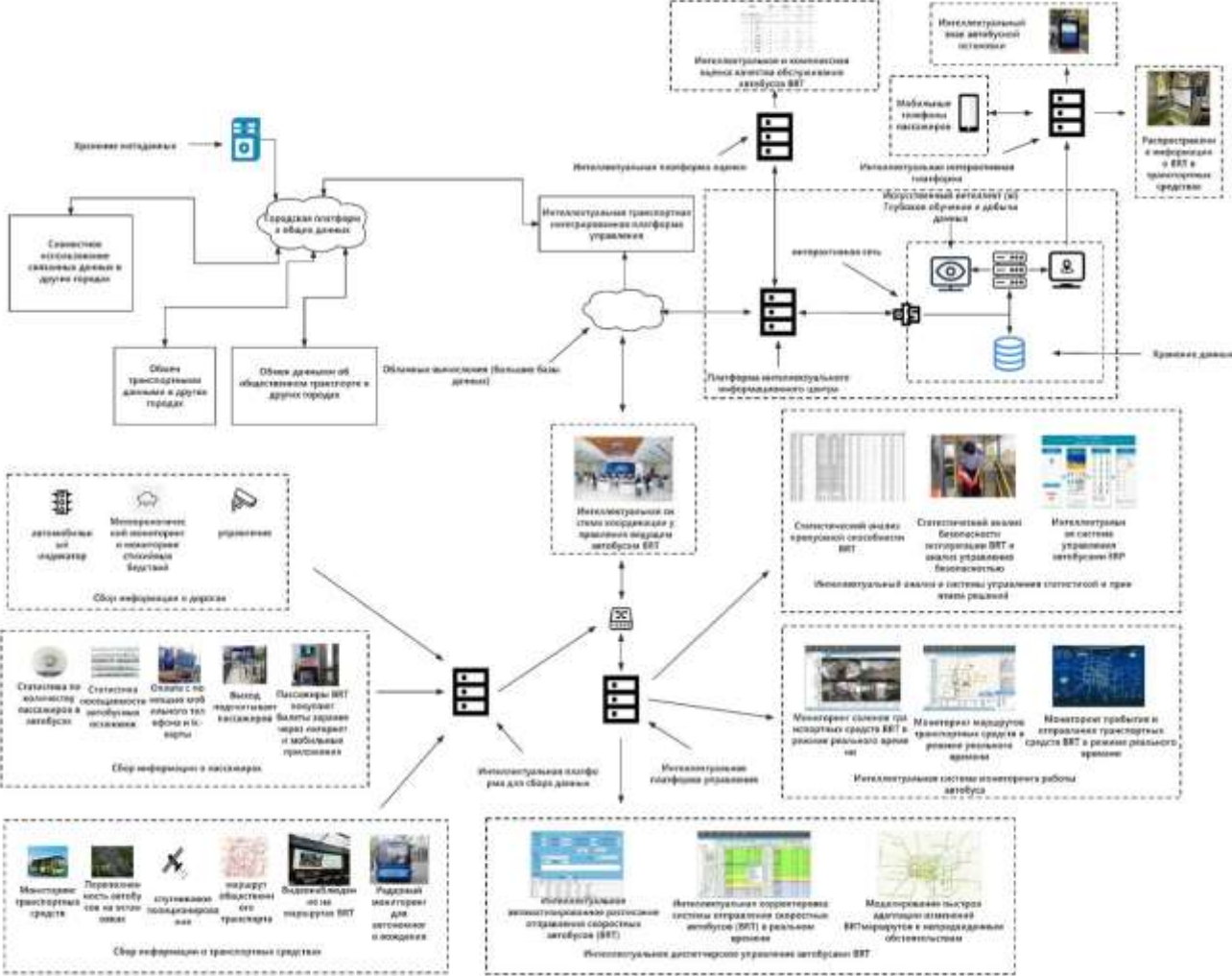


Рисунок. 3.4- Архитектура интеграционной платформы общественного транспорта

**Подсистема планирования и управления интегрированной платформой общественного транспорта.**

Система моделирования искусственного интеллекта (AIS) — это система симуляции, в которой системы искусственного интеллекта задают маршруты, проводят автоматическое обучение вождению и решают различные аварийные ситуации в автобусах BRT и обычных автобусах. Например, система вождения

Huawei Advanced Intelligence (Advanced Driving System) является одной из таких систем.

Интеллектуальные системы корректировки автобусных маршрутов можно рассматривать как системы, которые вносят изменения в установленные маршруты в случае перегруженности, аварий и проблем с организацией движения на первоначальных маршрутах BRT и обычных автобусов. Оптимальным решением является остановка в ближайшем месте к первоначально запланированной остановке или поиск наилучшего альтернативного маршрута.

Intelligent Variable Guided Lane System (Tidal Lane), Интеллектуальная система переменного управления полосами движения (Tidal Lane) – это система, которая позволяет обычным автобусам и автомобилям въезжать на полосы, предназначенные только для BRT, не мешая проезду BRT, используя интеллектуальные светофоры, светодиодные индикаторы регулируемых полос и роботизированные баррикады в соответствии с изменениями в транспортном потоке в случае, если поток BRT относительно небольшой и нет необходимости в проезде большого количества транспортных средств BRT. Это позволит уменьшить и облегчить дорожные заторы.

### **3.3 Интегрирование системы BRT с новой интеллектуальной транспортной системой**

С прогрессом и развитием транспортных знаний, интеллектуальные системы стали занимать большую часть в нашей повседневной жизни и работе. Интеллектуальная система приносит нам много удобств и быстрое развитие образа жизни, обеспечивая доступ к различным местам для путешествий, экономя время. Все больше и больше интеллектуальных структур, которые появляются в нашей повседневной жизни, используют интеллектуальную структуру BRT в области транспортировки. Благодаря подачи информации в реальном времени и точности интеллектуального транспорта, недостатки, характерные для BRT в общественном транспорте, постепенно теряют свою актуальность. С оптимизацией процессов организации движения, простой метод планирования BRT будет преобразован в

более интеллектуальные и удобные услуги посредством адаптивности, а более точное обслуживание пассажиров и драйверы автобусов будут направлены на улучшение интеллектуальных связей посредством исследований для достижения конечной цели улучшения качества транспортных услуг автобусов в целом.

Интегрируя систему BRT с новой интеллектуальной транспортной системой, можно добиться эффективных результатов в объединении информации о пункте назначения пассажиров с информацией о позиционировании транспортных станций. Если пассажиры решили купить билеты BRT через Интернет, то они автоматически отображаются в системе интеллектуального управления [1].

В то же время класс планирования BRT может вносить адаптивные корректировки через пассажирский трафик. Когда пассажирский трафик увеличивается, время подачи транспорта будет сокращено, а запланированный класс будет увеличен. Во время пиковых показателей, пассажирский трафик удваивается. Первоначальное время отъезда составляет 10 минут, однако оно может быть сокращено до 5 минут. Кроме того, можно адаптивно регулировать количество пассажиров каждого BRT. Для адаптивных корректировок наиболее важными данными являются точные местоположения начальных станций и станций назначения.

Сегодня существует много способов продажи билетов на BRT, среди которых выделяют такие как: мобильный платеж, Интернет-покупку, автоматическую билетную машину и др. Когда пассажиры проходят через ворота станции, они понимают, что стартовая станция уже была изучена системой, предоставляя наиболее выгодные варианты транспортных перевозок. Поэтому, когда пассажиры покупают билеты каким-либо из представленных способов, они могут получить точные данные о конечной точке путешествия. Благодаря полученной информации о пассажирском трафике в реальном времени, интеллектуальная система управления движением имеет своевременное планирование BRT – «Увеличение количества транспортных средств» и «Сокращение времени подачи транспорта».

Применение уже известных интеллектуальных автобусных систем включает в себя построение информационных технологий и улучшение удобства

информационных данных и технологий.

### Возможности улучшения внедрения и развертывании ИТС

Обновление платформы надзора за эксплуатацией автобусов и реализация анализа данных о дорожных условиях с помощью стыковки спутниковых карт. Пассажирский трафик отражается в приложениях мониторинга автобусных карт и мобильных телефонах. Кроме того, осуществляется обратная связь об общих данных о состоянии работы автобуса в реальном времени.

Улучшение офисной системы управления ERP (Enterprise Resource Planning) автобуса. Водитель может завершить управление транспортом через мобильный телефон, а также отслеживать состояние автобуса на стоянке и за ее пределами. Менеджеры могут в любое время проверять неисправности обратной связи автомобиля с автобусами в системе ERP. Это является частью интеллектуального управления автобусными транспортными средствами.



Рисунок 3.5 – Улучшенная офисная система ERP

Объединенные крупные технологические компании, такие как Tencent и Alibaba, создают платформу больших данных (Big Data) сети автобусов.

Внедрение новой платформы статистики трафика клиентов. На подобной платформе происходит сбор статистических данных о потоках пассажиров благодаря установленным на борту транспорта электронным приборам для подсчета потока пассажиров и идентификации целей в этой области. Тем самым происходит подсчет количества людей, садящихся и выходящих из автобуса. Через платформу

статистики потока пассажиров, можно наблюдать за такими данными, как пиковые периоды, потоки движения, участки с транспортными авариями в режиме реального времени.

### **Развитие науки и технологий**

Форма «WECHAT Public Account+Management Platform» используется для создания общего наблюдения за перемещением пассажиров. Пассажиры, выбирающие способы перемещения индивидуальным транспортом, сканируют код через свои мобильные телефоны и вводят необходимые транспортные данные. Платформа автоматически анализирует спрос на транспорт, одновременно разрабатывая индивидуальные платформы онлайн-платежей для общественного транспорта.

Чтобы получать точные данные о производимых автобусных услугах, например, на мобильных телефонах родителей для контроля перемещений их детей, разрабатываются определенные системы, позволяющие считывать, когда студенческие карты начинают использоваться в автобусе, после чего информация передается на мобильный телефон. Подобные технологии преимущественно используются для обеспечения безопасности несовершеннолетних.

Плата путем сканирования кода мобильным телефоном используется для предоставления более удобных услуг путешествий.

В таблице 3.1 представлены данные о способах автобусной оплаты за последние 4 года в китайских небольших и средних городах. Среди них, доля мобильных платежей увеличивается с каждым годом.

Таблица 3.1 – Способы автобусной оплаты в Китае

Год	Оплата наличными (юаней)	Оплата автобусной картой (юаней)	Оплата с помощью сканирования мобильного кода (юаней)	Всего (юаней)
2016	17243590	20074525	-	37318115
2017	16065133	20985201	-	37050334
2018	14802813	22154053	2571997	39528863
2019	14847133	30289273	7962959	53099365
2020	7398004	16308572	4765451	28472027



Рисунок 3.6 – Различные способы оплаты автобуса в Китае

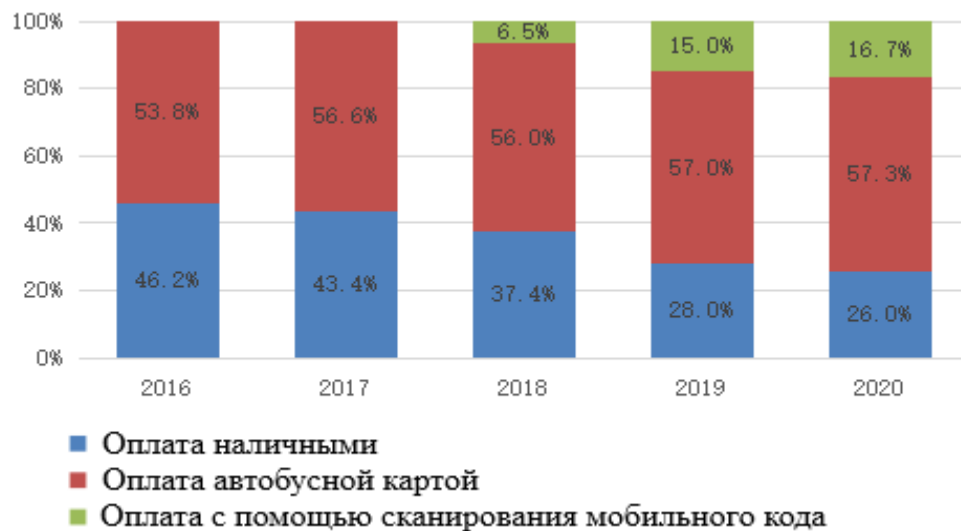


Рисунок 3.7 - Различные способы оплаты автобуса в Китае в долевом соотношении

### **Влияние интеграционной платформы общественного транспорта.**

Интеграционная платформа общественного транспорта объединяет существующую сеть ресурсов данных общественного транспорта, создает центр больших данных общественного транспорта, обобщает ресурсы данных городского транспорта, повышает уровень управления департамента управления общественным транспортом, осуществляет стандартизированную обработку данных и статистический анализ дорог, мобильности транспортных средств, основных данных транспортных средств общественного транспорта и маршрутов

общественного транспорта, а также обеспечивает своевременность и точность принятия решений по планированию. С помощью мониторинга данных интеграционная платформа общественного транспорта может отследить пассажиропоток, поток транспортных средств, безопасность вождения и другие данные, которые важны для безопасности движения.

С функциональной точки зрения интегрированная платформа общественного транспорта способна осуществлять комплексный и удобный мониторинг пассажиропотока, транспортного потока, безопасности движения и условий эксплуатации транспортных средств в режиме реального времени.

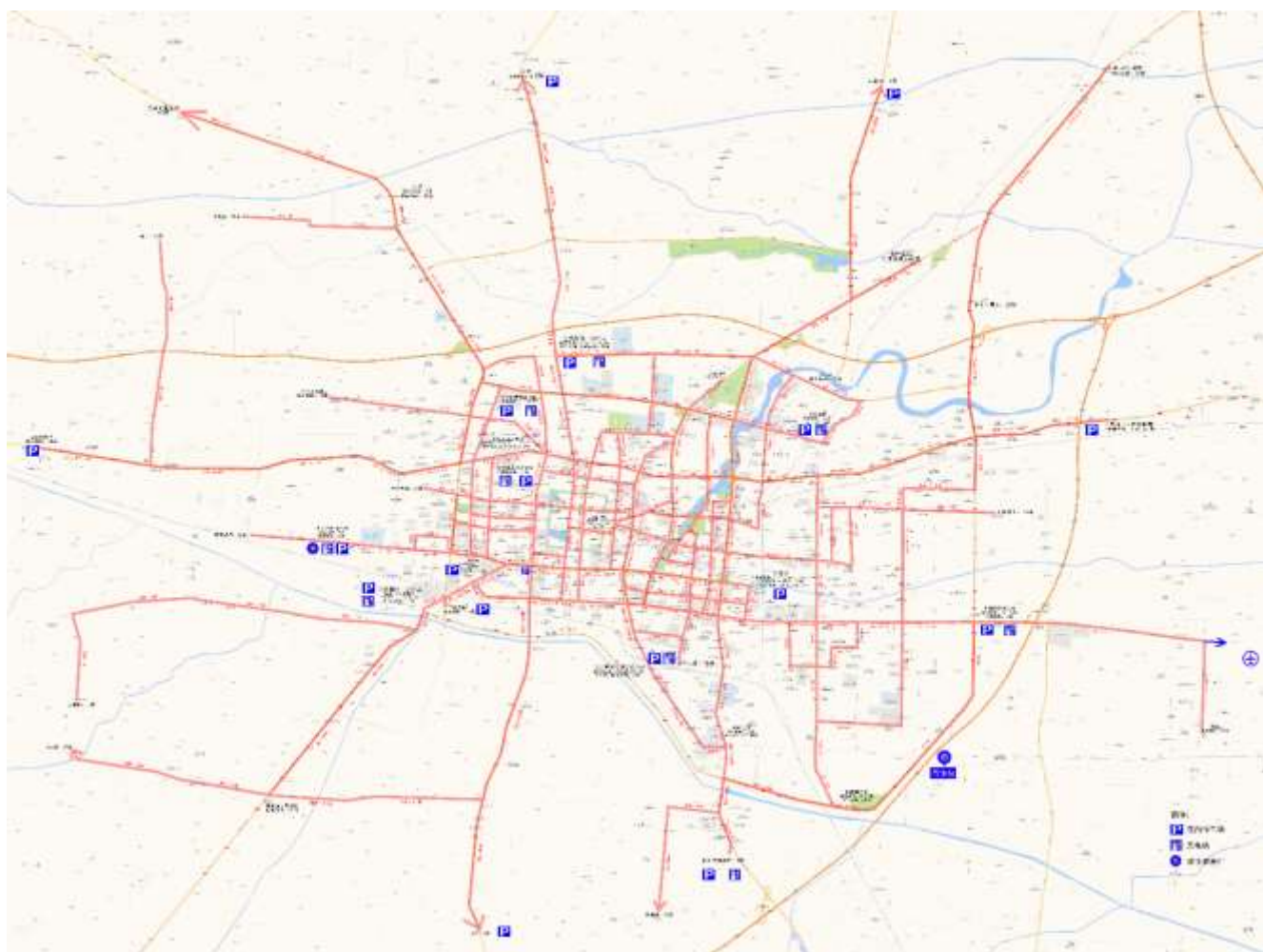


Рисунок 3.8- Карта городской автобусной сети

С целью анализа и принятия решений интегрированная платформа общественного транспорта может проводить многосторонний анализ и прогнозирование, например, анализ пассажиропотока, анализ маршрутов, анализ расположения автобусных узлов, анализ плотности маршрутов, анализ покрытия автобусных остановок и многоугольное прогнозирование состояния работы



автобусов, как показано на рисунке 3.8. На нем показана вся сеть управления городскими автобусными маршрутами малой и средней автобусной компании в Китае. Взаимодействуя между собой, система может предсказывать прибытие автобусов в режиме реального времени, планировать поездки пассажиров, своевременно корректировать автобусные маршруты и отображать другую важную информацию.

При обмене данными она может достичь нулевой задержки и нулевого препятствия при взаимодействии с другими городами. Возьмем, к примеру, пассажиропоток на остановке транзитного городского автобуса в малом или среднем городе Китая. В таблице 3.2 и на рисунке 3.8 показано, что обмен данными и связь с транзитными компаниями в другом регионе необходимы в случае города с большим количеством пассажиров на остановках.

Таблица 3.2– Пассажиропоток на транзитных остановках

Остановки транзитных автобусов	Транзитные автобусы	Пассажиропоток на транзитных автобусных остановках (Человек/день)
Люлинь	Г: (№48) М: (№902)	2350
Саньлихэ	Г: (№1, №19, №32) М: (№ K1, №611)	1995
Дагаочжуан	Г: (№3) М: (№ 915)	989
Ву Дянь	Г: (№5, №60) М: (№ 603)	1830
Чжанвань	Г: (№6) М:(не)	1248
Цукудутун Шунсинюань	Г: (№8) М:(№2261, №2262)	1116
Сяо-лю	Г: (№18, №50) М:(№619)	886
Г: Городских маршрут М: Межмуниципальный		



Рисунок. 3.9- Карта маршрутов автовокзала Люлиньг Транзит

### Выводы

Архитектура интегрированной платформы общественного транспорта повышает эффективность управления движением за счет интеграции ресурсов городского транспорта, централизованного управления и планирования информации о движении. Это помогает уменьшить заторы на дорогах, снизить количество дорожно-транспортных происшествий и повысить общее качество работы транспортной системы. Архитектура платформы позволяет оптимизировать планирование маршрутов, время работы общественного транспорта, обеспечить более удобное и эффективное обслуживание пассажиров. Пассажиры могут получить доступ к информации об автобусах, метро и других видах транспорта в режиме реального времени через платформу, чтобы улучшить свои впечатления от поездки. Интегрированная архитектура платформы общественного транспорта помогает реализовать эффективную связь и совместное использование ресурсов между различными видами транспорта, а также способствует эффективному соединению внутреннего и внешнего транспорта в городе. Она помогает создать интеграцию управления операциями и услугами и повысить общую эффективность городских транспортных систем. Платформа выполняет функции сбора, хранения,

обработки и анализа данных о дорожном движении, обеспечивая поддержку принятия решений для отдела управления дорожным движением. Анализ данных о дорожном движении позволяет оптимизировать планирование движения, разработку маршрутов и управление в чрезвычайных ситуациях, что повышает научный и интеллектуальный уровень управления городским движением. Архитектура интегрированной платформы общественного транспорта является важной частью интеллектуального транспорта, а ее создание способствует развитию интеллектуального транспорта. С помощью информационных технологий она реализует интеллектуальное управление и обслуживание транспортной системы и оказывает мощную поддержку устойчивому развитию городов.

#### 4. Расчет схемы BRT для города Цзинань

##### 4.1 Методы реализации анализа применения ИТС

###### Анализ результатов опроса OD

В данном параграфе проводится анализ результатов опроса OD (Origin Destination Survey). Количество участников – 1813. Вопросы опроса включают в себя такие темы, как:

- основной метод путешествия;
- время и место отправления;
- время и место прибытия в пункт назначения;
- время в пути;
- способ путешествий;
- причины выбора определенного вида транспорта.

Так, опрос показал, что общественный транспорт использовался 449 раз, что составило 24,75 % от общего количества путешествий. Конкретные данные диаграммы находятся в таблицах 4.1-4.2

Таблица 4.1 – Статистика способов путешествий людей

Вид транспорта/способ передвижения	Частота
Рейсовый рабочий автобус	<b>5</b>
Ходьба	<b>41</b>
Такси	<b>1</b>
Автобус	<b>449</b>
Двухколесные электрические велосипеды	<b>762</b>
Мотоцикл	<b>11</b>
Велосипед	<b>65</b>
Маленький электромобиль	<b>44</b>

Автомобиль (в качестве пассажира)	20
Личный автомобиль (вождение)	412
Другой	3

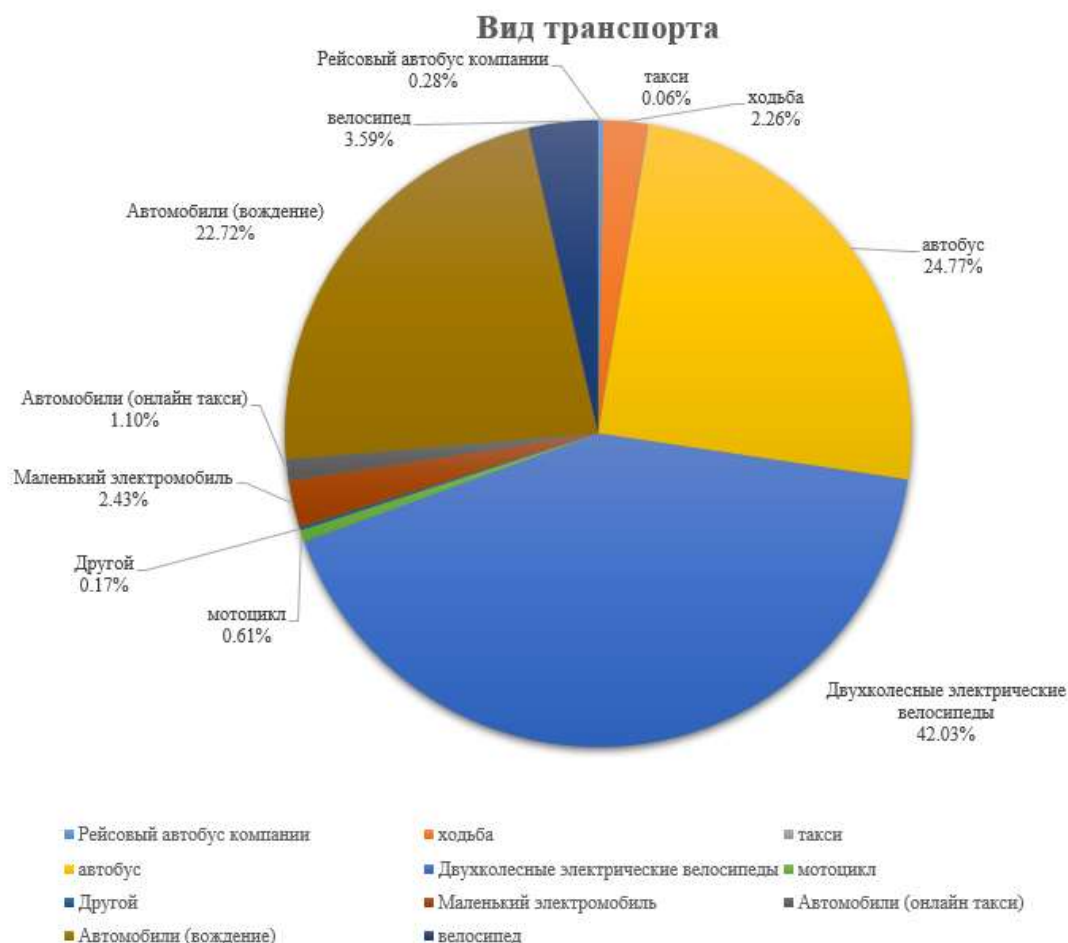


Рисунок 4.1 – Круговая диаграмма различных методов путешествия  
**(1) Анализ спроса на автобусы**

Кроме того, среди всех ответов (449) о предпочтении автобусов, можно четко проследить взаимосвязь между временем путешествия и пассажирским потоком.

