

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

ИВАНОВ ИГОРЬ АЛЕКСЕЕВИЧ

**МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ АВТОБУСНЫХ МАРШРУТОВ В
ЦИФРОВЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ**

Специальность: 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, доцент
Терентьев Алексей Вячеславович

Санкт-Петербург – 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПАССАЖИРСКИХ АВТОБУСНЫХ ПЕРЕВОЗОК В РФ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ЭКОСИСТЕМ	15
1.1 Ретроспективный и ситуационный анализ состояния пассажирских автобусных перевозок в РФ	15
1.2 Анализ современного состояния в РФ и передового зарубежного опыта систем мониторинга и централизованного управления наземным пассажирским транспортом	24
1.3 Анализ качественных и количественных показателей маршрутной инфраструктуры автобусных перевозок	27
1.3.1 Анализ современных методических подходов к определению качества автобусных перевозок	27
1.3.2 Анализ методов формирования инфраструктуры автобусных маршрутов .	32
1.4 Анализ традиционных и перспективных методов управления транспортной мобильностью населения.....	36
Выводы по первой главе	46
2 РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ ФОРМИРОВАНИЯ АВТОБУСНЫХ МАРШРУТОВ В ЦИФРОВЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ	48
2.1 Обоснование выбора методов и моделей управления в цифровых транспортных экосистемах.....	48
2.2 Технологические инструменты цифровой трансформации в пассажирских транспортных системах	54
2.3 Разработка аналитической модели построения автобусных маршрутов в сложной транспортной экосистеме	68
Выводы по второй главе	75

3 МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ РАСПИСАНИЯ АВТОБУСНЫХ МАРШРУТОВ, ОСНОВАННАЯ НА ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЯХ УПРАВЛЕНИЯ	77
3.1 Исходные данные и нормативно-правовая база методики построения автобусных маршрутов в ЦТЭС	77
3.2 Разработка алгоритмов построения графика движения на автобусных маршрутах в ЦТЭС.....	83
3.3 Описание методики формирования расписания автобусных маршрутов в цифровых транспортных экосистемах	95
Выводы по третьей главе.....	103
4 АПРОБАЦИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ ФОРМИРОВАНИЯ МАРШРУТОВ В ЦИФРОВЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ	105
4.1 Цифровые сервисы – инструменты формирования сервисно-ориентированной архитектуры в цифровых транспортных экосистемах	105
4.2 Апробация методики формирования автобусных маршрутов в комплексе с информационной платежной системой.....	120
4.3 Экономическое обоснование эффективности внедрения методики формирования автобусных маршрутов в цифровых транспортных экосистемах	128
Выводы по четвёртой главе.....	132
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	133
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	135
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	137
ПРИЛОЖЕНИЯ	149
<i>Приложение А.</i> Показатели, характеризующие парк эксплуатационных автобусов в РФ. Объем перевозки пассажиров и пассажирооборот автобусов общего пользования по видам сообщения в РФ	150
<i>Приложение Б.</i> Пассажирооборот автомобильного транспорта в РФ	151
<i>Приложение В.</i> Классификатор поколений развития пассажирских транспортных систем	152

Приложение Г. Расчета графика и расписания движения автобусов с использованием алгоритма «Интервал»	154
Приложение Д. Программа и методика испытаний информационно-платежной системы для наземного пассажирского транспорта	157
Приложение Е. Протокол испытаний прототипа Информационно-Платежной системы для городского пассажирского транспорта по договору №12-08 от 01 августа 2019 года	160

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы. Основной негативной тенденцией, характеризующей общее состояние автомобильных и автобусных и в первую очередь пассажирских перевозок в РФ, как неэффективное является постоянное снижение количества перевозимых пассажиров и выполненных пассажир-километров. В силу этого, проблема качественного и своевременного удовлетворения спроса на автобусные перевозки преобразуется из локальной транспортной в общую социальную проблему, определяющую отношение основной массы населения в РФ не только к качеству оказываемых транспортных услуг, но и в целом к ситуации, складывающейся в обществе. Особенно неприглядна картина действительности автобусных перевозок в РФ выглядит в сравнении с другими странами мира, включая не только технически развитые страны Европы, но и бывшие республики СССР. Ни в одной стране не было зафиксировано снижение объемов перевозок общественного автомобильного транспорта за исследуемый период.