Таблица 4.2 – Расписание поездок на автобусе

Время в течение дня	Число пассажиров
0:00:00 - 1:00:00	0
1:00:00 - 2:00:00	2
2:00:00 - 3:00:00	3
3:00:00 - 4:00:00	2

4:00:00 - 5:00:00	0
5:00:00 - 6:00:00	9
6:00:00 - 7:00:00	69
7:00:00 - 8:00:00	95
8:00:00 - 9:00:00	39
9:00:00 - 10:00:00	17
10:00:00 - 11:00:00	19
11:00:00 - 12:00:00	45
12:00:00 - 13:00:00	13
13:00:00 - 14:00:00	32
14:00:00 - 15:00:00	21
15:00:00 - 16:00:00	11
16:00:00 - 17:00:00	5
17:00:00 - 18:00:00	26
18:00:00 - 19:00:00	28
19:00:00 - 20:00:00	11
20:00:00 - 21:00:00	1
21:00:00 - 22:00:00	0
22:00:00 - 23:00:00	1
23:00:00 - 24:00:00	0



Рисунок 4.2 – Время отправления и количество пассажиров

Было обнаружено, что в пиковый период поездок (утром с 6 до 8 часов и с 11 до 12, а также вечером с 17 до 19 часов) трафик пассажиров значительно увеличивается, достигая своего абсолютного максимума в период с 7:00 до 8:00. Основной группой пассажиров являлись офисные работники и студенты. Начиная с 8:00, спрос на общественный транспорт резко падает. В это время основными группами пассажиров были пожилые люди на пенсии. С 9:00 до 10:00 спрос продолжает снижаться. За этот период в таблице 4.2 перечислено время выполнения поездок нескольких автобусных линий, и было обнаружено, что одно время поездки транспортного средства составило 57,16 минуты. В течение пикового спроса данный период увеличивался почти до 2 часов, при этом время подачи транспорта и среднее значение подачи были сокращены.

В течение периода с 10:00 до 11:00 было обнаружено, что пассажиропоток в основном не был увеличен. Начиная с 11:00 происходит постепенное увеличение. Причиной роста являются графики работы персонала, которые постепенно начинают выходить на обед, либо окончание школы у начальных классов. В период утреннего пика нет таких больших потоков, когда утренний пик происходит потому, что многие подразделения и школы обедают. В течение этого времени интервал подачи может быть скорректирован до 10 минут. Однако с 12:00 пассажиропоток снова начинает сокращаться, из-за чего интервал подачи транспорта был скорректирован до 15 минут. Общее уменьшение пассажирского потока продолжается до 17:00. Однако с 17:00 движение пассажиров и спрос на транспорт значительно увеличилось, являясь причиной наступления вечернего пика, который длится до 19:00, постепенно снижаясь до 21:00, когда спрос достигает своего минимума.

Внезапный всплеск раннего пикового пассажирского движения с 6:00 до 8:00 значительно повлиял на мощность пассажира автобуса. На существующей стадии проблема решается с помощью временного увеличения количества транспортных средств, но точное знание пассажирского потока и спроса по-прежнему требуют дальнейшего изучения для правильного распределения и подачи транспорта в течение дня.

Кроме того, существует огромный разрыв в спросе с 8:00 до 9:00, который требует адаптивной системы для корректировки транспортного движения. Тенденции количественного изменения, своевременное увеличение или уменьшение транспортных средств и автобусных операций являются основными задачами, требующими внимания транспортных операторов и инженеров. Использование адаптивных систем автобусов может снизить эксплуатационные расходы на автобус и увеличить разумное использование ресурсов.

Таблица 4.3 – Данные о распределении автобусов на разных линиях

Автобусная линия	Среднесуточный пассажирский транспорт (число)	Время одностороннего движения (в минутах)	Интервал распределения подачи транспорта (в минутах)
1	7601	70-80	6-10
2	4636	42-45	7-12
3	4323	72-78	8-14
4	2384	60-70	10-15
5	4170	70-75	10-14
6	3319	50-60	6-12
7	2897	42-48	10-15
8	3213	55-60	9-20
9	1937	52-60	12-17
10	1689	40-45	12-15
11	621	50-60	20-30
12	2924	70-75	12-15
13	3136	75-80	8-17
14	2808	55-60	10-15
15	2530	53-55	10-15
16	2254	60-65	8-15
17	3023	53-62	7-15
18	3458	50-60	9-15
19	2214	36-40	8-17
20	1844	55-60	10-15
21	2225	45-52	8-12
22	1676	73-78	10-20
23	1464	75-82	12-20
26	1691	70-75	16-19
27	2359	60-70	12-15
28	1811	68-72	15-20



29	1354	55-60	11-15
30	774	49-57	16-20
31	1193	40-46	10-15
32	2237	90-100	10-20
33	1130	60-70	18-26
36	1679	55-60	15-20
37	3425	60-65	10-14
38	1080	68-70	18-22
39	974	45-50	30-40
48	3895	70-75	10-15
50	2470	70-75	12-20
51	50	38	10-20
52	28	40	100-120
56	4627	42-45	6-11
58	1555	52-60	10-15
60	1287	50-55	15-20
66	1493	82-88	12-25
101	2066	40-50	8-17
102	1435	55-60	10-15
103	1042	55-60	8-13
105	1231	40-45	12-16
Y1	93	60	20
Y3	246	40	15-20

В данном опросе, блок, касающийся движения на общественном транспорте и автобусах, включал в себя следующие вопросы:

- Удобны и безопасны ли автобусы?
- Являются ли они самым дешёвым способом проезда?
- Самая большая проблема, с которой сталкиваются пассажиры при использовании автобуса?
- Соответствует ли частота подачи транспорта спросу? И др.

Среди всех 1592 ответов, 131 респондент посчитал, что необходимо увеличить поток и подачу транспорта в пиковый период поездок и спроса. Это составляет 8% от всех опрошенных, а данный коэффициент представлен на рисунке 3.6. Кроме того нужно понимать, что данный процент увеличивается до 29, если брать во внимание только тех, кто активно пользуется автобусными услугами.



Рисунок 4.3 – Коэффициент опроса на увеличение подачи транспорта в пиковые часы (от количества всех респондентов)



Рисунок 4.4 – Коэффициент опроса на увеличение подачи транспорта в пиковые часы (от количества тех, кто активно пользуется транспортными услугами)

Эти данные показывают, что значительная часть пассажиров и людей считает, что, когда они садятся в автобус, они сталкиваются с необходимостью увеличения автобусов.

В существующих интеллектуальных системах BRT есть много способов иметь наиболее четкую статистику о пассажиропотоке. Есть два наиболее часто

используемых способа: одним из них является отслеживание спроса через систему билетов, упомянутый выше. Другой – опция анализа плавающих данных автомобиля (Floating Car Data).

#### Анализ плавающих данных автомобиля

Как правило, это относится к установке устройства позиционирования BEIDOU на борту автомобиля и в управлении автобусом или такси на главной дороге города. Местоположение транспортного средства, направление и скорость, регулярно записываются во время процесса вождения системы глобального позиционирования транспортного средства. Анализируя данные о времени и пространстве, в конечном итоге выдается информация о перегрузке движения, такая как скорость движения транспортного средства и время прохождения через отдельные дорожные участки.

Технология плавающих данных автомобиля, также известная как «зонд-автомобиль», является одним из передовых технических средств для получения информации о дорожном движении, используемой в Международной системе интеллектуального транспорта в последние годы. Основным принципом является то, что, если в городе развернуто достаточное количество транспортных средств с данной технологией на борту, данные о местоположении этих средств регулярно и в реальном времени передаются в центр обработки информации через беспроводную систему связи, тем самым можно узнать динамику изменения динамического и реального трафика, а также получить информацию о перегрузке.

#### Расчет данных

Определение трафика в одном направлении (транспортное средство/мин)

$$Q_c = (x_a + y_c) / (t_a + t_c) , \quad (54)$$

Где,

$Q_c$  – объем одностороннего движения;

$x_a$  – количество автомобилей, которые едут в противоположном направлении от транспортного средства;

$y_c$  – количество транспортных средств, обгоняющих тестовый автомобиль,

(относительно объема движения тестового транспортного средства);

$t_a$  – время вождения, когда тестовый автомобиль едет в противоположном направлении от основного направления движения, мин;

$t_c$  – время вождения, когда тестовый автомобиль едет по направлению потока, мин.

## 2.2 Расчет среднего расписания

$$t_c = t_c - (y_c / Q_c) , \quad (55)$$

Где,

$t_c$  – средний маршрут секции участка дороги, мин.

## 2.3. Расчет средней скорости

$$V_c = (L/t_c) * 60 , \quad (56)$$

Где,

$V_c$  – средняя скорость наблюдения за участками дороги, (км/ч);

$L$  – длина секции, км.

Рассчитанные данные  $x_a$ ,  $y_c$ ,  $t_a$ ,  $t_c$  обычно используются для дальнейших расчетов. Объединяя оба способа сбора информации о пассажиропотоке, можно получить более полный план обработки данных и добиться точных результатов.

## 2. Система оценки качества обслуживания BRT

Серый реляционный анализ (Grey Relational Analysis, GRA) объединяет наблюдения в ряд определенных категорий на основе серой корреляционной матрицы или отбеленной весовой функции. Серый реляционный анализ служит двум различным целям. Первая заключается в проведении тонкого анализа системы с целью определения важности факторов, влияющих на систему, т. е. серой корреляции [64]. Вторая роль заключается в том, что его можно использовать для оценки сложных проблем, ранжирования и сравнения объектов исследования, т. е. серой кластеризации. Использование анализа серой корреляции для ранжирования и сравнения факторов качества обслуживания в транспортном процессе позволяет определить, какие из множества факторов оказывают основное влияние, а какие вносят вклад в систему. С помощью кластерного анализа данных можно выявить

взаимосвязь и закономерность между ними, что может быть использовано в качестве важного показателя для управления и принятия решений компанией BRT [65].

Серый корреляционный анализ - метод кластеризации, основанный на серой корреляционной шкале (также может называться серой системой (grey system) ), в которой полностью известная информация - белая, полностью неизвестная - черная, часть информации ясна, часть - неясна, как серая. В серой системе предполагается, что известные показатели могут быть связаны с другими факторными показателями, серый корреляционный анализ может быть использован как анализ степени корреляции между основными показателями и другими факторами, а также может быть отсортирован по различным другим типам факторов для получения результатов анализа [66]. Основная цель серого корреляционного анализа - наблюдение за относительной силой влияния на объект других факторов. Основная идея серого корреляционного анализа - судить о степени связи между показателями каждого фактора по сходству формы набора последовательных кривых, чем ближе кривая, тем больше степень связи между соответствующими показателями последовательного фактора, а чем дальше кривая, тем меньше степень связи между соответствующими показателями последовательного фактора. Анализ серой корреляции может быть дополнен количественным анализом тенденции развития динамического процесса, сравнением геометрической связи в соответствующих статистических данных [88]. Метод количественного анализа, описания и сравнения тенденций развития базируется на математической основе пространственной теории, определяя коэффициенты корреляции и степени связи между основной последовательностью (т.е. эталонной последовательностью, основным показателем) и множеством подпоследовательностей (т.е. сравнительной последовательностью, другими факторами, подпоказателями). По сравнению с традиционными методами многофакторного анализа серый корреляционный анализ требует меньшего объема выборочных данных.

### 3. Метод серого корреляционного анализа

#### Этап 1. Определение последовательности анализов

Первичный ряд (т.е. эталонный ряд, основной показатель), ряд данных, характеризующий поведение системы, является зависимой переменной  $y$  и может быть обозначен как  $x_0$ .

Подсерии (т.е. серии сравнения, другие факторы, подпоказатели), серии данных, состоящие из факторов, влияющих на поведение системы, являются зависимой переменной  $X$ , которая может быть обозначена как  $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ .

В системе оценки качества услуг городского BRT-транспорта оборот автобусной компании является основным показателем, а коэффициент пересадки пассажиров, среднее время пересадки и другие показатели – второстепенными [65].

#### Этап 2. Предварительная обработка переменных данных

Подсерии, то есть субпоказатели, имеют разные шкалы, поэтому субпоказатели нормируются без шкал. Этот процесс обработки данных называется нормализацией (normalization). Существует множество способов нормализации данных, но в данном случае мы в основном используем метод среднего значения.

#### Определение последовательности

$$\begin{cases} x = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \\ f = x \rightarrow y \\ f(x_i(k)) = y(k), k = 1, 2, 3, \dots, n \end{cases}, \quad (57)$$

где:

$x$  – для последовательности;

$x_i(k)$  – для данных о последовательности;

$f(x_i(k))$  – безразмерная функция.

Деление данных последовательности на среднее значение после обработки данных нормализует их вокруг величины 1. Формула имеет вид.

$$\begin{cases} f(x_i(k)) = \frac{x_i(k)}{\bar{x}} = y(k) \\ \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_i(k) \end{cases}, \quad (58)$$

где:

$x_i(k)$  – для данных о последовательности;

$f(x_i(k))$  – безразмерная функция;

$\bar{x}$  – серийное среднее.

Этап 3. Расчет коэффициента связи каждого показателя подсерии с основным рядом

Формулы выглядят следующим образом:

$$\begin{cases} \zeta_i(k) = \frac{a+\rho b}{|x_0(k)-x_i(k)|+\rho b} \\ a = \min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)| , \\ b = \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)| \end{cases} \quad (59)$$

где:

$\zeta_i(k)$ - коэффициент связи показателя с основной последовательностью

$\rho$  - коэффициент разрешения, который принимает значение 0,5, поскольку это метод среднего значения.

$a$ - биполярная минимальная разница

$b$  - максимальная разница между двумя полюсами

$x_0(k)$  - данные последовательности мастера

$x_i(k)$  - последующие данные

$\zeta_i(k)$  - этот коэффициент представляет собой расстояние подпоследовательности от основной последовательности в  $k$ -м измерении для  $i$ -го фактора; чем дальше друг от друга они находятся, тем меньше коэффициент корреляции, что указывает на меньшую корреляцию, а чем ближе друг к другу они находятся, тем больше коэффициент корреляции, что указывает на большую корреляцию.

Этап 4. Расчет релевантности

Поскольку коэффициент корреляции сравнивает значение степени связи между субпоследовательностью и главной последовательностью в различные моменты времени, он относительно разрознен, и коэффициенты корреляции в различные моменты времени объединяются и усредняются, что и является степенью корреляции  $r_i$  Среднее значение является степенью ассоциации:

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \zeta_i(k) , \quad (60)$$

где:

$r_i$  - степень корреляции

$\zeta_i(k)$  - коэффициент связи показателя с основной последовательностью

#### 4. Анализ серой корреляции факторов качества услуг городского BRT с общим доналоговым оборотом автобусных компаний

В качестве примера можно привести систему качества обслуживания автобусного транспорта в Китае г. Цзинань.



Рисунок 4.5 BRT- 2 Схема автобусного маршрута

На примере Цзинаньской линии BRT-2 для анализа данных используется метод серой корреляции. BRT-2 начинается от Северной дороги Бэйгуань и заканчивается на Северном эстакадном мосту Яншань. На линии имеется 15 автобусных остановок. Общая протяженность линии составляет 10,2 километра. Время работы - с 05:30 до 21:30, стоимость проезда - 2 юаня.

Данные об общем доналоговом обороте автобусной компании как основной последовательности факторов, влияющих на качество городских услуг BRT, являются безразмерными, а результаты представлены на Таблица 4.4,4.5,4.6,4.7.



Таблица 4.4 - Безразмерная обработка факторных данных (1)

Время (годы)	Общий оборот до налогообложения	Коэффициент пересадки пассажиров	Среднее время пересадки	Среднее время ожидания на остановке
2017	0.937852715	1.038049941	1.138790036	0.978768374
2018	1.007386669	0.98097503	0.87544484	0.986261889
2019	1.27219515	0.699167658	0.427046263	0.749351523
2020	0.713474589	1.426872771	1.565836299	1.268133346
2021	0.93167212	1.070154578	1.28113879	1.152848496
2022	1.137418757	0.784780024	0.711743772	0.864636372

Таблица 4.5 - Безразмерная обработка факторных данных (2)

Время (годы)	Среднее время	Среднее время в пути	Средняя скорость транспорта	Коэффициент нелинейности
2017	1.051712559	1.1098744	1.054545455	1.039473684
2018	1.027535259	1.091493924	1.200000000	1.026315789
2019	0.604432505	0.673950781	1.454545455	0.789473684
2020	1.20886501	1.164096804	0.800000000	1.105263158
2021	1.100067159	1.102828551	0.945454545	1.052631579
2022	1.007387508	0.85775554	0.545454545	0.986842105

Таблица 4.6 - Безразмерная обработка факторных данных (3)

Время (годы)	Доля приоритетных автобусных полос	Заполненность транспортного средства в часы пик	Обычно полная нагрузка транспортного средства	Стоимость проезда
2017	0.983606557	1.02584493	0.99172436	1.111111111
2018	1.081967213	1.073558648	1.07035904	1.111111111
2019	2.459016393	1.192842942	1.410400902	0.444444444
2020	0.491803279	0.596421471	0.386411206	1.333333333
2021	0.983606557	0.978131213	0.962550314	1.111111111
2022	0	1.133200795	1.178554178	0.888888889

Таблица 4.7 - Безразмерная обработка факторных данных (4)

Время (годы)	Суровая погода	Возраст вождения водителя
2017	0.603773585	1.787234043
2018	0.377358491	1.14893617
2019	0.79245283	0.638297872
2020	1.509433962	1.14893617
2021	1.20754717	0.638297872
2022	1.509433962	0.638297872

Расчёт коэффициентов корреляции между каждым показателем качества обслуживания BRT и общим доналоговым оборотом автобусной компании.

Таблица 4.8 - Коэффициенты корреляции между индикаторами и основными рядами (1)

Коэффициент пересадки пассажиров	Среднее время пересадки	Среднее время ожидания на остановке	Среднее время	Среднее время в пути
0.861623157	0.752351144	0.942146971	0.844978848	0.780772615
0.964193481	0.823914751	0.972488455	0.974035712	0.882085334
0.512353443	0.415435427	0.535387511	0.473867152	0.501511418
0.457319068	0.413362858	0.520550931	0.548886858	0.572423168
0.816551762	0.633834953	0.733658388	0.784489555	0.781656209
0.631709731	0.622662158	0.689948521	0.826090676	0.684510928

Таблица 4.9 - Коэффициенты корреляции между индикаторами и основными сериями (2)

Средняя скорость транспорта	Коэффициент нелинейности	Доля приоритетных автобусных полос	Заполненность транспортного средства в часы пик	Обычно полная нагрузка транспортного средства
0.841607879	0.859858158	0.935015347	0.877056201	0.923288979
0.760318539	0.975975495	0.894665399	0.906070873	0.910487611
0.770377268	0.555348726	0.335702666	0.888319862	0.816860591
0.878948247	0.606606856	0.733212895	0.841180978	0.649261772
0.984248068	0.836581206	0.926060524	0.933984794	0.957295035
0.504168443	0.803277966	0.345284516	1	0.941820676

Таблица 4.10 - Коэффициенты корреляции между индикаторами и основными сериями (3)

Стоимость проезда	Суровая погода	Возраст вождения водителя
0.779513153	0.644350606	0.414216744
0.857263698	0.488482614	0.81314423
0.420521282	0.556890412	0.486942669
0.492576999	0.43014358	0.580857936
0.773279269	0.687493885	0.673927357
0.709822833	0.619031071	0.547012677

Результаты приведенных выше расчетов дают зависимость между каждым показателем качества услуг BRT и общим доналоговым оборотом автобусной компании.

Таблица 4.11 - Корреляция показателей с общим доналоговым оборотом автобусных компаний

Норма	Родство
Коэффициент пересадки пассажиров	0.707291774
Среднее время пересадки	0.610260215
Среднее время ожидания на остановке	0.732363463
Среднее время	0.742058133
Среднее время в пути	0.700493278
Средняя скорость транспорта	0.78994474
Коэффициент нелинейности	0.772941401
Доля приоритетных автобусных полос	0.694990225
Заполненность транспортного средства в часы пик	0.907768785
Обычно полная нагрузка транспортного средства	0.866502444
Стоимость проезда	0.672162872
Суровая погода	0.571065361
Возраст вождения водителя	0.586016935

Из рисунка 4.11 видно, что заполняемость транспортных средств в пиковый период имеет самую высокую корреляцию с общим доналоговым оборотом автобусной компании.  $r_9 = 0.907768785$  В то время как коэффициент заполняемости в неблагоприятную погоду и возраст водителя имеют наименьшую корреляцию с общим доналоговым оборотом автобусной компании.  $r_{12} = 0.571065361$ ,  $r_{13} = 0.586016935$ . Поэтому мы можем отбросить два самых

низких показателя и оставить остальные показатели в качестве основных факторов влияния в системе оценки качества обслуживания городских автобусов BRT.