Необходимость коренного изменения и мероприятий по преодолению негативных тенденций в сфере обеспечения населения РФ и удовлетворения спроса на автобусные перевозки отражены в ряде принятых Правительством РФ и региональными Правительствами нормативных документов. Основной из них – «Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года». В документе отражены системные проблемы работы наземного пассажирского транспорта, одной из которых является не соответствие качественных и количественных показателей услуг, предоставляемых наземным городским пассажирским транспортом (НГПТ), актуальным требованиям обеспечения транспортной подвижности населения (ТПН).

Анализ традиционных и перспективных методов управления ТПН показывает, что начавшаяся в 90-е годы научно техническая революция, связанная с внедрением инфокоммуникационных технологий в транспортной отрасли, к

настоящему времени привела к коренному изменению технологии управления транспортными системами, а автоматизированные и/или интеллектуальные системы управления транспортными системами и средствами стали использоваться практически в каждом регионе и крупном городе. Во всем мире сложилась тенденция к внедрению инновационных технологий в сфере систем мониторинга и централизованного управления НГПТ: аппаратно-программное обеспечение, связь, позиционирование и т.д. Развитие технологий управления пассажирским транспортом во всех развитых и густонаселенных странах движется в сторону широкого использования современных инфокоммуникационных телематических технологий, интеллектуальных алгоритмов и устройств, установленных на транспортных средствах и дорогах. Наметилась явная тенденция ко все большему увеличению оцениваемых в процессе мониторинга параметров состояния объектов пассажирской транспортной системы, увеличению объемов перерабатываемой информации в периферийных устройствах, устанавливаемых на транспортном средстве или дороге, автоматическому распределению полученной информации между диспетчером, водителем, пассажирами, автоматическим системам управления движением и другим участникам процесса управления. Практически, сформировалась новая отрасль – интеллектуальные системы управления пассажирским транспортом, интегрированные в общую систему управления движением всех видов транспортных средств.

Между тем, в РФ существующая система получения исходных данных для формирования маршрутной сети НГПТ опирается на фактическое отсутствие достоверных данных о ТПН, а методология определения среднего расстояния транспортной корреспонденции базируется на приближенных методах расчёта, что в совокупности свидетельствует о невозможности получения достоверных данных, позволяющих установить стохастических законы распределения мощности пассажиропотоков. Естественно, что перечисленные выше характерные проблемы НГПТ свидетельствуют об огромном количестве факторов различных по «природе» и динамически изменяющихся по времени, что позволяют отнести систему НГПТ её к сложным системам.

Тогда методы формирования маршрутной сети НГПТ должны основываться на моделях принятия решения в информационных ситуациях, характеризующихся как ситуации с неопределенным состоянием среды исследования. В этом случае для выявления объективных данных о мощности пассажиропотоков необходимо использовать современные цифровые ресурсы, позволяющие производить «онлайн» мониторинг ТПН, а единственным возможным путем эффективного развития НГПТ в РФ является формирование новой отрасли – интеллектуальные системы управления НГПТ, интегрированные в цифровые транспортные экосистемы (ЦТЭС). Поэтому разработка инструментов решения задач управления в ЦТЭС: новых методов, математических моделей, алгоритмов, практических методик на их основе, является важной народнохозяйственной задачей, а её решение невозможно без проведения специальных научных исследований.

Степень разработанности темы исследования. Решению задач совершенствования организации и управления автобусными перевозками были посвящены труды ведущих отечественными учеными: Л.Л. Афанасьева, Н.Б. Островского, Б.Л. Геронимуса, В.А. Гудкова, Л.Б. Миротина, В.А. Корчагина, И.В. Спирина, А.И. Солодкого и др. Исследованию различных аспектов повышения качества обслуживания пассажиров автобусами были посвящены работы многих ученых и специалистов: С.П. Артемьева, М.Д. Блатнова, Е.А. Барковой, Е.П. Володина, В.М. Васильева, Г.А. Варелопуло, М.С. Турпищевой, Е.Р. Нургалиева и мн. др. Во многом, благодаря исследованиям перечисленных авторов в 70-90 годах прошлого века была сформирована эффективная на текущем этапе развития НГПТ структура показателей и основы построения систем пассажирских автобусных перевозок.

Действующая в настоящее время система управления автобусными перевозками и построения расписаний движения основаны на реляционном принципе реализующим предметно-ориентированный подход (ПОП), когда средствами взаимодействия являются таблицы или хранимые процедуры. На данном принципе базируются модели формирования маршрутной сети движения автобусов [1], когда управление осуществляется через определение свойств

системы по накопленным статистическим данным, носящим стохастический характер. Основными недостатками ПОП модели являются:

- система, как совокупность таблиц очень нередко является сложной для анализа и понимания процессов [1].
- рост сложности системы, приводит к невозможности полноценно или достоверно отслеживать все необходимые места и процедуры для реализации изменений, а сам процесс развития системы преобразуется в плохо управляемый или неуправляемый [1].