Метод серого корреляционного анализа выдвигает концепцию корреляционного анализа каждой подпоследовательности факторов, эффективно избегая недостатков традиционного математического анализа, не имеет ограничений на количество выборок, не получает количественных результатов, которые не соответствуют качественному анализу результатов ситуации, с помощью метода очень хорошо находить как последовательность подсистем качества обслуживания BRT факторов, так и общий доналоговый оборот автобусной компании, значение связи между ними. Таким образом, серый корреляционный анализ не только способен соотнести факторы системы оценки качества услуг BRT, но и способен оценить факторы.

Переменные параметры включают в себя: длину автобусной станции (регулировка станций подачи), типы автобусных остановок, распределение времени, когда автобус останавливается на автобусной остановке, интервал отправления автобуса, путь автобуса. Условия контроля качества обслуживания включают: частоту отказов автобуса при остановке, задержку автобуса и пропускную способность автобуса [91].

Рассмотрим следующие четыре аспекта показателей оценки в соответствии с требованиями переменных параметров и условий управления:

1) Удобство. Автобус – самый стандартный и простой способ путешествовать, что является важным требованием для людей. Пассажиры изменяют коэффициент автобуса  $T_1$  относительно соотношения количества пассажиров в автобусе к общему количеству пассажиров, чтобы указать, сколько пассажиров не могут достичь пункта назначения напрямую.

Среднее время пересадки  $T_2$  относится к соотношению общего количества времени пересадок к общему количеству пересадок, отражая удобство трансмиссионных средств.

Среднее время ожидания –  $T_3$ ;

Среднее время, чтобы попасть в автобус –  $T_4$ .

2) Скорость. Относится к скорости транспортировки пассажиров, поскольку люди хотят сэкономить время в пути как можно больше.

Среднее время в пути – T5, которое относится к времени, проведенному пассажирами в пути, начиная с выхода из дома, прибытия на станцию, ожидания транспорта и езды на автобусе до прибытия в пункт назначения.

Средняя скорость транспорта – T6 (км/ч) относится к среднему движению транспортного средства в час по прибытию на терминал эксплуатации в конце эксплуатационной линии, чтобы указать скорость транспортировки пассажиров.

Линейная сеть нелинейного коэффициента – T7 относится к соотношению проходящего расстояния между фактическим расстоянием ходьбы пассажира и расстоянием между начальной точкой конечной точкой поездки. Коэффициент линии обычно составляет от 1,2 до 1,3.

Доля специфических полос транспортных средств – T8 относится к соотношению общей длины автобусной полосы движения к общему пути автобуса, данный расчет используется для предоставления приоритета политики городских автобусов.

3) Комфорт. Если поездка и обстановка ожидания удобны, это может минимизировать утомляемость пассажиров. Полная скорость загрузки транспортного средства в часы пик относится к фактической емкости транспортного средства в пике основной линии работы в часы пик. Как правило, T9 не должно выходить за рамки от 95% до 100%.

Обычно полная нагрузка транспортного средства T10 используется для обозначения частоты использования пассажирами транспортных средств BRT в часы пик.

4) Экономичность. Люди путешествуют на автобусе каждый день, а экономия дорожных затрат является при этом важным фактором. Уровень тарифов T11 напрямую влияет на выбор способов движения. В соответствии с уровнем потребления обычных жителей, тариф на автобус должен быть установлен на уровне 1-3 юаня в соответствии с длиной автобусной линии[34].

Согласно вышеуказанным показателям оценки, создана комплексная система

оценки, как показано на рисунке 4.5.

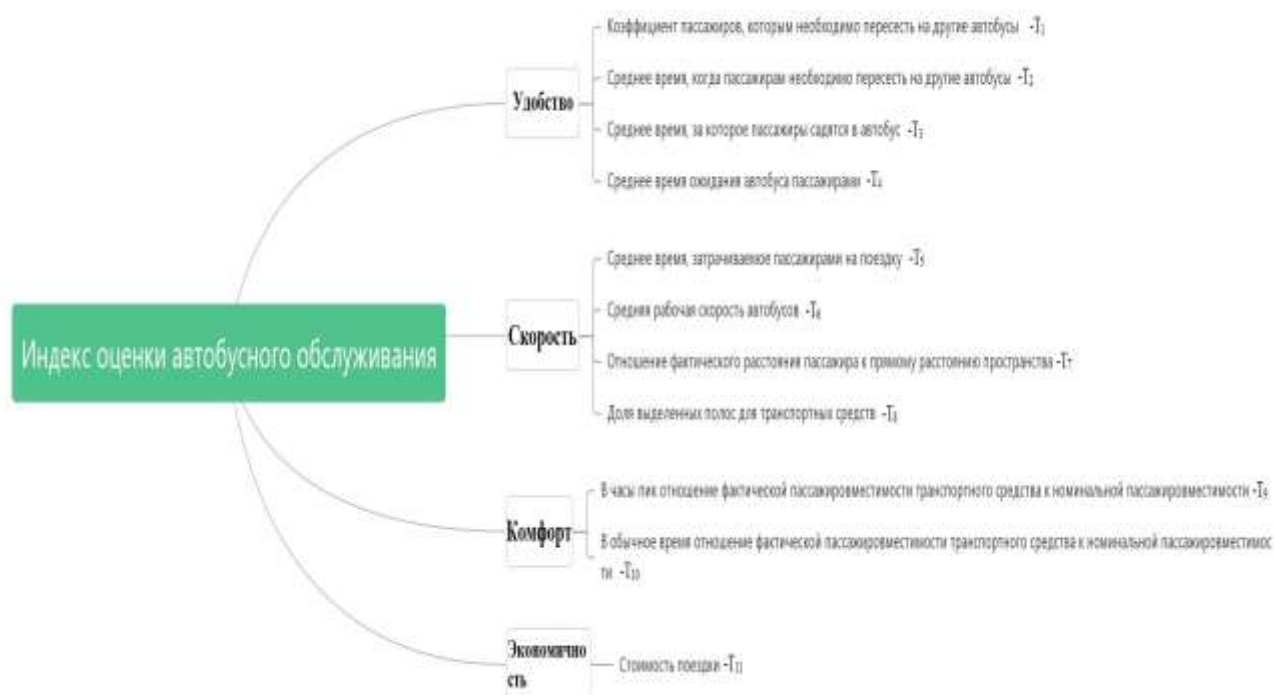


Рисунок 4.6 – Общая система индекса оценки автобусных услуг

Применение метода оценки кластера может эффективно избежать влияния субъективных факторов при оценке качества автобусных услуг. Он в основном основан на функции альбинизации матрицы серой ассоциации или серого числа. Он суммируется, чтобы определить, к какой категории кластерный объект принадлежит. Данный метод оценки значительно улучшил достоверность результатов [87].

Применение метода кластерных оценок помогает избежать влияния субъективных факторов при оценке качества автобусных услуг. Он основан на серой корреляционной матрице для объединения нескольких показателей эффективности автобусных перевозок в поддающиеся определению категории. Серый реляционный анализ (Grey Relational Analysis, GRA) – это метод, используемый для оценки принятия многофакторных решений, разработанный на основе теории серых систем [83,84]. Серая система (grey system) – это система, в которой часть информации ясна (белый ящик), а часть информации неясна (черный ящик). Этот метод используется для анализа и оценки корреляции и

степени влияния между несколькими показателями, а также в системе поддержки принятия решений. Определенные взвешенные функции (definite weighted functions)[82]. Целевая функция относится к трехкратной линии или S-образной кривой в декартовой системе координат, которая может количественно описывать степень принадлежности объекта оценки к определенной серой категории (функция взвешивания), то есть соотношение, которое изменяется с размером оцениваемого индекса или значения выборки[16]. Он суммируется, чтобы определить, к какой категории кластерный объект принадлежит. Данный метод оценки значительно улучшает достоверность результатов.

Методика серого реляционного анализа включает несколько этапов. Первоначально необходимо сформировать начальную матрицу факторов по значениям выборки различных показателей  $d_{ij}$ :

$$D=[d_{ij}], \quad (61)$$

Где:  $d_{ij}$  - выборочные значения различных показателей, в данном случае значения (T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10, T11).

Процесс кластеризации может быть описан следующим способом:

Создание матрицы. Согласно значениям выборки различных показателей каждого объекта, необходимо рассчитать показатель  $d_{ij}$  для установления матрицы.

$$d_{ij} = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{i1} & d_{i2} & \dots & d_{ij} \end{bmatrix}, \quad (62)$$

где:

$d_{ij}$ - выборочные значения различных показателей, то есть значения (T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10, T11).

2) Данные оцениваются количественно и нормализуется в масштабе от 0 до 1. Следовательно, в соответствии с атрибутами каждого индикатора, необходимо ввести параметры  $max_j, max_k\{d_{ij}, d_{jk}\}$  для обработки исходных данных, сжимая их до [0,1].

3) Определение взвешенных функций (definite weighted functions) [96]. Это

функциональное выражение возможности принимать значение каждого элемента в виде оценки серого класса.

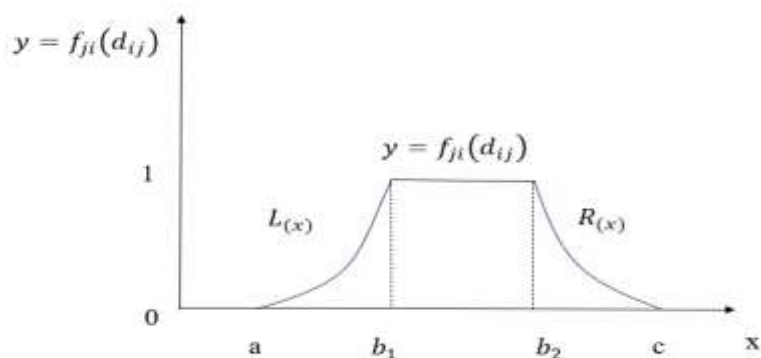


Рисунок 4.7 – Определенные взвешенные функции

где:

$f_{ji}(d_{ij})$  – весовая функция;

$L(x)$  – восходящая ветвь функции;

$R(x)$  – нисходящая ветвь функции;

$[a, c]$  – интервал изменения серого числа;

$[b_1, b_2]$  – пиковая область.

$b_1, b_2$  – поворотные точки.

$a$  – отправная точка определения взвешенной функции.

$c$  – конечная точка определения взвешенной функции.

$x$  – оценка оттенков серого.

Серый номер и белый номер. Серое число означает, что мы знаем, что определенное число находится в определенном диапазоне, но мы не знаем, что это за число. Для ряда известных верхних и нижних пределов это может быть обозначено как:

$$\begin{cases} \theta(\underline{x}) \in [a, \infty] \\ \theta(\bar{x}) \in [-\infty, c] \end{cases}, \quad (63)$$

где:

$\theta$  – серый номер.

$a$  – отправная точка определения взвешенной функции.

$c$  – конечная точка определения взвешенной функции.

Белое число относится к полностью определенному числу, которое можно рассматривать как специальное серое число:

$$\theta \in [a, a] , \quad (64)$$

где:

$a$ – отправная точка определения взвешенной функции.

Белый означает определение приблизительного значения числа серого. Для количества оттенков серого  $\theta \in [a, b]$  , можете взять:

$$\tilde{\theta} = \gamma a + (1 - \gamma)b , \quad (65)$$

где:

$\tilde{\theta}$ – белое числа.

Когда  $\gamma = \frac{1}{2}$ , это присвоение среднего значения, которое в серая системе называется равным весом. В это время  $\tilde{\theta}$  является линейной функцией  $\gamma$ . Таким образом, превращение серого в белое, полностью зависит от возможностей верхней и нижней границы конкретной модели.

Для количества оттенков серого  $\theta \in [a, c]$  . Когда  $L(x)$ ,  $R(x)$  принимаются как линейные.

$$\begin{cases} L(x) = \frac{x-a}{b_1-a} \\ R(x) = \frac{c-x}{c-b_2} \end{cases} , \quad (66)$$

где:

$L(x)$ –восходящая ветвь функции;

$R(x)$ –нисходящая ветвь функции;

Для серого числа с типичной весовой функцией оттенки серого определяются следующим образом:

$$\begin{cases} \alpha_1 = \frac{2(b_1-b_2)}{(b_1+b_2)} \\ \alpha_2 = \max\left(\frac{(a-b_1)}{b_1}, \frac{(c-b_2)}{b_2}\right) \\ \alpha = \alpha_1 + \alpha_2 \end{cases} , \quad (67)$$

где:

$\alpha$  – оттенки серого.



$\alpha_1$  —представляет влияние области пика на оттенки серого.

$\alpha_2$  —представляет влияние  $L(x), R(x)$  на оттенки серого.

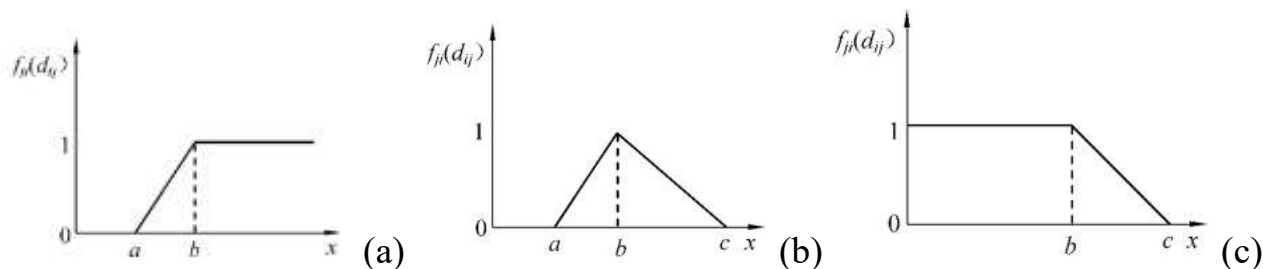
Таким образом, когда  $\alpha=0$ , серое число становится белым числом.

Для линейных функций. Когда  $L(x), R(x)$  принимаются как линейные. Общие функции включают следующие три типа:

(a) Если конечная точка отсутствует,  $\theta(x) \in [a, \infty]$ , измеряется верхний предел определенных взвешенных функций;

(b) Когда пороговые значения перекрываются,  $\theta \in [a, b], (b_1 = b_2)$ , это умеренная мера определенных взвешенных функций;

(c) Если нет начальной точки,  $\theta(x) \in [-\infty, c]$ , измерение нижнего предела определенных взвешенных функций.



где:

$f_{ji}(d_{ij})$ — взвешенные функции.

Среди методов оценки с использованием серой кластеризации существует 3 распространенных метода определения распределенных значений [97].

(1) Первый метод – это метод кумулятивной процентильной частоты. Кривая кумулятивной процентильной частоты строится на основе фактических значений индекса существующих объектов наблюдения, и значения, соответствующие различным кумулятивным процентильным частотам на кривой, используются в качестве значений отбеливания категории серого[124].

(2) Второй метод – это метод умеренных измерений, основанный на взвешивании, который рассматривает диапазон значений показателя как интервал [69]. В соответствии с количеством серых категорий, которые необходимо разделить в соответствии с требованиями оценки, каждый индекс также делится соответствующим образом на интервалы. Разделение интервалов производится на

основе фактической ситуации, отраслевых норм, национальных стандартов или качественного анализа.

(3) Третий метод получен путем качественного анализа или со ссылкой на отраслевые нормы и национальные стандарты.

В статье применен второй метод.

4) Определение весового коэффициента. Коэффициент веса отражает статус или роль каждого показателя в комплексном принятии решений, а его размер может напрямую повлиять на результаты решения. Для серых кластеров формулой расчета веса обычно является:

$$W_{ij} = \frac{s_{ij}\sqrt{s_{ij}}}{\sum_{i=1}^n s_{ij}\sqrt{s_{ij}}}, \quad (68)$$

где :  $W_{ij}$  – весовой коэффициент  $i$ -го показателя;

$s_{ij}$  – среднее значение показателей классификации на всех уровнях.

5) Коэффициент кластеризации. Коэффициент кластера отражает тесную связь между объектами оценки и уровнем каждой оценки [122,126]. Размер коэффициента кластера качества обслуживания BRT и обычного качества обслуживания автобусной системы также отражает качество уровней обслуживания между ними. Формула расчета коэффициента кластера:

$$\eta_{ij} = \sum_{i=1}^n W_i f_j^k(x), \quad (69)$$

Где:  $\eta_{ij}$  – коэффициент кластеризации  $i$ -го показателя на  $j$ -ом уровне;

$f_j^k(x)$  – значение  $j$ -го показателя  $i$ -ой точки оценки в этом показателе.

В то же время, можно также рассмотреть возможность использования других методов обследования удовлетворенности пассажиров.

В соответствии с методом оценки серой кластеризации, существуют объекты кластеризации, которые относятся к качеству обслуживания трафика, в основном берутся во внимание 11 показателей кластеризации и устанавливаются 4 различные категории серого. Согласно выборочным значениям показателей  $i=1$ ,  $d_{ij}$  классифицирует  $i$ -й объект в категорию  $k$  ( $k=1, 2, 3, 4$ ) серого цвета. Объединяя характеристики общественного транспорта Китая, метод оценки серой

кластеризации используется для разделения оценки уровня обслуживания в общественном транспорте на 4 уровня: А (отлично), В (хорошо), С (средне), D (плохо) для конкретных критериев оценки для каждого индекса.

Таблица 4.12 – Классификационные критерии для оценки показателей качества автобусного обслуживания

	Показатель	А (отлично)	В (хорошо)	С (средне)	D (плохо)
1	Процент	< 25	25 ~ 45	45 ~ 65	> 65
2	Минута	< 5	5 ~ 8	8 ~ 12	> 12
3	Минута	< 5	5 ~ 8	8 ~ 15	> 15
4	Минута	< 1	1 ~ 2	2 ~ 5	> 5
5	Минута	< 20	20 ~ 30	30 ~ 40	> 40
6	(км/ч <sup>-1</sup> )	> 40	30 ~ 40	20 ~ 30	< 20
7	Процент	< 120	120 ~ 150	150 ~ 200	> 200
8	Процент	> 90	80 ~ 90	60 ~ 80	< 60
9	Процент	< 60	60 ~ 70	70 < 90	> 90
10	Процент	< 50	50 ~ 60	60 ~ 70	> 70
11	Юань	=1	1 ~ 2	2 ~ 3	> 3

Таблица 4.13 – Фактическое значение индекса оценки уровня обслуживания автобусов в Китае

Индикатор оценки	Соответствие общественного транспорта	оценка
T <sub>1</sub>	11 (%)	отлично
T <sub>2</sub>	10 (минут)	средне
T <sub>3</sub>	15 (минут)	средне
T <sub>4</sub>	2.5 (минут)	отлично
T <sub>5</sub>	28 (минут)	хорошо
T <sub>6</sub>	15 (км/ч)	плохо
T <sub>7</sub>	150 (%)	хорошо
T <sub>8</sub>	0 (%)	плохо
T <sub>9</sub>	95 (%)	плохо
T <sub>10</sub>	61 (%)	средне

T <sub>11</sub>	2 (юаня)	хорошо
-----------------	----------	--------

Основываясь на приведенной выше информации, метод анализа серой кластеризации используется для всесторонней оценки уровня автобусного обслуживания (T1 – T11):

$$T_1 = \frac{W}{Q}, \quad (70)$$

Где,

T1 – коэффициент автобуса;

W – количество пересадок;

Q – общее количество пассажиров.

Среднее время передачи T2 относится к соотношению общего количества обменного времени к общему количеству обмена, отражая удобство трансмиссионных средств.

$$T_2 = \frac{S}{W}, \quad (71)$$

Где,

T2 – среднее время передачи;

S – общее количество времени пересадок;

W – количество пересадок.

Исходя из данных о 174 пассажирах, которым необходимо пересесть на новый транспорт, общее количество времени составляет 1740 минут, поэтому их среднее время пересадки – 10 минут.

В расчете среднего времени ожидания T3 нужно сначала предположить, что на автобусной остановке есть только один вид автобуса. Взяв в качестве примера автобус №1, нужно допустить, что он будет приходить каждые 10 минут. Предположим, что после того, как кто-то доберется до автобусной остановки, у автобуса №1 остается x минут для того, чтобы прибыть на станцию. Время ожидания также составляет x минут. Диапазон значений x равен [0,10], а определенное значение x в интервале [0,10] будет соответствовать вероятности, сумме всех вероятностей при этом должна быть равна 1. Другими словами, x на самом деле является непрерывной случайной величиной.  $f(x) = P\{X= x\}$ , что

означает вероятность того, что значение  $X$  равно  $x$ , тогда  $f(x)$  – функция плотности вероятности  $X$ . Желаемая задача вычисляется с помощью функции плотности вероятности приобретает следующий вид:

$$E(x) = \int_0^{10} f(x) * x dx , \quad (72)$$

Где,

$$f(x) = P \{X= x\}$$

Не указывая, какому распределению подчиняется время прибытия автобуса на станцию после прибытия человека на станцию, вероятность времени прибытия автобуса на станцию по умолчанию одинакова, то есть  $X$  подчиняется равномерному распределению на интервале  $[0,10]$ , что приводит к  $f(x)$  как:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{10}, & x \in [0,10] \\ 0, & x \notin [0,10] \end{cases} , \quad (73)$$

В конце концов, вычисляется, что  $E(x) = 5$

Таблица 4.14 – Интервал отправления автобуса

Автобусная линия	Интервал распределения (минута)
1	6-10
2	7-12
3	8-14
4	10-15
5	10-14
6	6-12
7	10-15
8	9-20
9	12-17
10	12-15
11	20-30
12	12-15
13	8-17
14	10-15
15	10-15
16	8-15
17	7-15
18	9-15
19	8-17
20	10-15

21	8-12
22	10-20
23	12-20
26	16-19
27	12-15
28	15-20
29	11-15
30	16-20
31	10-15
32	10-20
33	18-26
36	15-20
37	10-14
38	18-22
39	30-40
48	10-15
50	12-20
51	10-20
52	100-120
56	6-11
58	10-15
60	15-20
66	12-25
101	8-17
102	10-15
103	8-13
105	12-16
Y1	20
Y3	15-20

Было обнаружено, что среднее время ожидания должно составлять 15 минут.

$$T_4 = \frac{t_1 + t_2}{Q}, \quad (74)$$

Где,

$T_4$  – среднее время, чтобы попасть в автобус;

$t_1$  – общее время, необходимое для посадки и высадки каждого пассажира;

$t_2$  – время, необходимое для открытия и закрытия дверей автобуса.

Исходя из данных опрос было обнаружено, что среднее время, чтобы сесть на сесть, составило 2,5 минуты.

Среднее время в пути (Т5) составляет 28 минут, что также было получено из результатов опроса.