Цель исследования – разработка методики формирования автобусных маршрутов, позволяющий создавать в автоматическом режиме расписание движения автобусов и основанной на цифровых моделях и технологиях, применимых в сложных пассажирских транспортных экосистемах.

Задачи исследования:

1. Выполнить анализ соответствия состояния системы построения автобусных маршрутов социотехническим условиям их эксплуатации.
2. Разработать концептуальную архитектуру системы контроля и управления движения автобусов в ЦТЭС.
3. Разработать аналитические модели формирования автобусных маршрутов, позволяющих учитывать неограниченное количество критериев эффективности и качества транспортных услуг.
4. Определить необходимый набор цифровых сервисов (ЦС), обеспечивающих универсальный комплексный мониторинг основных параметров технологических параметров ЦТЭС и информационно-платежных систем (ИПС).
5. Разработать алгоритмы автоматизированного построения расписания автобусов, позволяющие синхронизировать мультимодальные поездки пассажиров в сложных пассажирских системах.
6. Разработать структуру сервисно-ориентированной организации пассажирской транспортной системы с элементами цифровых сервисов.

7. Выполнить апробацию и экономическое обоснование методики формирования автобусных маршрутов в комплексе с ИПС основанной цифровых сервисах.

Объект исследования – система формальных моделей, отражающая комплекс цифровой трансформации технологических и управленческих процессов перевозки пассажиров.

Предмет исследования – методы построения оптимальных траекторий и маршрутов движения автобусов в пассажирских цифровых транспортных экосистемах.

Рабочая гипотеза. Альтернативой существующему подходу к построению расписаний движения автобусов является объектно-ориентированный подход (ООП). При ООП программа должна представляет собой не только описание свойств системы в виде критериев и целеполагания, но и методов взаимодействия в виде операций по оптимизации маршрутной сети НГПТ. При этом инструменты оптимизации должны позволять строить производные структуры расписания движения автобусов на основе базовых, тем самым создавая новую модель с необходимыми свойствами, обеспечивая возможность постоянного анализа и внесения актуальных изменений. В качестве аналитической моделей ООП, позволяющих обоснованно формировать ЦТЭС, необходимо применять модели динамических систем и методы многокритериальной оптимизации. Применение методов динамического программирования как метода оптимизации управлений в ЦТЭС позволяет реализовать одновременный учёт значений значительного количества показателей в решаемой задаче в зависимости от условий состояния среды ЦТЭС.

Методологическая основа исследования. Для решения задач исследования применяются методы системного анализа, регрессионного и корреляционного анализа, теория моделирования сложных систем, теория вероятностей и исследования операций, методы динамического и линейного программирования.

Область исследования соответствует следующим пунктам паспорта научной специальности 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта:

- П1. Место и роль автомобильного транспорта в транспортной системе страны, взаимодействие с природой, обществом, прогнозы и пути развития автотранспортного комплекса страны

- П2. Оптимизация планирования, организации и управления перевозками пассажиров и грузов, технического обслуживания, ремонта и сервиса автомобилей, использования программно-целевых и логистических принципов.

- П15. Развитие новых информационных технологий при перевозках.

Научная новизна исследования заключается в достижении следующих результатов:

1. Определены методы формирования маршрутной сети, основанные на моделях принятия решения в информационных ситуациях, характеризующихся как ситуации с неопределенным состоянием среды исследования и обоснована необходимость использования современных цифровых ресурсов для их реализации.
2. Разработаны инструменты управления и оптимизации в ЦТЭС НГПТ с учётом потенциальных возможностей цифровых технологий на основе методов динамического программирования и теории принятия в условиях многокритериальности информационной среды.
3. Разработана аналитическая модель построения автобусных маршрутов в сложной транспортной экосистеме, являющаяся основным элементом в концепции развития ЦТЭС на основе объектно-ориентированного подхода.
4. Разработана комплексная методика формирования маршрутов в ЦТЭС, позволяющая создавать расписание движения автобусов с использованием новых цифровых технологий приема и обработки входящей информации (данные пассажиропотока и т.д.) в систему планирования движения автобусов.

Теоретическая значимость работы заключается в том, что разработана новая аналитическая модель, позволяющая вырабатывать оптимальные параметры перемещения исследуемых объектов в ЦТЭС при ограничениях, определяемых динамическими изменениями социотехнической среды эксплуатации автобусов.