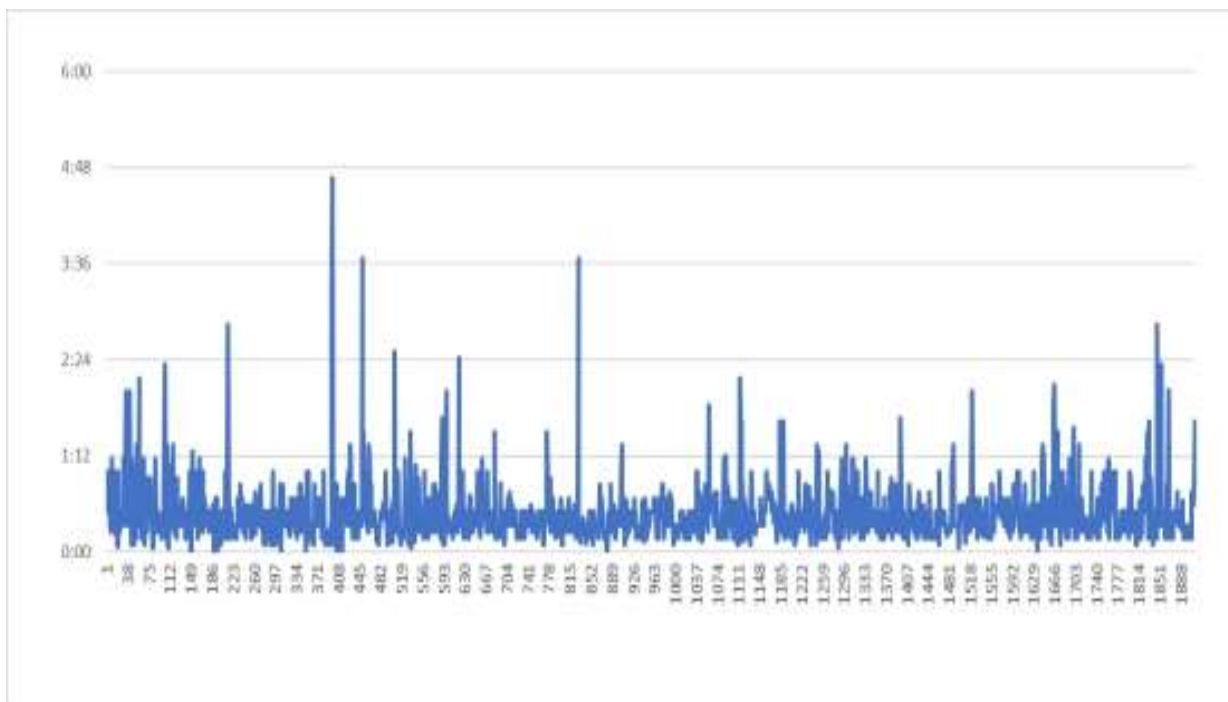


Рисунок 4.8 – Среднее время в пути пассажиров

Средняя скорость транспорта (Т6) была обнаружена путем сравнения скоростей транспорта за 3 дня исследований, а именно: 09.10.2021, 09.07.2021 и 12.10.2021. Средняя скорость этих трех дней, из которых ось x представляет номер маршрута, а ось y – среднюю скорость, представлена ниже.

Средняя скорость в день 09.10.21 составила 15,2 км/ч.



Рисунок 4.9 – Средняя скорость транспортных средств 09.10.21 г.

Средняя скорость в день 09.07.21 составила 14,89 км/ч.



Рисунок 4.10 – Средняя скорость транспортных средств 09.07.21 г. Средняя скорость в день 12.10.21 составила 15,2 км/ч.



Рисунок 4.11 – Средняя скорость транспортных средств 09.07.21 г. Следовательно, средняя скорость для трех дней должна составлять примерно 15 км/ч.

Линейная сеть нелинейного коэффициента (Т7) рассчитывается путем исследования фактической ситуации 12 пассажиров, ось x – это каждый пассажир, а ось y – километры. Найденный коэффициент составляет 1,5.



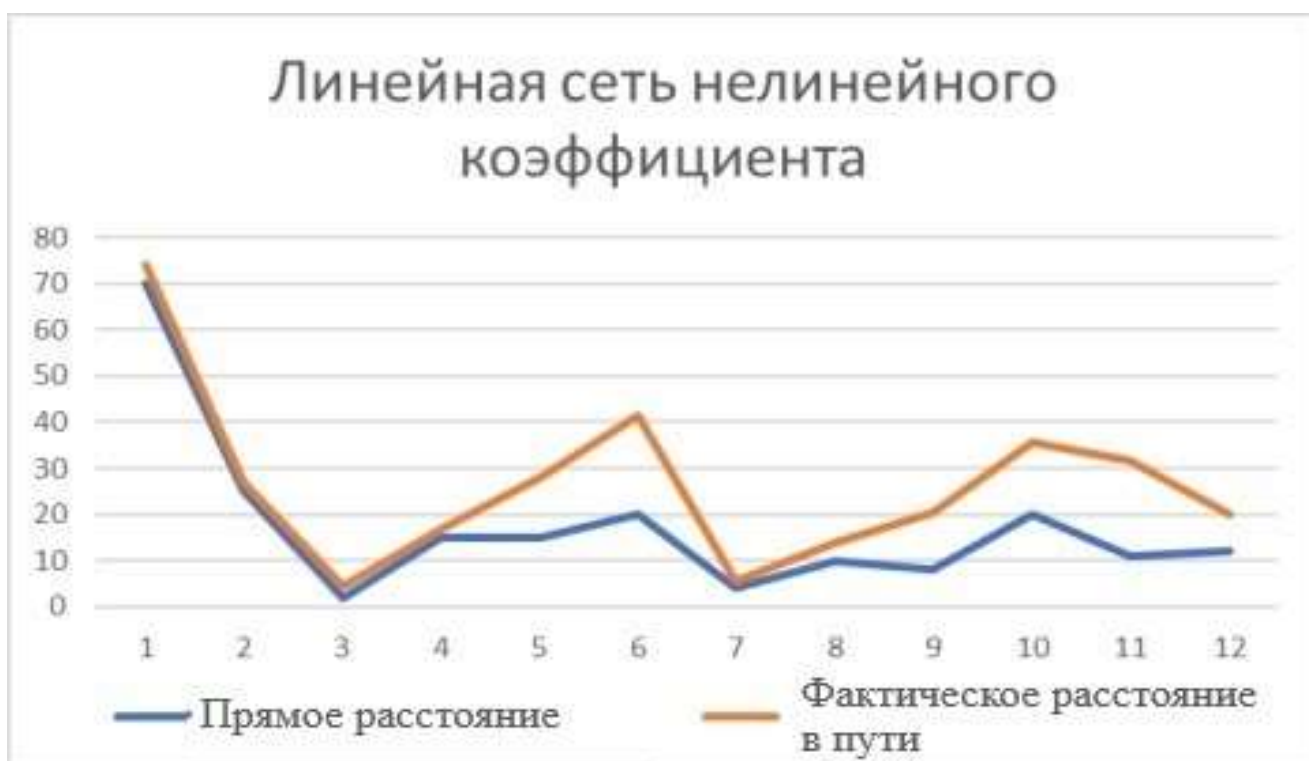


Рисунок 4.12 – Линейная сеть нелинейного коэффициента

Доля специфических полос транспортных средств (Т8) в данном случае составляет 0.

Пиковая нагрузка транспорта (Т9) представлена в приведенной ниже таблице.

Таблица 4.15 – Количество пассажирских транспортных средств и их моделей

Номер маршрута	Количество пассажирских транспортных средств и моделей
1	На 2020 год: 20 – Чжунтонских чистых электрических автобусов. 16 – 10,5 метровых Чжунтонских чистых электрических автобусов. На 2017 год: 2 – 10,5 метровых Чанлонских чистых электрических автобусов.
2	В 2019 году: 20 – 12,5 метровых Чжунтонских чистых электрических автобусов. В 2016 году: 1 – 10,5 метровый Чжунтонский чистый электрический автобус.
3	В 2018 году: 31 – 10,5 метровый Чанлонский чистый электрический автобус.
4	В 2017 году: 16 – 8,6 метровых Чанлонских чистых электрических автобусов.
5	В 2020 году: 22 – 10,5 метровых Чжунтонских электрических автобуса.

6	В 2015 году: 24 – 10,5 метровых Чжунтонских газовых автобуса. В 2016 году: 3 – 8-метровых Чжунтонских чистых электрических автобуса.
7	В 2020 году: 20 – 10,5 метровых Чжунтонских чистых электрических автобусов.
8	В 2018 году: 16 – 10,5 метровых Чанлонских электрических автобусов.
9	В 2016 году: 12 – 8-метровых Чжунтонских чистых электрических автобусов. В 2015 году, 2 – 6,6 метровых Чжунтонских чистых электрических автобуса.
10	В 2017 году: 8 – 8,6 метровых Чанлонских электрических автобусов. В 2018 году: 4 – 8,6 метровых Чанлонских электрических автобуса.
11	В 2015 году: 12 – 6,6 метровых Чжунтонских чистых электрических автобусов.
12	В 2015 году: 8 – 10,5 метровых Чжунтонских газовых автобусов. В 2020 году: 14 – 10,5 метровых Чжунтонских чистых электрических автобусов.
13	В 2017 году: 15 – 10,5 метровых Чанлонских электрических автобусов. В 2017 году: 5 – 8,6 метровых Чанлонских чистых электрических автобусов.
14	В 2018 году: 16 – 8,6 метровых Чанлонских чистых электрических автобусов.
15	В 2016 году: 6 – 8-метровых Чжунтонских чистых электрических автобусов. В 2018 году: 12 – 8,6 метровых чистых Чанлонских электрических автобусов.
16	В 2016 году: 15 – 8,6 метровых чистых Чжунтонских электрических автобусов. Один В 2015 году: 1 – 6,6 метровый чистый Чжунтонских электрический автобус
17	В 2016 году: 30 – 8 метровых Чжунтонских чистых электрических автобусов.
18	В 2019 году: 16 – 10,5 метровых Чжунтонских чистых электрических автобусов. В 2016 году: 1 – 8 метровый Чжунтонский чистый электрический автобус.
19	В 2016 году: 10 – 8-метровых Чжунтонских чистых электрических автобусов. В 2020 году: 4 – 10,5 метровых Чжунтонских чистых электрических автобуса.
20	В 2015 году: 16 – 6,6 метровых Чжунтонских чистых электрических автобуса.
21	В 2017 году: 14 – 10,5 метровых Чанлонских чистых электрических автобусов. В 2019 году: 2 – 10,5 метровых Чжунтонских чистых электрических автобуса.
22	В 2020 году: 10 – 10,5 метровых Чжунтонских чистых электрических автобусов.

23	В 2018 году: 15 – 10,5 метровых Чанлонских чистых электрических автобусов.
26	В 2015 году: 10 – 10,5 метровых Чжунтонских газовых автобусов. В 2018 году: 4 – 8,6 метровых Чанлонских чистых электрических автобуса.
27	В 2020 году: 9 – 10,5 метровых Чжунтонских чистых электрических автобусов.
28	В 2015 году: 25 – 6,6 метровых Чжунтонских чистых электрических автобусов. В 2016 году: 2 – 8-метровых Чжунтонских чистых электрических автобуса.
29	В 2015 году: 18 – 6,6 метровых Чжунтонских чистых электрических автобусов.
30	В 2015 году: 10 – 6,6 метровых Чжунтонских чистых электрических автобусов.
31	В 2015 году: 21 – 6,6 метровый Чжунтонский чистый электрический автобус.
32	В 2015 году: 14 – 10,5 метровых Чжунтонских газовых автобусов.
33	В 2015 году: 13 – 6,6 метровых Чжунтонских чистых электрических автобусов
36	В 2018 году: 12 – 8,6 метровых Чанлонских чистых электрических автобусов.
37	В 2020 году: 19 – 10,5 метровых Чжунтонских чистых электрических автобусов.
38	В 2015 году: 9 – 6,6 метровых Чжунтонских чистых электрических автобусов. В 2016 году: 7 – 8,6 метровых Чжунтонских чистых электрических автобусов.
39	В 2020 году: 10 – 10,5 метровых Чжунтонских чистых электрических автобусов
48	В 2016 году: 5 – 8-метровых, чистых Чжунтонских электрических автобусов. В 2019 году: 16 – 10,5 метровых Чжунтонских чистых электрических автобусов.
50	В 2016 году: 12 – 10,5 метровых Чжунтонских чистых электрических автобусов. В 2016 году: 9 – 8-метровых, чистых Чжунтонских электрических автобусов. В 2019 году: 10 – 10,5 метровых Чжунтонских чистых электрических автобусов.
51	В 2016 году: 4 – 6,6 метровых Чжунтонских чистых электрических автобуса.
52	В 2016 году: 1 – 8,6 метровый Чжунтонский чистый электрический автобус.
56	В 2016 году: 29 – 10,5 метровых Чжунтонских чистых электрических автобусов.
58	В 2015 году: 14 – 6,6 метровых Чжунтонских чистых электрических автобусов.
60	В 2015 году: 9 – 6,6 метровых Чжунтонских чистых электрических автобусов. В 2015 году: 4 – 10,5 метровых Чжунтонских чистых электрических автобуса.

66	В 2020 году: 3 – 10,5 метровых Чжунтонских чистых электрических автобуса. В 2015 году: 8 – 10,5 метровых Чжунтонских газовых автобусов.
101	В 2017 году: 4 – 10,5 метровых чистых Чанлонских электрических автобуса. В 2017 году: 9 – 8,6 метровых чистых Чанлонских электрических автобусов.
102	В 2015 году: 21 – 6,6 метровый Чжунтонский чистый электрический автобус.
103	В 2015 году: 6 – 6,6 метровых Чжунтонских чистых электрических автобусов. В 2017 году: 7 – 8,6 метровых Чанлонских чистых электрических автобусов.
105	В 2015 году: 18 – 6,6 метровых Чжунтонских чистых электрических автобусов.
У1	В 2015 году: 5 – 6,6 метровых Чжунтонских чистых электрических автобусов.
У3	В 2019 году: 8 – 10,5 метровых Чжунтонских чистых электрических автобусов.

В приведенной выше таблице показано, что Чжунтонские чистые электрические автобусы являются наиболее широко используемой моделью. В таблице 4.16 расписаны калибровочные параметры модели.

Таблица 4.16 – Параметры Чжунтонского чистого электрического автобуса

Название автомобиля	Чистый электрический городской автобус
Китайский бренд	Zhongtong (Чжунтон)
Габаритные размеры	10500 × 2550 × 3265 (мм)
Общий вес:	18000 (кг)
Рейтинг пассажиропотока	95/19-37,90/19-37,80/19-37,81/17-30,75/17-30 (человек)
Средняя скорость	69 (км/ч)
Модель	LCK6106EVGRA3
Тип топлива	Чистое электрическое
Количество мест:	19-37



Рисунок 4.13 – Модели общественного транспорта в Китае

Полная нагрузка транспортного средства (Т10), в процессе исследования была установлена в 61% при пиковом пассажиропотоке. Уровень тарифов (Т11) представляет собой китайскую систему единых цен на автобусные билеты, основными вариантами тарифов являются 1 или 2 юаня. Поскольку большинство представленных линий используют тариф равный 2 юаням, то в данном исследовании, 2 юаня были приняты за стандартную плату.

Таким образом была создана матрица чисел альбиносов  $D = [11 \ 10 \ 15 \ 2.5 \ 28 \ 15 \ 150 \ 0 \ 95 \ 61 \ 2]$ . Поскольку данные безразмерны, то полученные результаты обработки, следующие:

Таблица 4.17 – Значения индексов и стандарты классификации после обработки единичных данных

Показатель	Общественный транспорт	А	В			С			D
			Нижний предел	Среднее значение	Максимум	Нижний предел	Среднее значение	Максимум	
T <sub>1</sub>	0.17	< 0.38	0.38	0.54	0.69	0.69	0.85	1	> 1
T <sub>2</sub>	0.83	< 0.42	0.42	0.55	0.67	0.67	0.84	1	> 1
T <sub>3</sub>	1	< 0.33	0.33	0.43	0.53	0.53	0.72	1	> 1
T <sub>4</sub>	0.5	< 0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.7	1	> 1
T <sub>5</sub>	0.88	< 0.5	0.5	0.63	0.75	0.75	0.88	1	> 1
T <sub>6</sub>	0.375	> 1	0.75	0.88	1	0.5	0.63	0.75	< 0.5
T <sub>7</sub>	0.75	< 0.6	0.6	0.68	0.75	0.75	0.87	1	> 1
T <sub>8</sub>	0	> 1	0.89	0.96	1	0.67	0.78	0.89	< 0.67
T <sub>9</sub>	1.05	< 0.67	0.67	0.73	0.78	0.78	0.89	1	> 1
T <sub>10</sub>	0.87	< 0.71	0.71	0.79	0.86	0.86	0.93	1	> 1
T <sub>11</sub>	0.67	= 0.33	0.33	0.5	0.67	0.67	0.84	1	> 1

Таблица 4.18 – Стандартные весовые значения каждого показателя

Показатель	А	В	С	Д
T <sub>1</sub>	0.061 889	0.077 253	0.095 185	0.098 328
T <sub>2</sub>	0.068 404	0.078 684	0.094 065	0.098 328
T <sub>3</sub>	0.032 573	0.042 918	0.078 387	0.098 328
T <sub>4</sub>	0.053 746	0.061 516	0.080 627	0.098 328
T <sub>5</sub>	0.081 433	0.090 129	0.098 544	0.098 328
T <sub>6</sub>	0.162 866	0.125 894	0.070 549	0.049 164

T <sub>7</sub>	0.009 772	0.097 282	0.097 424	0.098 328
T <sub>8</sub>	0.162 866	0.137 339	0.087 346	0.065 880
T <sub>9</sub>	0.109 121	0.104 435	0.099 664	0.098 328
T <sub>10</sub>	0.115 635	0.113 019	0.104 143	0.098 328
T <sub>11</sub>	0.053 746	0.071 531	0.094 065	0.098 328

Путем определения коэффициентов кластеризации каждого индекса, принадлежащего к формуле (69), были сформированы векторы кластеризации отдельно от этого результата:  $\sigma = \{0.20729558, 0.17822322, 0.19384841, 0.06302355\}$ , при этом максимальный коэффициент кластеризации в векторе оценки качества обслуживания равен 0.20729558.

Благодаря дальнейшей интерпретации коэффициента кластеризации, максимальный коэффициент кластеризации является оценочным индексом удобства, а коэффициент равный 0.20729558 означает, что при ежедневных поездках время ожидания автобуса слишком велико, что приводит к более высокому коэффициенту.

Проведенный анализ иллюстрирует адаптивность и необходимость применения новых технологий в BRT, то есть внедрения интеллектуальной системы трафика. Интеллектуальная транспортная система может самостоятельно регулировать и контролировать отъезд транспортного средства и повысить общую эффективность автобуса, что очень полезно в контексте применения интеллектуального транспорта в системе автобусов.

## 4.2 Тематическое исследование работы общественного транспорта

### 1. Анализ конкретных случаев

Проанализировав ряд методов расчета и моделей, можно сделать вывод, что с помощью модели оптимизации расписания с учетом стоимости превышения номинальной вместимости автобуса, используя генетические алгоритмы для вычислений, подобная модель в большей степени соответствует техническим стандартам на существующем этапе моделирования, поскольку она относительно мало зависит от внешней идеализированной среды.

В рамках данного исследования берется анализ использования BRT-7 в городе Цзинань в качестве практического примера. Отправной точкой маршрута является район Цзоучжуан, а конечной точкой маршрута является Цзинаньский Университет. На данном маршруте есть 24 автобусные остановки. Общая эксплуатационная протяженность маршрута составляет 18,41 км., а часы работы – 06:00-21:00. Интервал отправления в среднем изменяется от 4 до 20 минут. В ходе опроса количества людей, садящихся в автобус и выходящих из него, пиковый спрос на BRT-7 оказался в полдень и вечером соответственно. Данные приведены в таблицах 4.19-4.21.

Таблица 4.19 – Данные исследования пассажиропотока BRT-7 в утреннее время

Остановки	BRT-7 (2022-3)		Работа BDS в км	Поперечный пассажиропоток (кол-во человек)	Время прибытия	Время отправления
	Кол-во пассажиров, входящих в автобус	Кол-во пассажиров, выходящих из автобуса				
1.Новая деревня Цзоучжуан	46	0	0	46		6:00
2.Город Хайна	43	0	0,864	43	6:03	6:05:08
3.Средняя дорога Сиша, Мейли-роуд	43	23	0,491	43	6:07:20	6:09:03



4.Сиша Чжуанбэй	24	10	0,311	24	6:10:22	6:11:50
5.Мейли- роуд, вторая западная кольцевая дорога	15	12	0,49	15	6:14:00	6:14:31
6.Сообществ о Сиша	7	10	0,928	7	6:16:42	6:17:02
7.Сушан, вторая западная кольцевая дорога	11	11	0,693	11	6:18:05	6:18:35
8.Цинъюань- роуд, вторая западная кольцевая дорога	25	21	0,561	25	6:20:21	6:21:00
9.Западная железнодоро жная станция деревни Куаншань	32	24	0,685	32	6:23:06	6:24:08
10.Южный путепровод Куаншань	21	28	0,855	21	6:26:15	6:27:10
11.Вэйхай- роуд, вторая западная кольцевая дорога	9	14	1	9	6:31:00	6:31:25
12.Жичжао- роуд, вторая западная кольцевая дорога	9	7	0,613	9	6:32:34	6:32:55
13.Чжанчжу ан-роуд, вторая западная кольцевая дорога	4	3	0,561	4	6:34:53	6:35:02
14. Цинлю- роуд, вторая западная кольцевая дорога	20	16	0,566	20	6:37:01	6:37:43
15. Эстакада Лашан	8	10	0,825	8	6:40:06	6:40:26

16. Дорога Синси, участок дороги Цзинши	3	10	1,5	3	6:42:31	6:42:59
17. Западная улица Инши, Цзинши-роуд	26	16	0,7	26	6:45:08	6;46:00
18. Дорога Цзинши, западная дорога Наньсиньчжуан	23	16	1,6	23	6:48:03	6:48:46
19. Улица Наньсиньчжуан, западная дорога Наньсиньчжуан	42	39	0,68	42	6:50:36	6:52:02
20. Завод испытательных машин	30	40	1,1	30	6:54:04	6:57:09
21. Ван Гуаньчжуан	55	53	0,509	55	7:00:01	7:03:04
22. Междугородный пассажирский терминал Цинлуншань	19	53	0.93	19	7:05:22	7:09:21
23. Хоулунчжуан	2	58	1,5	2	7:12:33	7:16:00
24. Цзинаньский университет	0	57	0,43	0	7:17:34	

Таблица 4.20 – Данные исследования пассажиропотока BRT-7 в полдень

Остановки	BRT-7 (2022-3)		Работа BDS в км	Поперечный пассажиропоток (кол-во человек)	Время прибытия	Время отправления
	Кол-во пассажиров, входящих в автобус	Кол-во пассажиров, выходящих из автобуса				

1.Новая деревня Цзоучжуан	0	0	0	0		13:49:00
2.Город Хайна	12	0	0,864	12	14:00:00	14:00:25
3.Средняя дорога Сиша, Мейли-роуд	22	2	0,491	22	14:02:04	14:02:48
4.Сиша Чжуанбэй	33	12	0,311	33	14:05:11	14:06:28
5.Мейли-роуд, вторая западная кольцевая дорога	2	21	0,49	2	14:08:30	14:09:09
6.Сообщество Сиша	4	3	0,928	4	14:11:20	14:11:28
7.Сушан, вторая западная кольцевая дорога	20	10	0,693	20	14:13:51	14:15:01
8.Цинъюань-роуд, вторая западная кольцевая дорога	21	11	0,561	21	14:17:08	14:17:49
9.Западная железнодорожная станция деревни Куаншань	36	14	0,685	36	14:19:55	14:21:06
10.Южный путепровод Куаншань	23	30	0,855	23	14:23:08	14:24:20
11.Вэйхай-роуд, вторая западная кольцевая дорога	7	3	1	7	14:26:00	14:26:15
12.Жичжао-роуд, вторая западная кольцевая дорога	2	1	0,613	2	14:28:17	14:28:25
13.Чжанчжуан-роуд, вторая западная	5	2	0,561	5	14:30:33	14:30:42