Практическая значимость диссертационного исследования заключается в следующем:

- 1) Установлен необходимый набор ЦС обеспечивающих управление и универсальный комплексный мониторинг основных параметров ЦТЭС и отдельных технологических модулей: информационно-платежные функции, планирование маршрутов и расписаний, диспетчерское управление движением, формирование и синхронизацию мультимодальных поездок, которые осуществляются по принципу МaaS-технологий, анализ объемов транспортной работы АТП и другие необходимые функции.
- 2) Разработаны алгоритмы формирования маршрутов с параметрами оптимизации: интервал движения автобусов, количество автобусов на маршруте, выработка автобусов на маршруте.
- 3) Разработано подробное описание применения разработанной методики с полным перечнем измерителей, необходимых для планирования, учёта и анализа работы транспортных средств (ТС) и персонала (водителей).
- 4) Разработано специализированное ПО, принципиальной новизной которого является получение оптимальных решений, учитывающих неограниченное количество актуальных критериев при формировании расписания движения автобусов.

Практические результаты исследования могут быть использованы и используются в настоящее время при разработке региональных и муниципальных систем обеспечения транспортной мобильности населения в РФ и других стран.

Положения, выносимые на защиту:

1. Концептуальная архитектура системы контроля и управления движения автобусов в ЦТЭС.
2. Инструменты управления и оптимизации в ЦТЭС НГПТ с учётом потенциальных возможностей цифровых технологий на основе методов динамического программирования теории принятия в условиях многокритериальности информационной среды.

3. Алгоритмы формирования маршрутов с параметрами оптимизации: интервал движения автобусов, количество автобусов на маршруте, выработка автобусов на маршруте.
4. Описание разработанной методики с полным перечнем измерителей, необходимых для планирования, учёта и анализа работы транспортных средств (ТС) и персонала (водителей).
5. Результаты экономического обоснования методики формирования автобусных маршрутов в комплексе с ИПС основанной цифровых сервисах.

Личный вклад автора. Все основные идеи и разработки исследования, сформировавшие основу научно-методического подхода данного исследования, принадлежат автору или выпалены непосредственно с его участием.

Степень достоверности полученных результатов исследования подтверждается:

- 1) использованием методов системного анализа, теории моделирования, теорий вероятностей и теории принятия решений, методов динамического программирования и векторной оптимизации;
- 2) отсутствием противоречий с ранее проводимыми исследованиями другими учеными по тематике организации и управления автобусных перевозок и принятию решений в сложных организационно-технических системах
- 3) публикациями в рецензируемых изданиях ВАК РФ и в изданиях входящих в международные базы цитирования Scopus и WoS.

Апробация результатов. Основные положения и результаты исследования докладывались на конференциях и форумах:

- Региональная информатика (РИ-2016). Юбилейная XV Санкт-Петербургская международная конференция «Региональная информатика (РИ-2016)». Санкт-Петербург, 26-28 октября 2016 г.: Секция 10, Вычислительная техника. Информационные системы и технологии. С.Л. Горелик, И.А. Иванов, В.В. Лещинский, А.А. Малахов. Доклад: «Третье поколение территориальных пассажирских транспортных систем».

- 14 февраля 2018 г. WECON. Инновационные платежные решения для транспорта 2018. Москва. Конгресс-центр Технополис, Доклад: «Интеллектуальные транспортные системы поколения 3.0 для общественного транспорта»
- 18 Апреля 2018 г. Петербургский цифровой форум 2018. Санкт-Петербург. Доклад: «Универсальная система оплаты услуг пассажирского транспорта общего пользования на территории Российской Федерации»
- 16 мая 2018 г. Конференция «Электротранс». Москва. Сокольники. Доклад: «Перспективы и практические шаги для внедрения технологии MaaS на территории Российской Федерации»
- 7 июня 2018 г. Форум «Цифровая индустрия промышленной России» (ЦИПР), Иннополис, Татарстан. Доклад: «Цифровая трансформация общественного транспорта в России».
- Организация и безопасность движения дорожного движения в крупных городах: XIV международная научно-практическая конференция, 2020 г. СПбГАСУ.

Реализация результатов работы. Основные результаты диссертационного исследования:

- использованы при выполнении НИР на тему: Концепция реализации универсальной системы оплаты проезда на территориальном пассажирском транспорте Российской Федерации. Договор № 72-2016-ПРООН от 12 декабря 2016 года между Министерством транспорта Российской Федерации и автономной некоммерческой организацией «Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации»;
- подтверждены актами о внедрении организациями:
 - Аналитический Центр при правительстве РФ, г. Москва;
 - ГУП «Пассажиравтотранс», г. Санкт-Петербург;
 - ООО «Хит Кард», ООО «Городская Мобильность», ООО «Дата Пакс».