кольцевая дорога						
14. Цзинлю-роуд, вторая западная кольцевая дорога	10	19	0,566	10	14:32:01	14:32:42
15. Эстакада Лашан	20	13	0,825	20	14:34:55	14:35:05
16. Дорога Синси, участок дороги Цзинши	11	25	1,5	11	14:37:08	14:37:59
17. Западная улица Инши, Цзинши-роуд	30	22	0,7	30	14:40:05	14:41:01
18. Дорога Цзинши, западная дорога Наньсиньчжуан	15	18	1,6	15	14:43:00	14:43:34
19. Улица Наньсиньчжуан, западная дорога Наньсиньчжуан	25	30	0,68	25	14:45:34	14:46:41
20. Завод испытательных машин	22	20	1,1	22	14:48:53	14:50:00
21. Ван Гуаньчжуан	10	20	0,509	10	14:52:03	14:52:43
22. Междугородный пассажирский терминал Цинлуншань	2	29	0,93	2	14:54:45	14:55:11
23. Хоулунчжуан	1	17	1,5	1	14:57:13	14:57:15
24. Цзинаньский университет	0	11	0,43	0	14:58:00	

Таблица 4.21 – Данные исследования пассажиропотока BRT-7 в вечернее время

Остановки	BRT-7 (2022-3)	Работа BDS в км	Поперечный пассажиропоток	Время прибытия	Время отправления
-----------	----------------	-----------------	---------------------------	----------------	-------------------

				(кол-во человек)		
	Кол-во пассажиров, входящих в автобус	Кол-во пассажиров, выходящих из автобуса				
1.Новая деревня Цзоучжуан	55	0	0	55		18:05:00
2.Город Хайна	23	2	0,864	23	18:07:02	18:08:04
3.Средняя дорога Сиша, Мейли-роуд	24	2	0,491	24	18:10:11	18:10:53
4.Сиша Чжуанбэй	33	3	0,311	33	18:13:06	18:14:10
5.Мейли-роуд, вторая западная кольцевая дорога	28	10	0,49	28	18:16:25	18:17:10
6.Сообщество Сиша	30	3	0,928	30	18:19:33	18:20:04
7.Сушан, вторая западная кольцевая дорога	20	4	0,693	28	18:22:06	18:22:48
8.Цинъюань-роуд, вторая западная кольцевая дорога	2	3	0,561	22	18:25:03	18:25:09
9.Западная железнодорожная станция деревни Куаншань	1	14	0,685	32	18:27:13	18:27:53
10.Южный путепровод Куаншань	7	34	0,855	18	18:30:02	18:31:33
11.Вэйхай-роуд, вторая западная кольцевая дорога	7	5	1	9	18:33:41	18:33:58
12.Жичжао-роуд, вторая западная	6	2	0,613	8	18:36:01	18:36:14

кольцевая дорога						
13.Чжанчжу ан-роуд, вторая западная кольцевая дорога	3	1	0,561	10	18:38:19	18:38:22
14. Цзинлю- роуд, вторая западная кольцевая дорога	1	1	0,566	5	18:40:21	18:40:25
15. Эстакада Лашан	2	22	0,825	36	18:42:21	18:43:03
16. Дорога Синси, участок дороги Цзинши	1	25	1,5	11	18:45:06	18:45:55
17. Западная улица Инши, Цзинши- роуд	3	2	0,7	30	18:48:02	18:48:06
18. Дорога Цзинши, западная дорога Наньсиньчжу ан	4	18	1,6	15	18:50:02	18:50:38
19.Улица Наньсиньчж уан, западная дорога Наньсиньчж уан	2	30	0,68	20	18:52:44	18:54:03
20.Завод испытательн ых машин	44	30	1,1	56	18:56:11	18:58:25
21.Ван Гуаньчжуан	30	2	0,509	30	19:01:01	19:02:12
22.Междуго родний пассажирски й терминал Цинлуншань	50	62	0.93	64	19:04:22	19:06:03
23.Хоулунчж уан	1	40	1,5	2	19:08:23	19:09:33
24.Цзинаньс кий университет	0	62	0,43	0	19:10:42	



Рисунок 4.13 –Схема автобусного маршрута BRT-7



Рисунок 4.14 – Пример подачи реального транспортного средства автобуса BRT-7

### 4.3 Определение основных параметров модели

Для полноценного изучения данного вопроса, необходимо, в первую очередь, определить, как оптимизировать и скорректировать частоту движения BRT. В теории и практике для этого использовались различные методы. Например, существуют способы регулирования интервала отправления автобусов BRT с помощью навигационной системы GLONASS или навигационной системы BEIDOU [55,57,58,59,60]; способы балансировки и структурирования затрат на функционирования системы BRT. Кроме того, существует несколько методов, которые используют генетические алгоритмы (GA Genetic Algorithm) для расчета общей стоимости поездки пассажиров, пользующихся BRT. В данной статье при моделировании используется комбинирование интеллектуальных систем с системами BRT. Стоимость поездки для пассажиров и затраты автобусных компаний рассматриваются как ключевые факторы при регулировании интервала отправления автобусов BRT.

В рамках моделирования используются и учитываются следующие критерии:

- Стоимость времени ожидания для пассажиров;
- Стоимость заполнения автобуса пассажирами;
- Целевая функция эксплуатационных расходов автобусной компании.



Рисунок 4.15 – Технологическая схема работы модели



Таблица 4.22 – Основные переменные и значения переменных рассматриваемой модели

Переменная	Значение переменных
$F_{max}$	120 (раз/день)
$\Delta t_{min}$	1 минут
$\Delta t_{max}$	20 минут
$Q_1$	153 человек
$Q_2$	35 человек
ICF	50%
L	18,41 км
$\gamma_1$	2.33 юань
$\gamma_2$	0.02417357 юань
$\gamma_3$	3.33 юань
$\lambda$	857 (с/юань)
$\delta$	30 (с)
e	2 (с)
b	2 (с)

Где,

$F_{max}$  – общее количество отправок автобусов BRT;

$\Delta t_{min}$  – минимальный интервал отправления в течение k периодов времени;

$\Delta t_{max}$  – максимальный интервал отправления в течение k периодов времени;

$Q_1$  – номинальная пассажировместимость в автобусе;

$Q_2$  – число пассажирских мест в автобусе;

ICF – коэффициент загрузки автобуса. Это значение обычно равно 50%;

L – общая длина линии;

$\gamma_1$  – стоимость ожидания для пассажира;

$\gamma_2$  – стоимость переполненности автобуса для пассажиров;

$\gamma_3$  – средняя стоимость проезда на автобусе на километр;

$\lambda$  – коэффициент преобразования затрат во времени для автобусной компании;

e – среднее время выхода пассажиров из автобуса, постоянное;

b – среднее время посадки пассажиров, постоянное;

$\delta$  – время разгона и замедления транспортного средства, постоянное.

## Настройка параметров генетического алгоритма

В данном исследовании было принято решение задать следующие значения для переменных, чтобы достигнуть максимально точного результата:

$M$  – численность популяции в генетическом алгоритме;

$T$  – индекс цикла;

$P_c$  – вероятность пересечения;

$P_m$  – вероятность мутации;

$N_{max}$  – максимальный параметр итерации.

Таблица 4.23 – Переменные и значения переменных генетического алгоритма

Переменная	Значение переменных
$M$	200
$T$	300
$P_c$	0.4
$P_m$	0.005

## 4.4 Оптимизированные результаты

В соответствии с различными значениями веса в модели, результаты оптимизации также отличаются по ряду параметров. В рамках данного исследования было использовано программное обеспечение MATLAB для выполнения имитационных вычислений [4,8,52].

Таблица 4.24 – Оптимальный интервал отправления автобуса при различных весовых факторах в утреннее время

$\omega_1$	$\omega_2$	$\omega_3$	$\Delta t(\text{min})$	Нумерация
0.3332	0.3332	0.3336	1.828586432	№.1
0.1428	0.1225	0.7347	3.155474526	№.2
0.1321	0.6346	0.2333	2.209426366	№.3
0.6221	0.1121	0.2658	1.376669974	№.4
0.2429	0.3898	0.3673	2.098015297	№.5

Таблица 4.25 – Оптимальный интервал отправления автобуса при различных весовых факторах в полдень

$\omega_1$	$\omega_2$	$\omega_3$	$\Delta t(\text{min})$	Нумерация
0.3332	0.3332	0.3336	2.117391769	№.6
0.1428	0.1225	0.7347	3.653714868	№.7
0.1321	0.6346	0.2333	2.558383297	№.8
0.6221	0.1121	0.2658	1.594126732	№.9
0.2429	0.3898	0.3673	2.429379224	№.10

Таблица 4.26 – Оптимальный интервал отправления автобуса при различных весовых факторах в вечернее время

$\omega_1$	$\omega_2$	$\omega_3$	$\Delta t(\text{min})$	Нумерация
0.3332	0.3332	0.3336	2.031600636	№.11
0.1428	0.1225	0.7347	3.505865703	№.12
0.1321	0.6346	0.2333	2.454656654	№.13
0.6221	0.1121	0.2658	1.529554271	№.14
0.2429	0.3898	0.3673	2.330965165	№.15

На следующих рисунках показана соответствующая имитационная графика, созданная для наглядного примера применения технологий моделирования для анализа BRT.

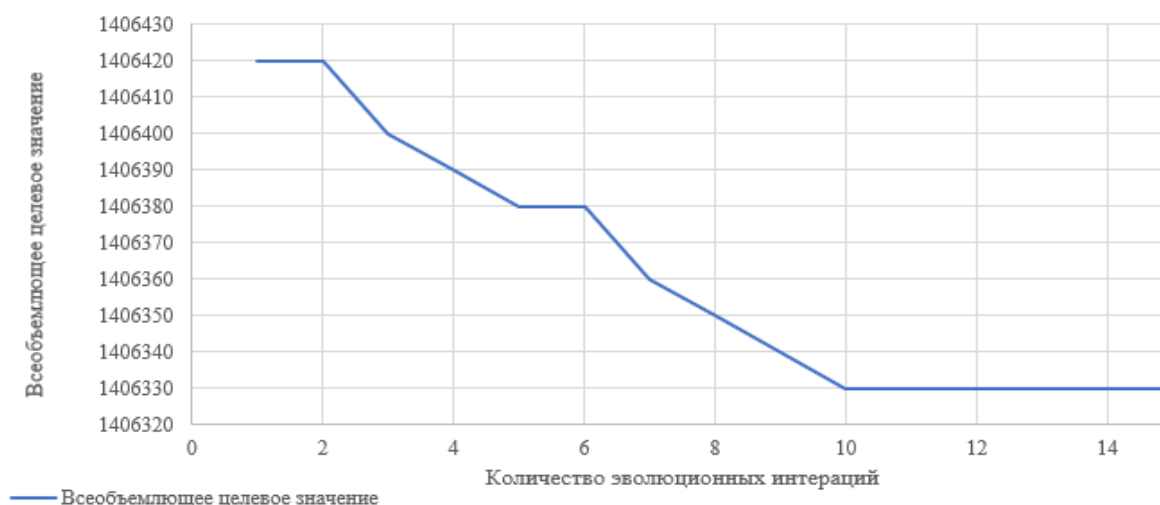


Рисунок 4.16 – Схема моделирования №.1

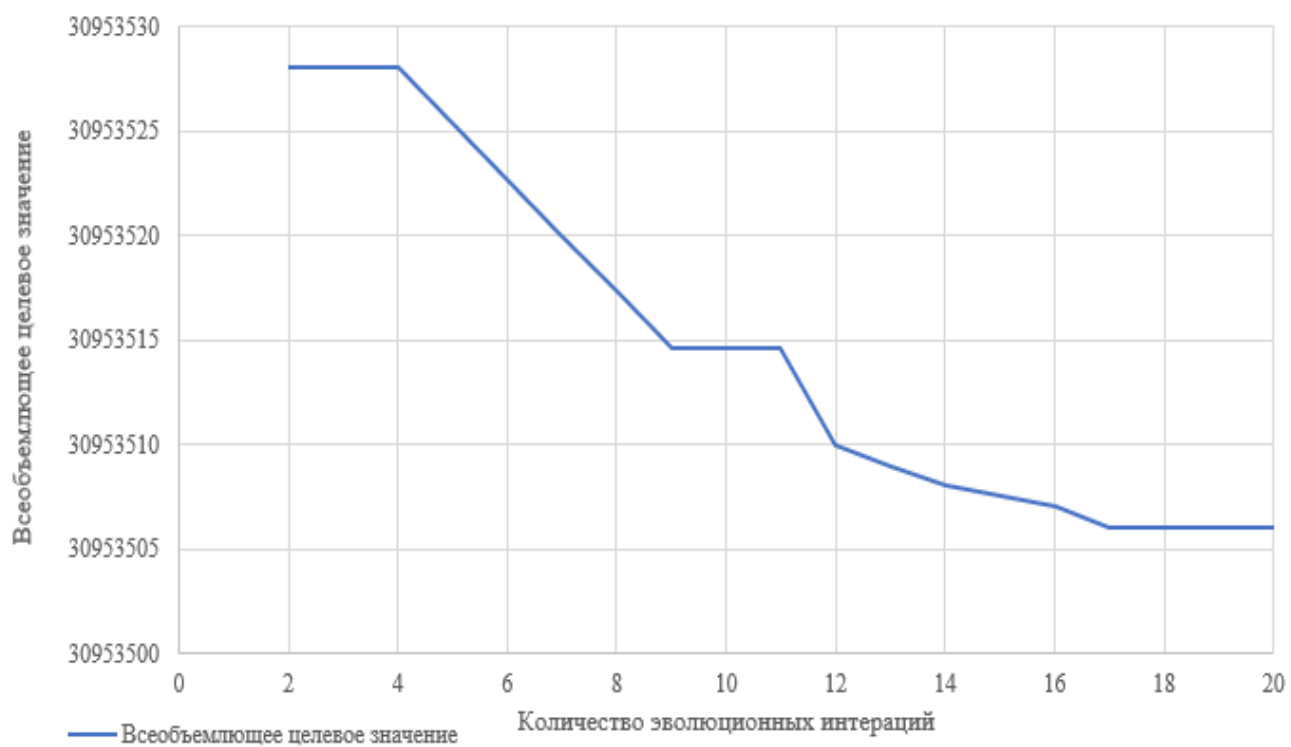


Рисунок 4.17 – Схема моделирования №.2

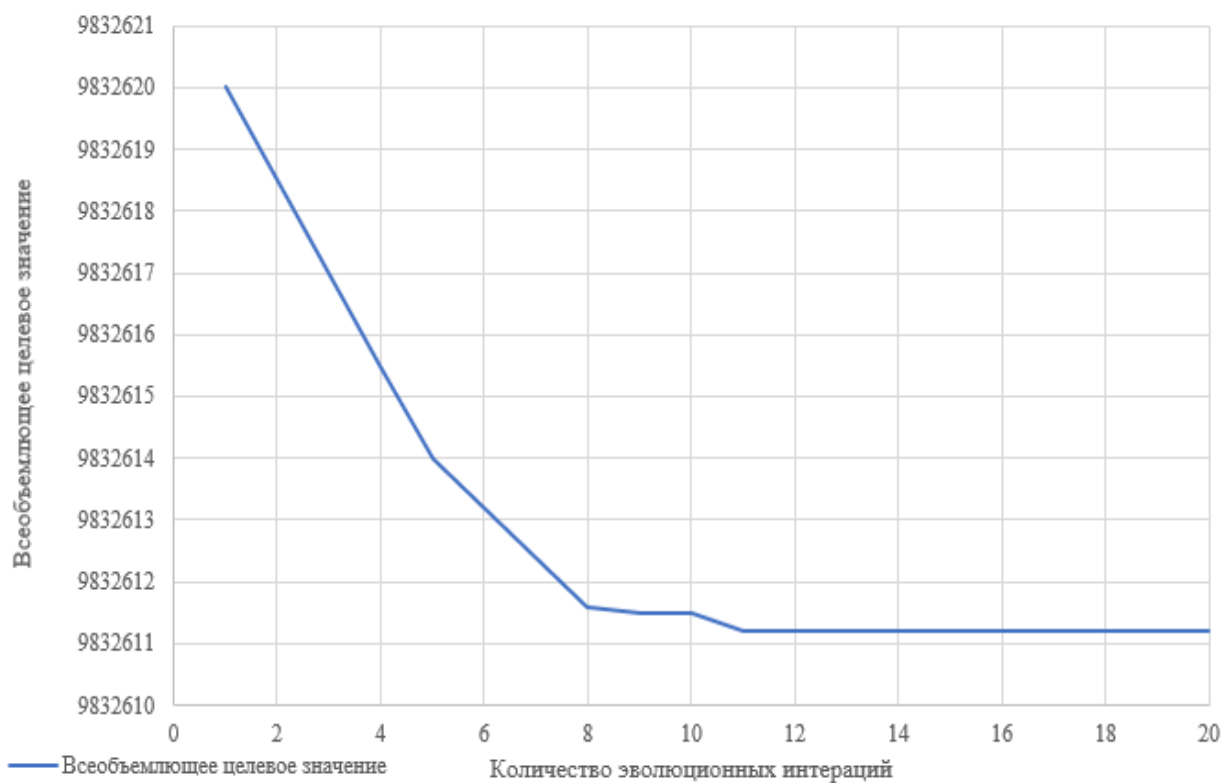


Рисунок 4.18 – Схема моделирования №.3

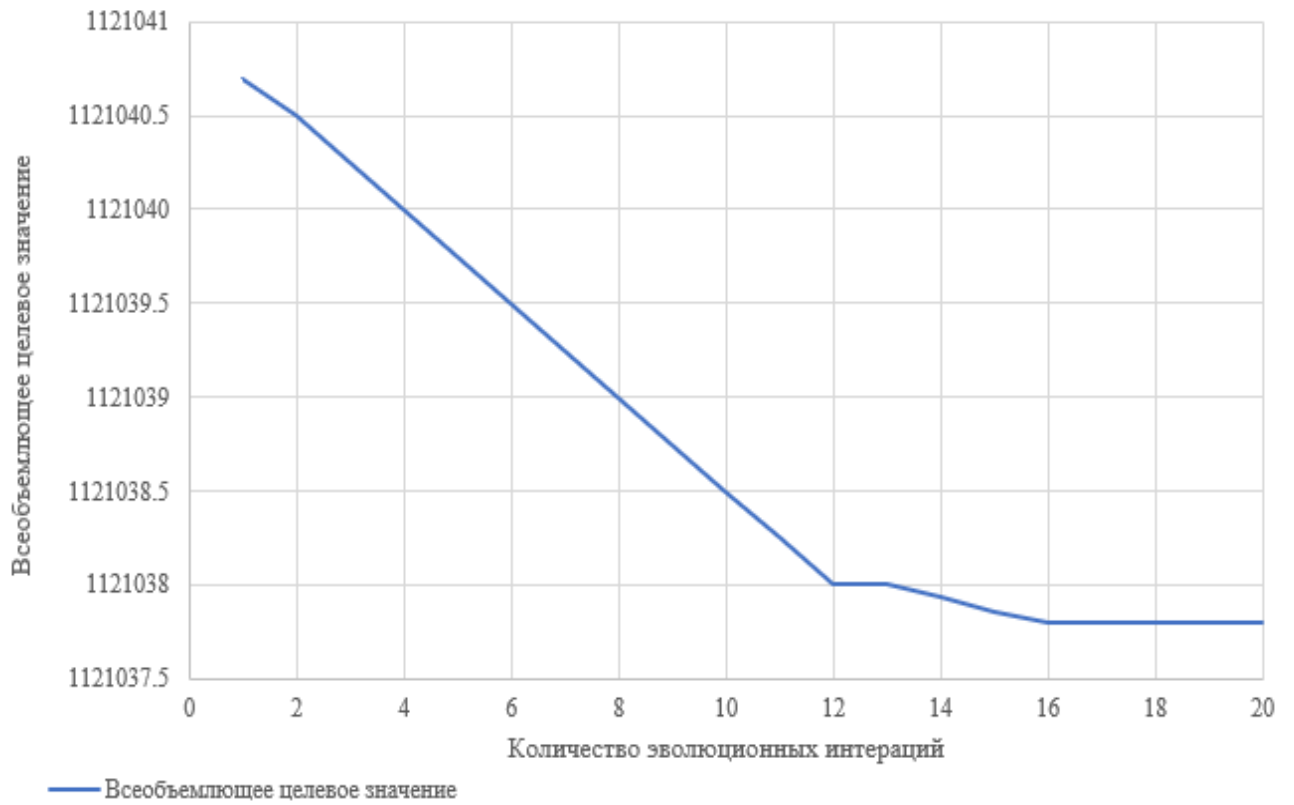


Рисунок 4.19 – Схема моделирования №.4

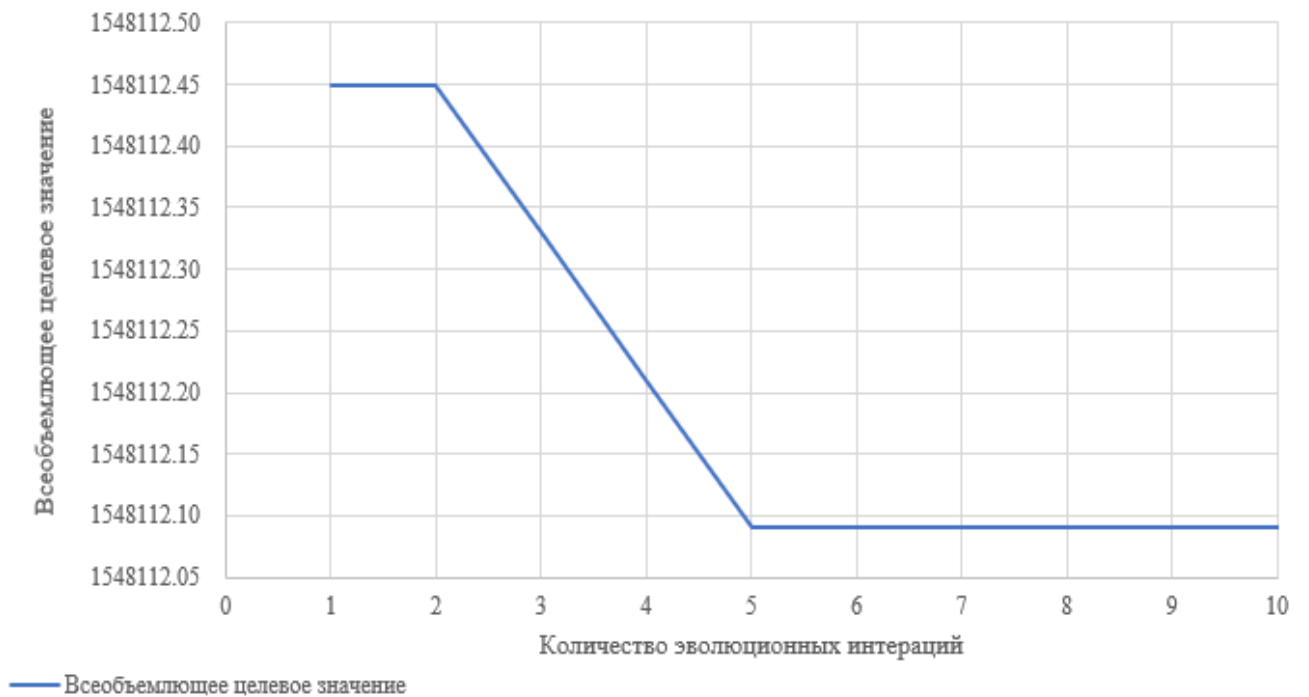


Рисунок 4.20 – Схема моделирования №.5

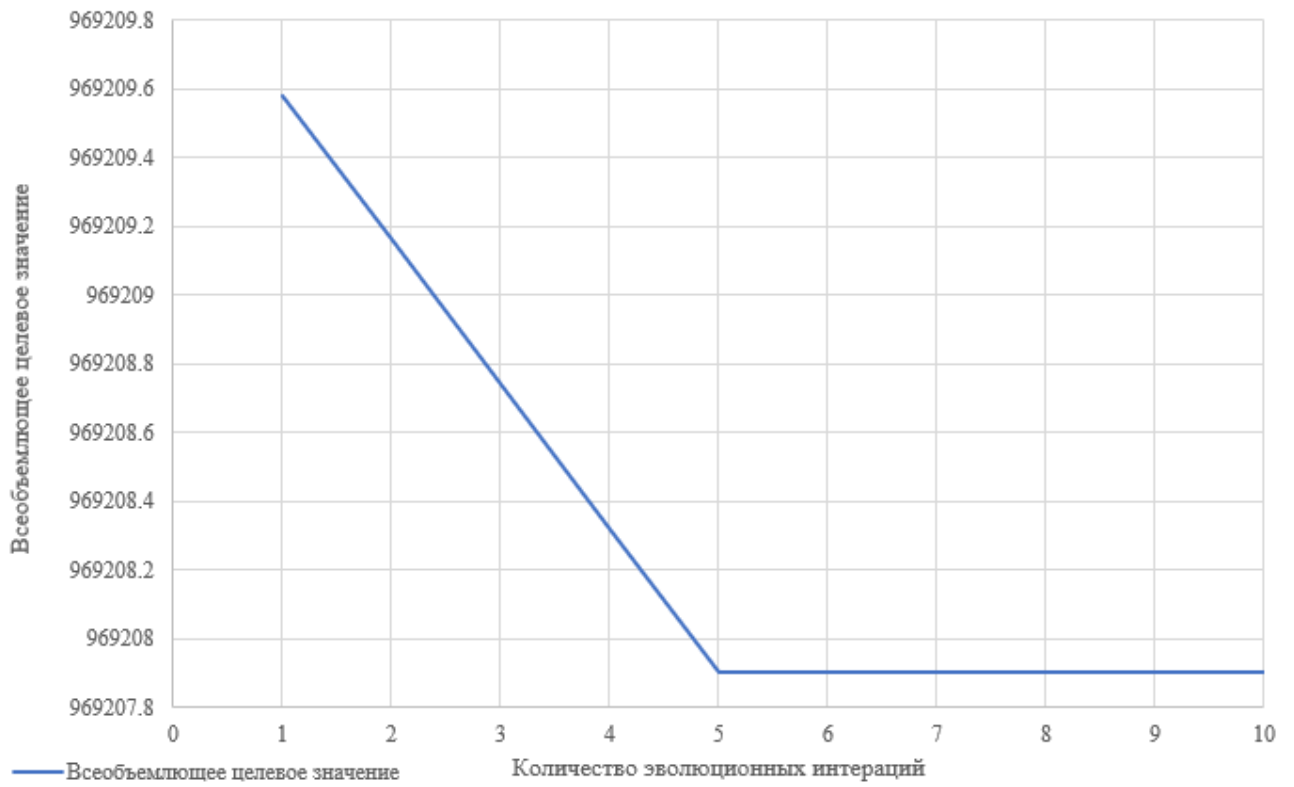


Рисунок 4.21 – Схема моделирования №.6

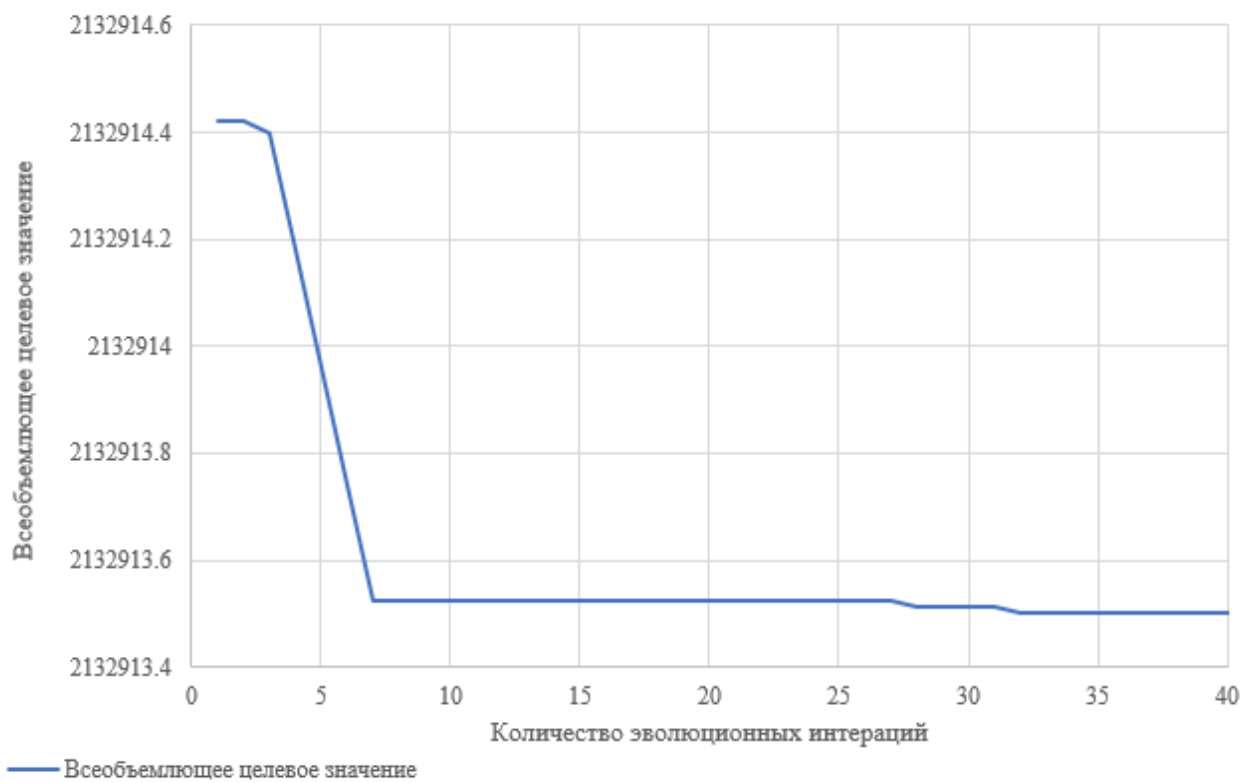


Рисунок 4.22 – Схема моделирования №.7

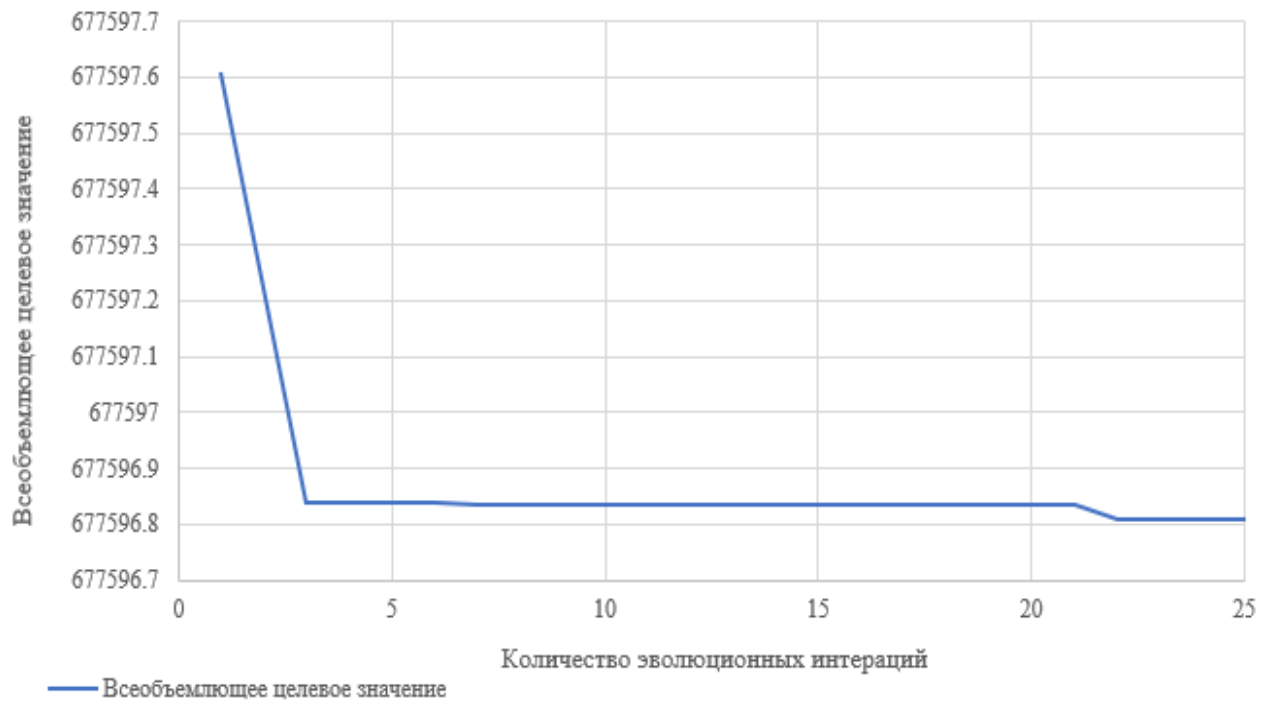


Рисунок 4.23 – Схема моделирования №.8

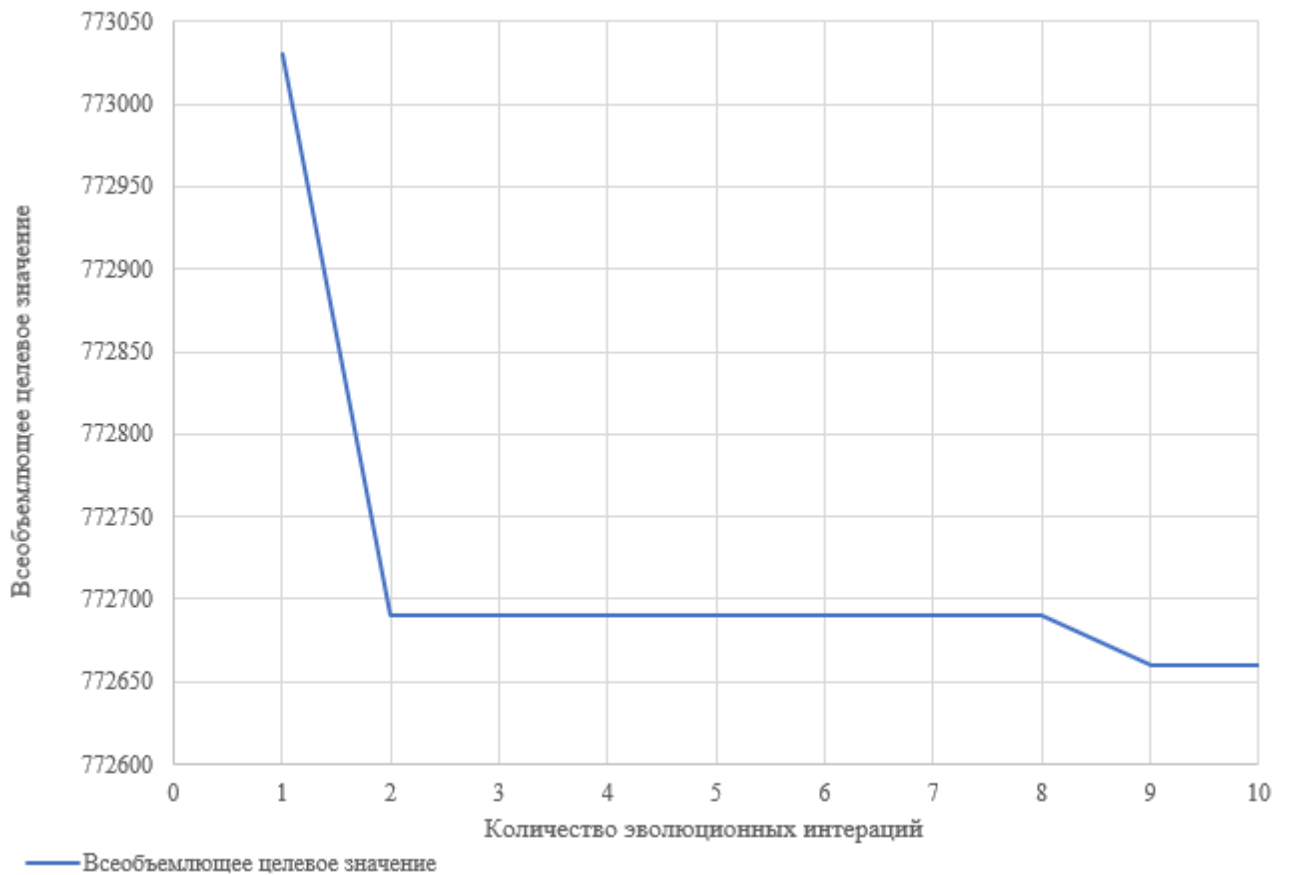


Рисунок 4.24 – Схема моделирования №.9

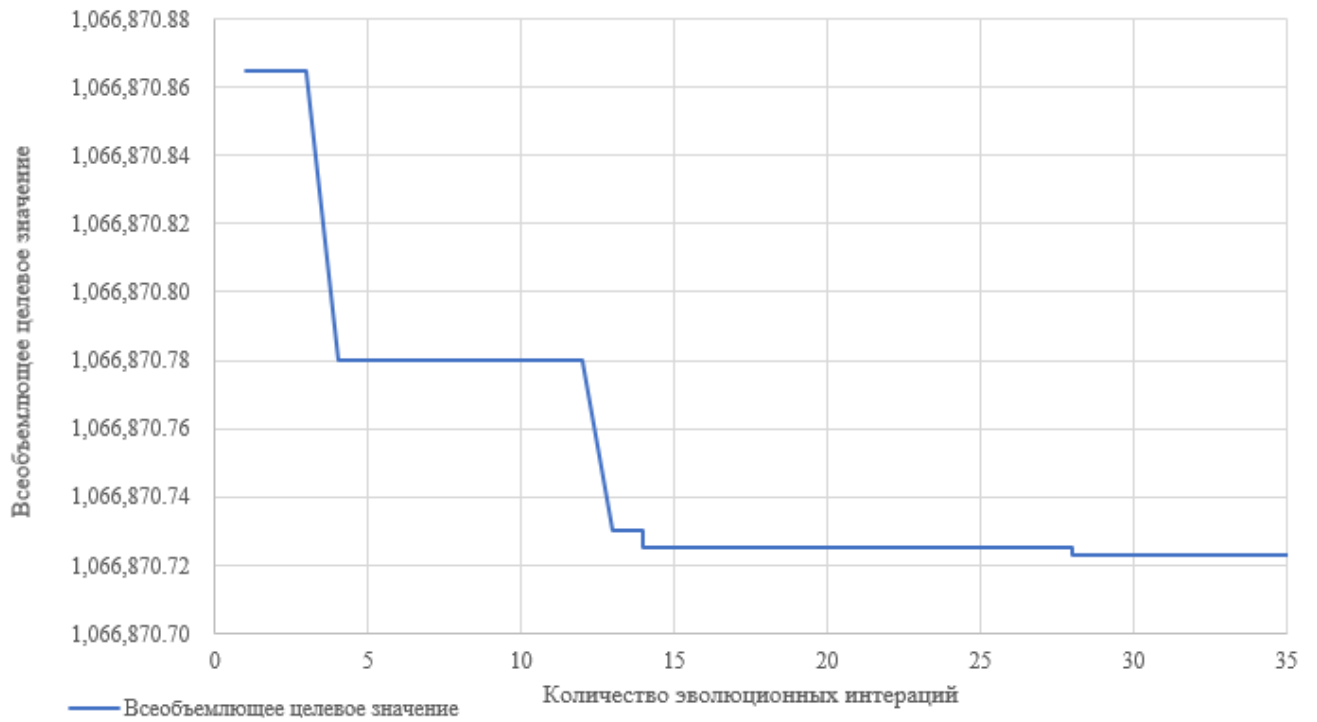


Рисунок 4.25 – Схема моделирования №.10

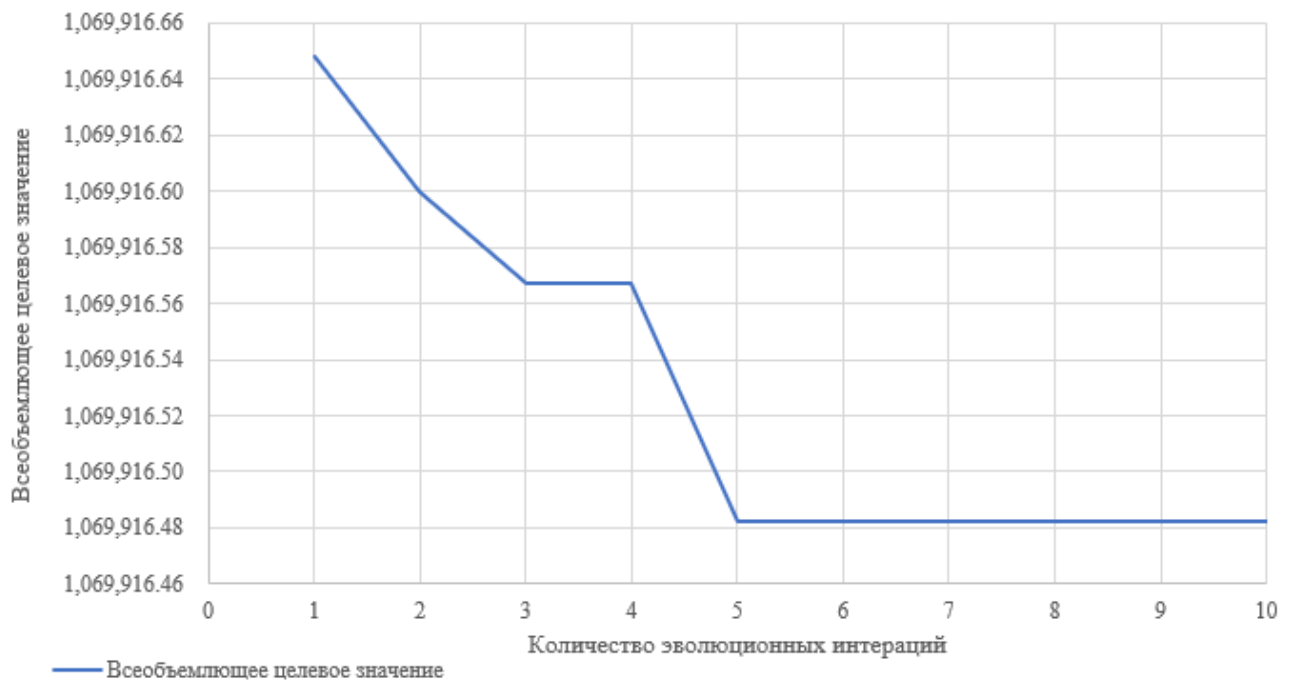


Рисунок 4.26 – Схема моделирования №.11



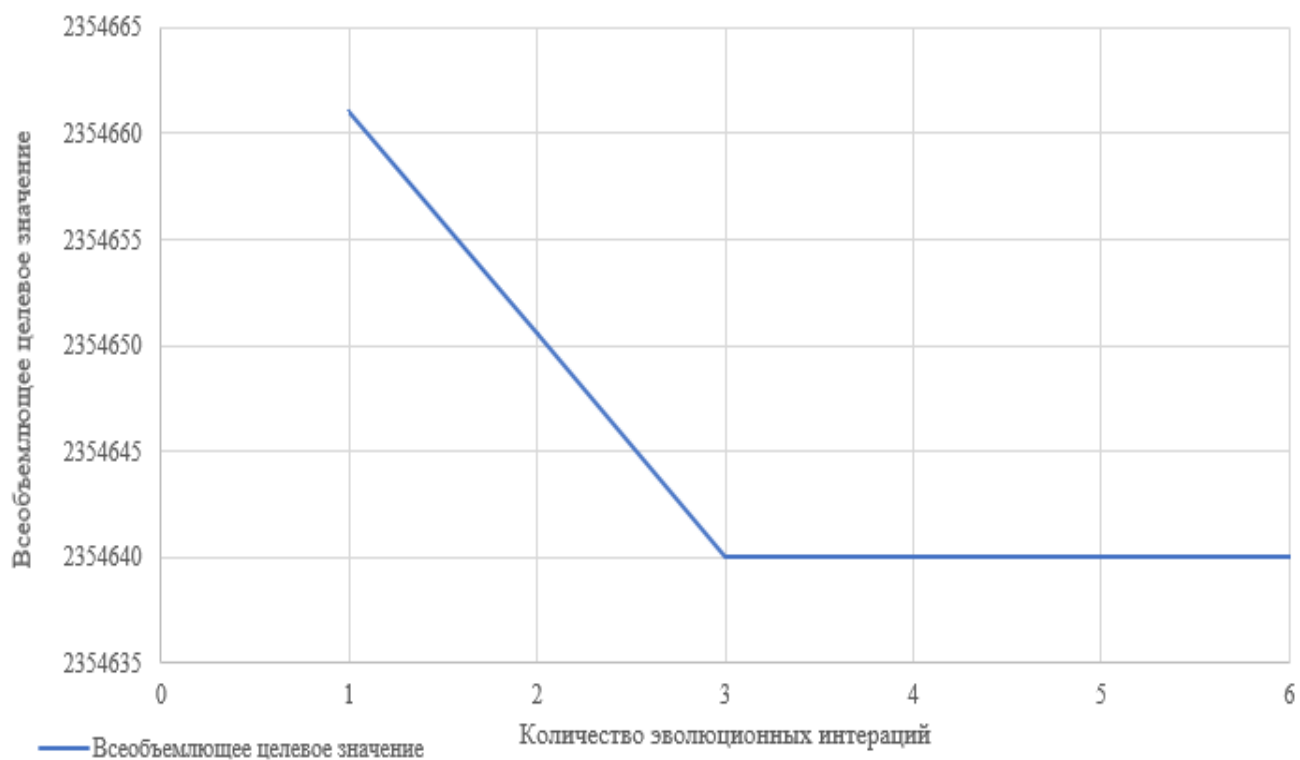


Рисунок 4.27 – Схема моделирования №.12

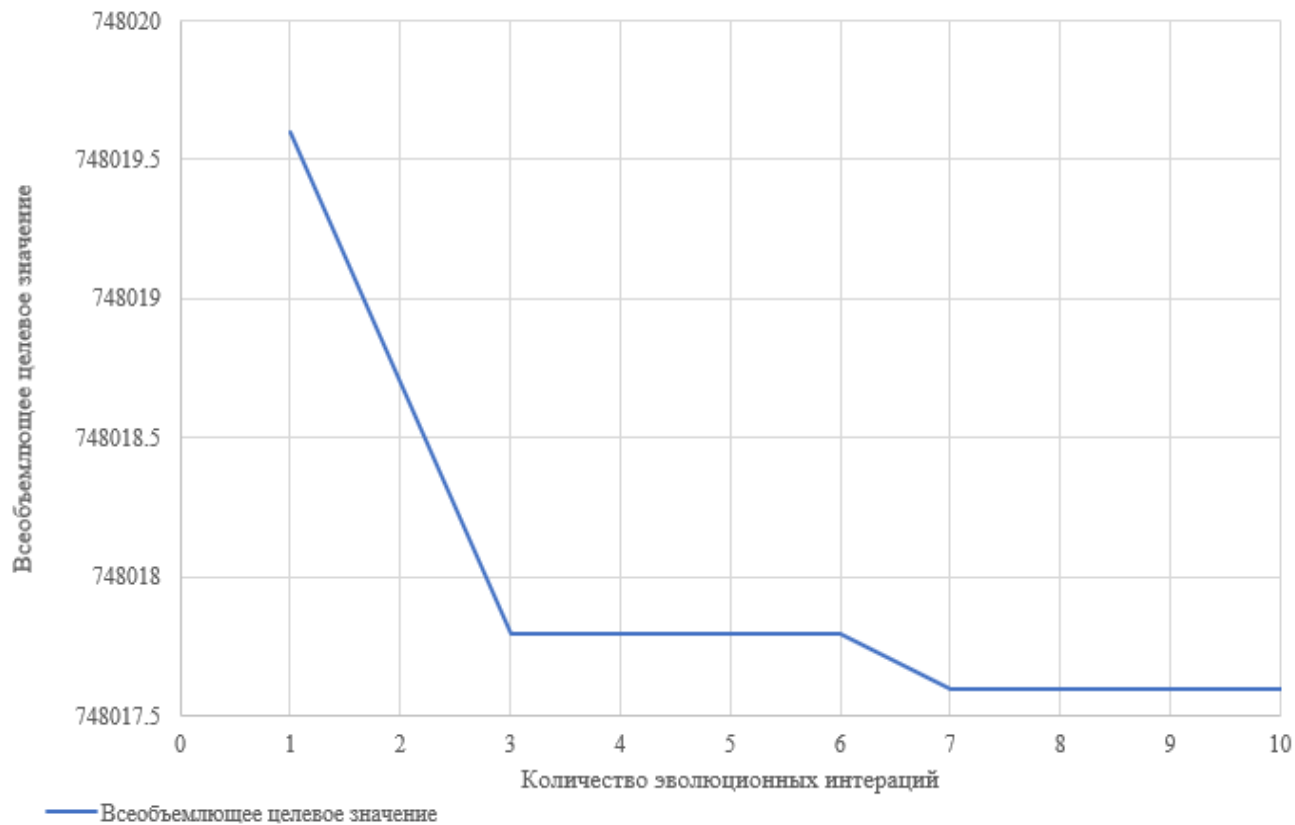


Рисунок 4.28 – Схема моделирования №.13

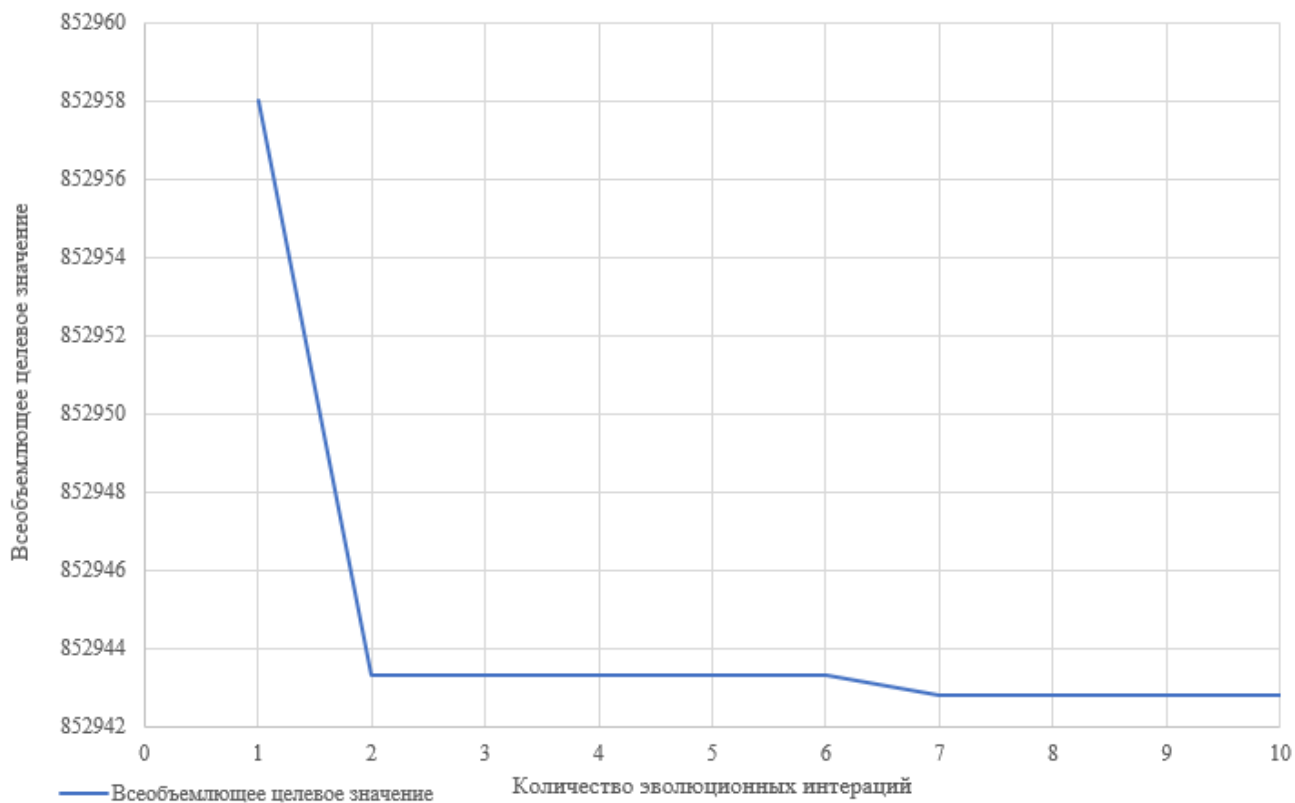


Рисунок 4.29 – Схема моделирования №.14

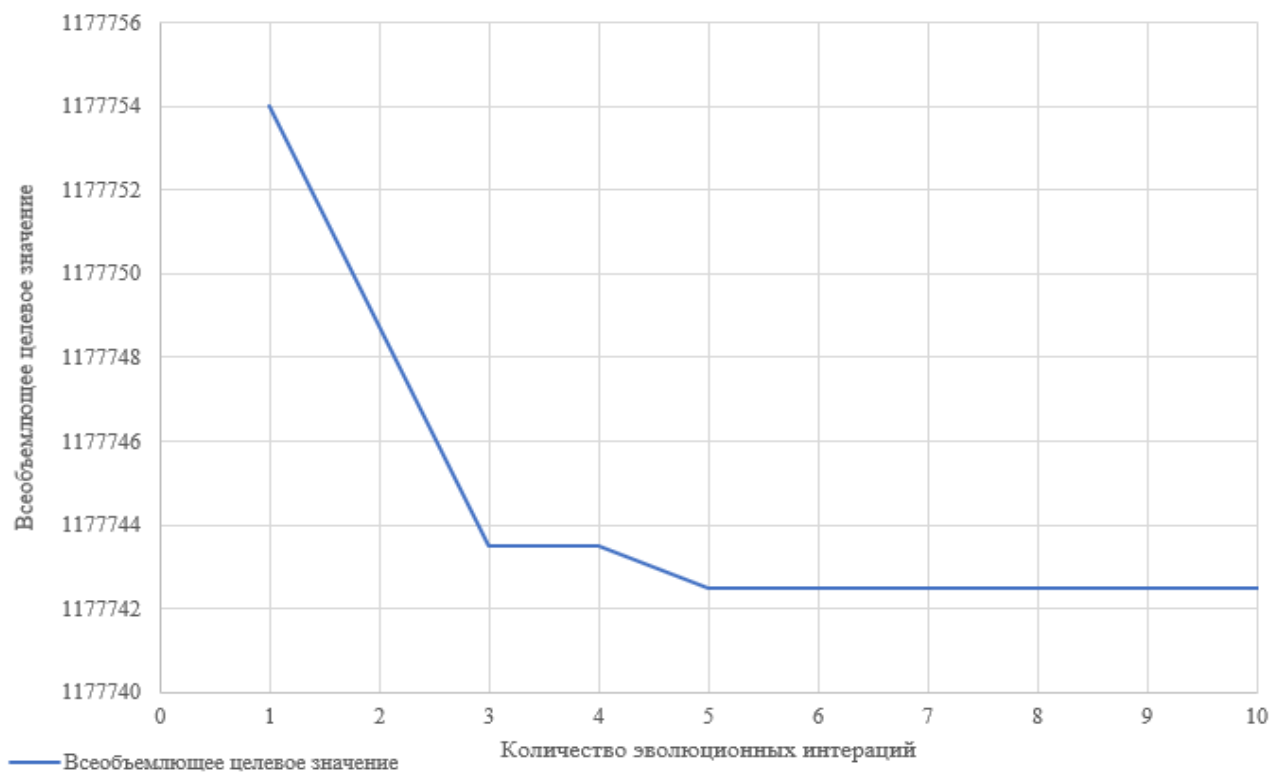


Рисунок 4.30 – Схема моделирования №.15

Стоимость автобусных компаний и стоимость пассажиров также различны при разном весе факторов, что представлено в таблицах 4.27-4.29.

Таблица 4.27 – Разные затраты при разных весовых факторах в утреннее время

$\omega_1$	$\omega_2$	$\omega_3$	Нумерация	Затраты для пассажиров	Расходы автобусной компании (стоимость эксплуатации)
0.3332	0.3332	0.3336	№.1	2013.944298	4213607.127
0.1428	0.1225	0.7347	№.2	5997.162619	4211915.388
0.1321	0.6346	0.2333	№.3	2940.190928	4212913.659
0.6221	0.1121	0.2658	№.4	1141.500613	4214927.791
0.2429	0.3898	0.3673	№.5	2651.146757	4213090.474

Таблица 4.28 – Разные затраты при разных весовых факторах в полдень

$\omega_1$	$\omega_2$	$\omega_3$	Нумерация	Затраты для пассажиров	Расходы автобусной компании (стоимость эксплуатации)
0.3332	0.3332	0.3336	№.1	1739.292402	2903562.386
0.1428	0.1225	0.7347	№.2	5178.923116	2902101.467
0.1321	0.6346	0.2333	№.3	2539.226144	2902963.502
0.6221	0.1121	0.2658	№.4	985.8613666	2904702.838
0.2429	0.3898	0.3673	№.5	2289.606161	2903116.196

Таблица 4.29 – Разные затраты при разных весовых факторах в вечернее время

$\omega_1$	$\omega_2$	$\omega_3$	Нумерация	Затраты для пассажиров	Расходы автобусной компании (стоимость эксплуатации)
0.3332	0.3332	0.3336	№.1	1812.77522	3205373.103
0.1428	0.1225	0.7347	№.2	5398.310084	3203850.379
0.1321	0.6346	0.2333	№.3	2646.359142	3204749.012
0.6221	0.1121	0.2658	№.4	1027.536027	3206561.66
0.2429	0.3898	0.3673	№.5	2386.375832	3204908.047

## Выводы

При последующем анализе можно сравнить общую стоимость BRT. Когда вес показателей:  $\omega_1 = 0,3332$ ,  $\omega_2 = 0,3332$ ,  $\omega_3 = 0,3336$ , стоимость общего целевого значения является наименьшей. Эта модель обладает очень надежной степенью интеграции, а оптимальный интервал BRT относительно точен и составляет  $\{\Delta t(\min) = 2\}$  минут (утренний пик и вечерний пик), поэтому после моделирования и расчета с помощью MATLAB, в итоге можно получить точный интервал отправления BRT.

Когда вес смещается в пользу пассажиров, то состав общественного транспорта увеличивается, а время ожидания автобуса пассажирами и степень загруженности автобуса уменьшаются. Когда вес факторов смещен в сторону автобусных компаний, стоимость ожидания и загруженность пассажиров значительно возрастают, отражая, что влияние пассажиров на степень загруженности может в значительной степени повлиять и на интервал отправления автобуса.

В то же время можно обнаружить, что, когда весовые факторы смещаются в сторону автобусной компании, суммарные затраты увеличиваются (что продемонстрировано в таблицах 4.27-4.29). Благодаря приведенным результатам было обнаружено, что: №1, №6, №11 обладают интервалом отправления автобуса BRT с наименьшей стоимостью; №2, №7, №12 – обладают самым дорогим интервалом отправления автобуса BRT. При этом, BRT стоимость выбора №6 на 31.08% ниже, чем стоимость №1. Стоимость выбора №6 на 9.42% ниже, чем стоимость №11. Стоимость выбора №11 на 23.92% ниже, чем стоимость выбора №1. При тех же весовых факторах, по мере изменения количества пассажиров, стоимость перевозки также сильно изменяется.

Благодаря расчетным выводам можно обнаружить, что различные значения весовых факторов оказывают большее влияние при моделировании с использованием генетического алгоритма. Благодаря оптимизации разумных интервалов отправления в системе можно не только улучшить социальные преимущества BRT, но и увеличить экономические выгоды внедрения BRT. При

условии точного учета интервала отправления BRT, количества отправок BRT и пассажиропотока BRT, изучается и формируется наиболее выгодное расписание отправления автобусов BRT. На основе всестороннего учета ограничений, с целью уменьшения времени ожидания автобуса пассажирами, обеспечения комфорта пассажиров и минимальных эксплуатационных расходов автобусной компании, преимущества интеллектуальной системы используются полностью во всей системе BRT, при этом формируя быструю и эффективную интеллектуальную систему BRT.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ состояния и перспектив развития систем скоростного автобусного транспорта показал, что недостаточная во многих случаях эффективность BRT сдерживается неполными научными знаниями о применении в этой области интеллектуальных транспортных систем, методов и моделей оценки качества и управления функционированием BRT.

2. Полученные в диссертационной работе результаты являются теоретической и методической основой для решения системной задачи развития BRT включая совершенствование структуры архитектуры интеллектуальной платформы BRT, методов и моделей оценки качества функциональные BRT, моделей оперативного управления подвижным составом BRT.

3. Разработанная новая модель оценки качества услуг общественного транспорта, которая отличается от существующих тем, что позволяет всесторонне сравнивать совокупность независимых показателей, группировать и анализировать показатели без ограничения объема собранных данных, а также может работать с неполным набором данных.

4. Разработана математическая модель для оптимизации интервалов отправления BRT. Целевая функция модели представляет собой сумму общей стоимости пассажирских поездок и эксплуатационных расходов BRT, и модель реализует следующие стратегии управления:

- адаптивная стратегия управления отправлением, основанная на стоимости ожидания пассажира и заполненности транспортного средства BRT.
- адаптивная стратегия управления отправлением на основе стоимости и потерь

пассажиры из-за заторов и среднего тарифа на километр пути BRT.

- комплексные адаптивные решения о функционировании BRT на основе сочетания стоимости, затрат времени автобусной компании, среднего тарифа на километр пути BRT, а также стоимости и потерь пассажиров из-за заторов.

4. На основе оптимизации интеллектуальной системы планирования BRT и методов прогнозирования реальной ситуации работы BRT возможно снизить экономические затраты на 9,42%-31,08%.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Артемьев С.П. Перевозки грузов автомобильным транспортом. - М.: Транспорт, 2005. - 248 с
2. БАЙ Чжицзянь, ХЭ Гогуан, ЧЖАО Шучжи и др. Разработка и внедрение алгоритма поиска по табу для оптимизации отправки транспортных средств BRT. Компьютерная инженерия и применение, 2007, 43 (23) :229 - 232. (白志坚, 何国光, 赵树志, 等。优化快速公交车辆调度的塔布搜索算法的设计与实现. 计算机工程与应用, 2007, 43 (23) :229 - 232.)
3. Банда ТОНГ. Исследование применения генетического алгоритма при планировании шины. Компьютерная инженерия, 2005, 31 (13): 29 – 31. (唐刚遗传算法在公交调度中的应用研究. 计算机工程, 2005, 31 (13): 29 - 31.)
4. Бекмагамбетов М.М., Кочетков А.В. Анализ современных программных средств транспортного моделирования // ЖУРНАЛ АВТОМОБИЛЬНЫХ ИНЖЕНЕРОВ. С. 25-34
5. Боровской А.Е., Новиков И.А., Шевцова А.Г. ВНЕДРЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ В РАМКАХ НАЦИОНАЛЬНЫХ ПРОГРАММ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ. Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. 2013. № 61-62. С. 279-283.
6. Быкова Т.А., Серветник А.А., Рузанова В.Д., Хмелева Т.И. Организация перевозок на транспорте. - Саратов: Приволжское кн. изд-во, 2005. - 106 с.
7. Ван Сюэран, Лю Вэньфэн, Ли Бинь и др. Исследование по оптимизации интервала отправления чисто электрических автобусов быстрого сообщения с учетом уровня обслуживания. Проектирование транспортных систем и Информация, 2017, 17(1): 171-175, 198 (王学然, 刘文峰, 李斌, 等考虑服务水平纯电动快速公交发车间隔优化研究. 交通系统设计与信息, 2017, 17 (1): 171-175, 198)
8. Ван Ци. Коллекция базовых примеров и примеров применения MATLAB.



- Пекин: People's Posts and Telecommunications Press, 2007. (王琪, MATLAB 基础与应用实例集. 北京: 人民邮电出版社, 2007.)
9. Го Илин . Исследование пропускной способности системы скоростного автобусного сообщения. Университет Цинхуа, 2015. (郭一林 .快速公交系统运力研究. 清华大学, 2015.)
  10. Го Сяофэн . Исследование и планирование адаптации BRT на основе городских особенностей Китая. Юго-Восточный университет, 2015. (郭晓峰 .基于中国城市特点的快速公交适应性研究与规划. 东南大学, 2015.)
  11. Горев А.Э. Информационные технологии в управлении логистическими системами. - СПб.: СПбГУ АСУ, 2008. - 193 с.
  12. Горева А.Э., УПРАВЛЕНИЕ ОПОЛЗНЕОПАСНЫМИ ТЕРРИТОРИЯМИ НИЖНЕГО НОВГОРОДА. Культура управления территорией: экономические и социальные аспекты, кадастр и геоинформатика. Материалы 4-й региональной научно-практической конференции. 2016. С. 45-48.
  13. ДАЙ Лянгуэй, ЛЮ Чжэндун. Исследование многоцелевой собранной оптимальной модели интервала отправления при отправке автобусов. Журнал инженерии транспортных систем и информационных технологий, 2007, 7 (4): 43 - 46. (戴连贵, 刘正东. 公交调度多目标集合优化发车间隔模型研究. 交通运输系统工程与信息技术学报, 2007, 7 (4): 43 - 46.)
  14. Дай Чуньцзе, Ли Иньчжэнь, Ма Чанси и др. Оптимизация частоты отправления экспресс-перевозок несколькими транспортными средствами в зависимости от спроса, зависящего от времени . Журнал транспортной инженерии, 2017, 17 (1): 129-139 (戴春杰, 李银珍, 马长喜, 等 基于时间依赖需求的多车快运发车频率优化 . 交通运输工程学报, 2017, 17 (1): 129-139)
  15. Донченко В.В., ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ГОРОДСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ. Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2008. № 7. С. 38-46.

16. Дэн Юлонг. Основные методы серой системы. Ухан: Университет Технологического университета Хуажонга, 1988. (丹玉龙, 灰色系统的基本方法.武汉: 华中理工大学, 1988年.)
17. Евтюков С.А., Брылев И.С., Сватковский Н.В. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОРМОЗНОГО ПУТИ В РАСЧЕТАХ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЭКСПЕРТИЗЫ ДТП. Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2010. № 2 (21). С. 100-106.
18. Еремина С.В., ОСНОВЫ ФИНАНСОВЫХ РАСЧЕТОВ. учебное пособие, Сер. Образовательные инновации, Акад. народного хоз-ва при Правительстве РФ. Москва, 2010.
19. Жанказиев С. В. Интеллектуальные транспортные системы. М.: МАДИ. 2016. 13 с.
20. Жанказиев С.В. Разработка проектов интеллектуальных транспортных систем: учеб.пособие/ С.В.Жанказиев. – М.: МАДИ, 2016, 104с.
21. Жанказиев С.В., Власов В.М. Научные подходы к формированию государственной стратегии развития интеллектуальных транспортных систем / Автотранспортное предприятие– 2010. – №7. – С.2-8.
22. Жанказиев С.В., Власов В.М. О ПЕРСПЕКТИВАХ РЕШЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ПРОБЛЕМЫ СТОЛИЦЫ. Автотранспортное предприятие. 2007. № 12. С. 10-14.
23. Жанказиев С.В., Р.Ф.Халилев Становление жизненного цикла локального проекта интеллектуальной транспортной системы / Автотранспортное предприятие– 2012. –№ 11.– С.31-33.
24. Зырянов В.В. Проблемы и некоторые результаты создания устойчивой городской транспортной инфраструктуры на примере Ростова-на-Дону // Устойчивое развитие городского транспорта: вызовы и возможности: материалы Международного семинара. Москва: НТБ "Энергия", 2013. С. 64-71.
25. Зырянов В.В., Семчугова Е.Ю., Литвина А.А., Повышение эффективности

- управления городским пассажирским транспортом в Ростове-на-Дону, Вестник СГТУ. 2013 №. 2 (71). Выпуск 2.
26. Кан Хао, Хуан Вэй, Чжан Ян и др. Обзор и размышления о стадии развития китайской системы скоростных автобусных перевозок. *Planner*, 2013(11):5-10. (康昊, 黄伟, 张扬中国快速公交系统发展阶段的回顾与思考. *规划师*, 2013 (11): 5-10.)
  27. Клинковштейн Г.И., Афанасьев М.Б. ОРГАНИЗАЦИЯ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ. (5-е издание, переработанное и дополненное) Москва, 2001.
  28. Козлов Л. Н., Урличич Ю. М., Циклис Б. Е. О концептуальных подходах формирования и развития интеллектуальных транспортных систем в России // *Транспорт Российской Федерации*. 2009. № 3–4 (22). С. 22–23.
  29. Козлов Л. Н., Урличич Ю. М., Циклис Б. Е. О концептуальных подходах формирования и развития интеллектуальных транспортных систем в России // *Транспорт Российской Федерации*. 2009. № 3–4 (22). С. 22–23.
  30. Комаров В. В., Гараган С. А. Архитектура и стандартизация телематических и интеллектуальных транспортных систем. Зарубежный опыт и отечественная практика. М.: НТБ «Энергия». 2012.
  31. Коноплянко В.И., Луговенко В.В. ЭКОНОМИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ. *Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике*. 2009. № 6 (25). С. 26-29.
  32. Корчагин В.А., Клявин В.Э., Симаков А.В., Двуреченская А.В. О СИСТЕМНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ. *Вестник Липецкого государственного технического университета*. 2018. № 4 (38). С. 43-47.
  33. Ли Цзитао, Ян Цзюньфэн. Модель автобусной сети, основанная на ГИС, и ее применение в запросе автобусного маршрута. *Журнал Даляньского железнодорожного института*, 2004, 25(2): 30-33. (李继涛, 杨俊峰. 基于 GIS 的公交线网模型及其在公交线路查询中的应用. *大连铁道学院学报*, 2004, 25 (2): 30-33.)

34. Ли Юэпэн, Ань Тао, Хуан Цзиминь и др. Исследование интеллектуального планирования движения общественных автобусов на основе генетического алгоритма . Журнал транспортного машиностроения, 2003, 3 (4): 41 - 45. (李跃鹏, 安涛, 黄继民, 等 . 基于遗传算法的公交智能调度研究 . 交通工程学报, 2003, 3 (4): 41 - 45.)
35. Лу Симминг. Quick Bus System. Шанхай: издательство Университета Тонгдзи, 2005. (陆锡敏.快速公交系统.上海: 同济大学出版社, 2005 年。)
36. Лю Анье, Сюй Чжаою, Чэнь Чжуан. Модель оптимизации частоты отправления городских автобусов. Транспортная наука и техника Хэйлунцзяна, 2010 (7).( 刘安烨、徐兆宇、陈壮. 城市公交发车频率优化模型. 黑龙江交通科技, 2010 (7) )
37. Лю Конгна . Оптимизация обычной автобусной сети на основе маршрутов BRT . Журнал Технологического университета Чанша (естественнонаучное издание), 2016. (刘聪娜 . 基于快速公交线路的常规公交线网优化 . 长沙理工大学学报 (自然科学版), 2016.)
38. Лю Сяофэн. Интеллектуальная система управления расписанием облачных автобусов на основе больших данных. Компьютерные разработки и приложения, 2014, 27(9):38-39+43. (刘晓峰, 基于大数据的智能云公交调度管理系统. 计算机发展与应用, 2014, 27 (9): 38-39+43.)
39. Мавзовин В., Клеванский Н., Ореховская А., Загидуллин Р., Зырянов В. В. Математическая модель формирования расписания движения транспорта при регулярных пассажирских перевозках// Труды Международной конференции по транспорту и перевозкам. пассажирских перевозок// Труды SPIE - Международного общества оптической инженерии. - 2024. - Vol.13065.
40. Меренков А. О. Зарубежный опыт в области реализации интеллектуальных транспортных систем // Вестник университета (Государственный университет управления). 2015. № 7. С. 100–102.
41. Миротина Л.Б., Покровский А.К., Основы инженерной логистики на

транспорте. учеб. пособие МАДИ. – М., 2012. – 198 с.

42. Ниу Сюэцинъ, Чэнь Цянь, Ван Вэй. Оптимизационная модель расписания городских автобусных линий и частоты отправок. Журнал транспортной инженерии, 2003, 3(4). (牛雪琴、陈倩、王伟. 城市公交线路班次和发车频率的优化模型. 交通工程学报, 2003, 3 (4) .)
43. Новиков А.Н., Баранова С.В., Баранов Ю.Н. ПРИКЛАДНЫЕ СТАТИСТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ АНАЛИЗА ЦЕНОВОЙ СИТУАЦИИ НА РЫНКЕ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ. Мир транспорта и технологических машин. 2015. № 4 (51). С. 132-140.
44. Пекинская компания общественного транспорта, Северный университет Цзяотун. Городской общественный транспорт Диспетчерское управление лагерем . Пекин: China Railway Press, 2001. (北京公共交通总公司、北方交通大学. 城市公共交通调度营地管理 . 北京: 中国铁道出版社, 2001 年。)
45. Рао Чуанькунь, Хань Вэйминь . Обсуждение оценки эксплуатационного эффекта и контрмер системы городского скоростного транспорта - на примере Ханчжоу. Архитектура Центрального Китая, 2012(2):64-67. (饶传坤, 韩卫民 . 城市快速轨道交通系统运营效果评价及对策探讨--以杭州为例. 华中建筑, 2012 (2): 64-67.)
46. Рассоха В.И., Бондаренко Е.В., СИТУАЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГОРОДСКИМ ПАССАЖИРСКИМ ТРАНСПОРТОМ. Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2010. № 2 (21). С. 86-91.
47. Сарбаев В.И., Суматохин Д.Г. НОРМИРОВАНИЕ МАРШРУТНОГО РАСХОДА ТОПЛИВА ГОРОДСКИХ АВТОБУСОВ. Автотранспортное предприятие. 2010. № 10. С. 39-42.
48. Солодкий А. И. Развитие ИТС в России – проблемы и пути их решения // Техника и технология транспорта. 2016. № 1. С. 15–20. 3. Ezell S. Intelligent Transportation Systems. D.C.: ITIF. 2010. 21 p.

49. Спири́н И.В.: Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками. - М.: Академия, 2010. -400 с.
50. Сюй Канминг, Кай Цзяньхен, солнце Быстрое планирование и проектирование системы шины. Пекин: Китайская строительная промышленность, 2010. (徐灿明, 蔡建恒, 孙旭, 母线系统快速规划与设计。北京: 中国建筑工业出版社, 2010年。)
51. Сяо Нин, Цзэн Цзяньчао. Алгоритм программирования с ограничением случайных шансов, основанный на комбинации случайного моделирования и алгоритма PSO. Компьютерные приложения и программное обеспечение, 2009, 26 (4) (肖宁, 曾建超. 基于随机建模与 PSO 算法相结合的随机机会约束程序算法. 计算机应用与软件, 2009, 26 (4))
52. Тан Хаоцянь. Разработка программ на C++. Пекин: Издательство Университета Цинхуа, 2004. (谭浩强, C++ 程序开发。北京: 清华大学出版社, 2004年。)
53. Трофименко Ю.В., Комков В.И. АКТУАЛИЗИРОВАННЫЙ ПРОГНОЗ ЧИСЛЕННОСТИ, СТРУКТУРЫ АВТОМОБИЛЬНОГО ПАРКА РОССИИ ПО ТИПУ ЭНЕРГОУСТАНОВОК И ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ДО 2050 ГОДА. Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2023. Т. 20. № 3 (91). С. 350-361.
54. Трофимова, Л.С. Методика текущего планирования работы автотранспортного предприятия при перевозке грузов в городе .Научный рецензируемый журнал «Вестник СибАДИ». – 2020. – 17(2). – С. 234-247.
55. ФАНЬ Цюйшэн, ПАНЬ Вэнь. Исследование применения генетического алгоритма в интеллектуальных транспортных системах планирования движения транспортного средства. Компьютерная и цифровая инженерия, 2007, 35 (5): 34 – 35.9 (方秋生, 潘文 . 遗传算法在智能交通系统车辆交通规划中的应用研究. 计算机与数字工程, 2007, 35 (5): 34 - 35.)
56. Фу Чанцзянь, Ян Цайся, Цинь Минь. Что касается оптимизации расписания автобусов . Журнал инженерной математики (альбом моделирования), 2002,

- 19:89-94. (傅昌建, 杨彩霞, 秦敏. 公共汽车时刻表优化. 工程数学学报 (建模专辑), 2002, 19: 89-94.)
57. Хэ Баоцюань, У Сихао, Лу Вэньхуэй и др. Модель оптимизации автобусного расписания. Журнал Университета Цзинань: Издание по естественным наукам и медицине, 2003, 24(5). (何宝泉, 吴锡豪, 卢文辉, 等. 公交班次优化模型. 暨南大学学报: 自然科学与医学版, 2003, 24 (5) .)
58. Цао Ивэнь, Чжу Юнфэн, Чэнь Фэн. Модель оптимизации частоты отправления городских автобусов. Журнал Университета Аньхой: Издание по естественным наукам, 2007, 32(2). (曹义文, 朱永峰, 陈峰. 城市公交发车频率优化模型. 安徽大学学报: 自然科学版, 2007, 32 (2) .)
59. Цзоу Ин. Исследование метода подготовки диспетчерской зоны автобуса и плана движения. Проектирование транспортных систем и информация, 2007, 7 (3): 78 - 82. (邹迎, 公交调度区与交通规划编制方法研究. 交通系统设计与信息, 2007, 7 (3): 78 - 82.)
60. Цинь Лихуэй, Ван Сяодун. Изучение расписания отправления автобусов с учетом потребностей пассажиров. Журнал Чанчуньского инженерного института: Издание по естественным наукам, 2006, 7(4). (秦立辉, 王晓东. 考虑乘客需求的公交车发车时间表研究. 长春工程学院学报: 自然科学版, 2006, 7 (4) .)
61. Цянь Сонгди, Гань Ингай, Тянь Фэн и др. Исследование операций. 3-е издание. Пекин: Издательство Университета Цинхуа, 2005. (钱松棣, 甘英海, 田丰, 等. 运筹学第3版. 北京: 清华大学出版社, 2005年.)
62. Чжан Бяо Фэн. Анализ практики развития и опыта эксплуатации системы BRT в Сямэне. Городской общественный транспорт, 2018(12):18-21. (张标峰. 厦门市快速公交系统发展实践与运营经验分析. 城市公共交通, 2018(12):18-21.)
63. Чжан Жунцзе, Ли Тьежу. Частота отправления городских автобусов зависит от эффективности перевозок. Транспортные технологии и экономика, 2008, 10(5).

- (张荣杰, 李铁柱. 城市公交发车频率取决于运输效率, 《交通科技与经济》, 2008, 10 (5).)
64. Чжан Хунцзюнь, Гуан Сяопин. Двухуровневое планирование задач автобусного расписания в случайных средах Модели и алгоритмы. Журнал Пекинского технологического института, 2014, 34(1). (张红军, 广小平. 随机环境下公交调度问题的两级调度模型与算法. 北京理工大学学报, 2014, 34 (1) .)
65. Чжао Шужи, Ван Донг, Лю Хуашэн и др. Многомодельная конфигурация обычных автобусных линий Оптимизационная модель. Журнал Пекинского технологического университета, 2017 (10): 1529-1534. (赵树志, 王栋, 刘华生等.)
66. Чжу Цзиньшоу, Ян Юнган. Применение генетического алгоритма в оптимизации расписания автобусов . Транспорт и компьютеры, 2002, 7 (3): 62 – 64. (朱金寿, 杨永刚. 遗传算法在公交班次优化中的应用 . 交通与计算机, 2002, 7 (3): 62 - 64.)
67. Чэнь Цян. Модель оптимизации автобусного расписания Tian. Сычуаньский педагогический университет Журнал, 2002(2)-30 А 55. (陈强 . 公交班次优化模型. 四川教育学院学报, 2002 (2) -30 А 55.)
68. Чэнь Цянь, Ниу Сюэцин, Чэнь Сюэцай и др. Модель оптимизации частоты отправления автобусной линии. Технология дорожного движения, 2004, 21 (2). (陈谦, 牛学勤, 陈学泰等. 公交线路发车频率优化模型. 交通技术, 2004, 21 (2) .)
69. Чэнь, Х. Ф. . Технико-экономическое обоснование восстановления ВРТ в Куньмине с многомерной точки зрения . Чунцинский университет Цзяотун, 2017. (陈新福. 多维视角下昆明快速公交改造可行性研究 . 重庆交通大学, 2017.)
70. Шевцова А.Г., Боровской А.Е., Новиков И.А. ВРЕМЯ АДАПТАЦИОННОГО ПЕРИОДА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ. Сборник научных трудов SWorld. 2013. Т. 1. № 3. С. 41-46.



71. Шэнь Иньдун, Цзэн Сиси. Сложность и решение проблемы диспетчеризации водителей общественного транспорта. Информатика, 2009, 8 (9): 226 - 229. (沈应东, 曾茜茜. 公交司机调度问题的复杂性与求解. 信息学, 2009, 8 (9): 226 - 229.)
72. Якимов М.Р., ОЦЕНКА ТРАНСПОРТНОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ НА ОСНОВЕ ПРОГНОЗНЫХ МОДЕЛЕЙ. Мир транспорта. 2017. Т. 15. № 6 (73). С. 6-19.
73. Ян Сяогуан, Ань Цзянь. Обсуждение системы показателей оценки качества обслуживания при эксплуатации автобусов. Проектирование транспортных систем и информация, 2010, 10(4). (杨晓光, 安健. 公交运营服务质量评价指标体系探讨. 交通系统设计与信息, 2010, 10 (4) .)
74. Ян Чжаошэн. Теория и методы городской интеллектуальной системы общественного транспорта. Пекин: Издательство Китайских железных дорог. 2016. (杨兆生, 城市智能公共交通系统的理论与方法.北京: 中国铁道出版社。2016.)
75. Чжао Шучжи; Ван Дун; Лю Хуашэн; Сунь Цзянь. Мультимодальная модель оптимизации конфигурации обычных автобусных маршрутов. Журнал Пекинского технологического университета 2017 (10): 1529-1534.(赵淑芝; 王东;刘华胜;孙健;常规公交线路多模式配置优化模型. 北京工业大学学报, 2017 (10): 1529-1534.)
76. Avishai Ceder. Bus Frequency Determination Using Passenger Count Data. Transportation Research Part A, 1984, 18 (6) :439 – 453.
77. Avishai Ceder. Urban transit scheduling: framework, review and examples. Journal of Urban Planning and Development, 2002 ,128 (4): 225 - 243.
78. В.Карп, Н.Т.Кунг, GPSR: greedy perimeter stateless routing for wireless networks, in: Proceedings of the 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'00).
79. BRT Bus Rapid Transit—Why more communities are choosing Bus Rapid Transit. 2001. Washington, DC: Transportation Research Board, National Research Council.

80. Ceder A., Golany B., Tal0. Creating bus time tables with maximal synchronization. *Transportation Research PartA: Policy and Practice*, 2001, 35(10):913-928.
81. Chen Xi, Chen Xuewu. Research on indicator system of comprehensive evaluation of urban traditional public transport development level. *Urban Transport*, 2003, 6(3): 14-18.
82. Deng Julong. *Basic methods of grey systems*, Wuhan, Huazhong Institute of Technology Publishing House. 1987.
83. Deng Julong. Decision making in grey situations, *Fuzzy Mathematics*. 1985. 5 (2): 43 ~50.
84. Deng Julong. *Fundamentals of grey theory*. Wuhan: Huazhong University of Technology Publishing House, 2002.
85. Deng, Taotao, and John D. Nelson. "Recent Developments in Bus Rapid Transit: A Review of the Literature." *Transport Reviews* 31:1 (2010): 69-96.
86. Diaz, Roderick B. and Dennis Hinebaugh. *Characteristics of Bus Rapid Transit for Decision-Making*. Tampa: National Bus Rapid Transit Institute (2009).
87. Dou Huijuan, Ma Chao, Zhao Huili. Transportation mode preference based on grey correlation analysis. *Industrial economics and management*.2005, 4:103-105.
88. Embarq. *Modernizing public transportation*. World Resources Institute, Washington, 2010.
89. GB/T 20607-2006 *Intelligent transport systems - Architecture - Services*
90. GB/T 31455.1-2015. *Intelligent system of bus rapid transit. Part 1: General technical requirements*
91. Han Jianjun, Yang Baoxia. Grey correlation analysis of highway roadbed stability factors. *Science and Technology Information*, 2005,27:32-33.
92. Han Zhenlin . On the Thinking of Intelligent Transportation Development in Tourist Cities--Taking Guilin City as an Example. *National Business-Theoretical Research* ,2015(32).
93. HE Guo-guang. Second Discussion About Some Theoretical Problems of ITS. *Journal of Transportation Systems Engineering and*, 2004, 4(2): 17-24.
94. Hon Wai Chun, Steve Ho Chuen Chan. *The Design of a Multitiered Bus Timetabling*

- System. Multiple Approaches to Intelligent Systems, 2004, 15 (13): 771 - 779.
95. Hongjun Zhang, Guang Xiaoping. Two-level scheduling of bus scheduling problems in random environments Models and algorithms. Journal of Beijing Institute of Technology, 2014, 34(1).
  96. Huang GQ, Su L. Performance evaluation analysis based on improved grey complex correlation method. Command Control and Simulation, 2015, 37(3).
  97. Hung-Ching Liu, Ming Feng Yeh. Jump point judgement for arbitrary sequence. The Journal of Grey System, 1997, 9(2): 95-109.
  98. Infrastructure Ministry of Land and Transport. ITS introduction guide—shift from legacy systems to smartway. Chapter 2. Smartway. 2007. pp. 25–28.
  99. ITDP. 2007. Bus Rapid Transit Planning Guide. New York: Institute for Transportation & Development Policy.
  100. Ji Mingjun, Chen Xin, Li Wei. Research on Communication Management System of Vehicle Team Based on V2X. Automobile and Driving Maintenance (Maintenance Edition), 2018(11): 103-104.
  101. Jingpeng Li, Raymond S. K. Kwan. A Fuzzy Genetic Algorithm for Driver Scheduling. European Journal of Operational Research, 2003, 14 (5): 334 - 344.
  102. Lai Shengfu. Humanized Grouping and Layout Design of BRT Platform Parking Berths-Taking Yichang BRT as an Example. Transportation Engineering, 2018(4).
  103. Li Xuan. Analysis of the importance of highway information technology intelligent construction. Network Security Technology and Application, 2014(4): 193-194.
  104. Li Yanfeng. Research on Problems and Countermeasures in the Construction of Intelligent Traffic Safety System for Highways in Shandong Province. Jinan: Shandong University, 2018.
  105. Lindau, L., D. Hidalgo, and D. Facchini. 2010. Curitiba, the cradle of Bus Rapid Transit. Built Environment 36(3): 274–282.
  106. LIU S-Feng, DANG Yaoguo, FANG Zhigeng. Grey system theory and its applications. Beijing: Science Press, 2004.
  107. Liu, Sifeng; Yang, Yingjie; Xie, Naiming; Forrest, Jeffrey (2016). "New progress of Grey System Theory in the new millennium". Grey Systems: Theory and Applications.

6 (1): 2-31.

108. LUO DAMING, JI XIAOJING. Пекин Нанчжонгксианский автомобильный автобус (BRT) Smart Bus System System Общая сумма дизайна. Инженерная и информация о транспортной системе, 2005, 5 (2): 972103.
109. M.Mauve, J.Widmer, H.Hartenstein, A survey on position-based routing in mobile ad hoc networks, Network, IEEE15 (6) (2001)30–39, doi:10.1109/65.967595.
110. McNally, R.A., Homayoun Vahidi, Susan Spencer, and Keenan Kitasaka, 98 B-Line Bus Rapid Transit Evaluation Study, IBI and Translink, September 29, 2003.
111. Mike McDonald. Intelligent Transport Systems in Europe: Opportunities for Future Research. 2006. 308 p.
112. Mukhopadhyay, C. (2017). Public Transport and Bus Rapid Transit as a Tool of Decarbonisation in Malaysia. Massachusetts Institute of Technology.
113. Ministry of Transport and 9 other departments, Opinions on Promoting the Healthy and Sustainable Development of Urban Public Transport, 2023
114. N.Benamar, K.D.Singh, M.Benamar, D.E.Ouadghiri, J.-M.Bonnin, Routing protocols in vehicular delay tolerant networks: a comprehensive survey, Comput. Commun. 48(0) (2014)141–158, doi:10.1016/j.comcom.2014.03.024.
115. PENG Li-qun, HE Shu-xian, HE Yi, AI Yun-fei. Vehicle-pedestrian Collision Risk Assessment Based on Connected Vehicle V2P Communication. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2018, 18(1): 89-95.
116. Prabhat Shrivastava, Dhingra S L. Development of coordinated schedules using genetic algorithms. Journal of Transportation Engineering, 2002 ,128 (1): 89 - 96.
117. Quan Yongshen, Wang Ting, Yu Liu , et al. Reflections and identification of several problems of urban transportation . Urban Transportation ,2018(02).
118. Shan Jixuan, Liang Dongmei, Fan Wenwen. Analysis of the development of road freight intelligence in China's intelligent transport construction. Logistics Engineering and Management, 2017,39(3):14-17.
119. SUN Mingzheng, LIU Xuejie, MA Haihong. Analysing the effect of implementing

- line 2 of bus rapid transit in Beijing. *Urban Transport*, 2009, 7(3):22-26.
120. Wang Yushun. Analysis of residents' usage satisfaction along Guangzhou BRT system. *Urban Architecture*, 2018, 292(23):102-103.
  121. Wang Zhao. The Automotive, ITS, Communications and Traffic Management Standards Committee signed a framework agreement on C-V2X standard cooperation in Xiong'an New District. *China Auto*, 2018(12):2+65.
  122. Wang, Qing-Yin. Grey B-type correlation analysis. *Journal of Huazhong University of Science and Technology* 1987,17(6),77-82
  123. Wu JQ, Song R, Lin Z. Research on the Effectiveness and Key Factors of Bus Rapid Transit Implementation in Beijing. *Comprehensive Transportation*, 2014(3):54-59.
  124. Xiaomei Liu, Lin Ke, Junjie Yu, An improved grey absolute correlation model. *Practice and Understanding of Mathematics*, 2018, 48(10).
  125. Xu Yan. Some Thoughts on Intelligent Transportation Marketing. *Heilongjiang Science* ,2016(18).
  126. Xuequan Li, Further study of grey correlation model. *Systems Engineering*, 1995,13(6):58-61.
  127. YANG Xiao-guang. The Study of Advanced Traffic Control and Management System on the Base of Cities in China. *Journal of Transportation Systems Engineering and*, 2004, 4(4): 49-53.
  128. YANG Zhao-sheng, YUEH ao, GAO Ying. Study and Design of Common Information. *Journal of Transportation Systems Engineering and*, 2004, 4(2): 75-78.
  129. YIN Chuang, LI Taifang, HE Gang, et al. Discussion on the intelligent construction programme of traffic informatisation for the Jingshi section of Beijing-Hong Kong-Macao Expressway. *China Traffic Informatisation* 2015(5): 104 – 106.
  130. Z.Taysi, A.Yavuz, Routing protocols for geonet: a survey, *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.* 13(2) (2012)939–954,
  131. ZHANG Ke, QI Tong-yan, LIU Dong-mei et al. The Latest Achievements of Chinese National ITS Architecture. *Journal of Transportation Systems Engineering and*, 2005, 5(5): 6-11.