Публикации и патенты. Основные положения и результаты исследования опубликованы в 5-и печатных работах, в том числе в 2-х научных статьях в журналах, рецензируемых ВАК РФ, 1-ой статье в издании, входящим в международные базы цитирования (Scopus и Web of Sciens), получен 1 патент, имеющий государственную регистрацию РФ.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация содержит: введение, 4-е главы, заключение, список литературы из 109 наименований и приложений с материалами, отражающими уровень практического использования результатов исследования. Работа изложена на 163-х страницах основного текста.

1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПАССАЖИРСКИХ АВТОБУСНЫХ ПЕРЕВОЗОК В РФ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ЭКОСИСТЕМ

1.1 Ретроспективный и ситуационный анализ состояния пассажирских автобусных перевозок в РФ

Основной негативной тенденцией, характеризующей общее состояние автобусных пассажирских перевозок в РФ как неэффективное, является постоянное снижение количества перевозимых пассажиров и выполненных пассажира-километров. В силу этого, проблема качественного и своевременного удовлетворения спроса на автобусные перевозки преобразуется из локальной транспортной в общую социальную проблему, определяющую отношение основной массы населения в РФ как к качеству оказываемых транспортных услуг, так к ситуации, складывающейся в обществе.

Подтвердим данный тезис ретроспективным анализом статистики Росстата, приведённой в [2]. Статистические данные показывают, что общий объем перевозок на всех видах общественного транспорта с 2000 г. по 2015 г. сократился на 57,4 % с 44 854 млн чел. до 19 122 млн чел. в 2015 г. Наиболее неблагоприятная ситуация проявилась на автобусном и наземном городском электрическом транспорте. В частности, объемы перевозок пассажиров в трамвайном сообщении снизился за 15 лет на 80% с 7421 млн чел. до 1478 млн чел. Еще большее снижение объемов перевозок пассажиров происходило в троллейбусном сообщении – 81,6 %, с 8759 млн чел. до 1616 млн чел. в 2015 г. Менее неблагоприятная ситуация сложилась в изменении динамики объемов перевозок на автобусном общественном транспорте, но и здесь сокращение объемов перевозок пассажиров является впечатляющим – на 49,9 %, с 23 001 млн. чел. до 11 523 млн. чел. Из всех видов городского пассажирского общественного транспорта только метрополитен смог избежать катастрофического снижения объемов перевозок пассажиров, здесь сокращение произошло лишь на 20,3 %, с 4186 млн чел. до 3336 млн чел. [2].

Основной причиной снижения объемов автобусных перевозок принято считать постоянный рост количества личных легковых автомобилей у граждан и активное развитие инфраструктуры и качества услуг таксомоторных перевозок [3]. В настоящее время, в среднем, число частных легковых автомобилей в РФ составляет около 290 ед. на 1000 чел., а некоторых регионах России (это агломерации гг. Москвы, Санкт-Петербурга, Екатеринбурга и др.) этот показатель значительно выше – более 300 ед. [3,4]. Только с 2015 г. по 2017 г. количество легковых автомобилей у граждан РФ увеличилось почти в 2 раза с 24,1 до 44,8 млн. ед. Между тем количество автобусов общего пользования за тот период увеличилось более чем в два раза с 79 до 170 млн. [*Приложение А*], при том, что количество пассажирских мест в автобусах в десятки раз превосходит количество пассажирских мест в легковых автомобилях. **Поэтому тезис о том, что количество автобусных перевозок снижается за счёт увеличения количества автомобилей не состоятелен по крайней мере в количественных оценках.** Нетрудно установить, что при аналогичном увеличении количества единиц транспорта, не считая общего количества пассажира-мест, причиной снижения спроса на пассажирские автобусные перевозки являются их качественные показатели.

Важно отметить, что данные негативные тенденции проявляются повсеместно как в крупных мегаполисах, так и в небольших городах, и в сельской местности, где единственным или наиболее распространенным видом общественного транспорта является автобусный. Например, с 2000 г. число городов и поселков городского типа, имеющих внутригородское и междугороднее автобусное сообщение увеличилось на 25 %, с 1295 до 1621, а количество междугородных и пригородных автобусных маршрутов за тот же период сократилось на 9,5 и 32,5% соответственно [3,4]. Статистические данные по изменению объемов перевозок и пассажирооборота в РФ в течение 2015...2017 гг. приведены на диаграммах (рисунки 1.1 и 1.2) и наглядно демонстрируют существующие тенденции, отражающие спрос населения на автобусные перевозки в РФ.

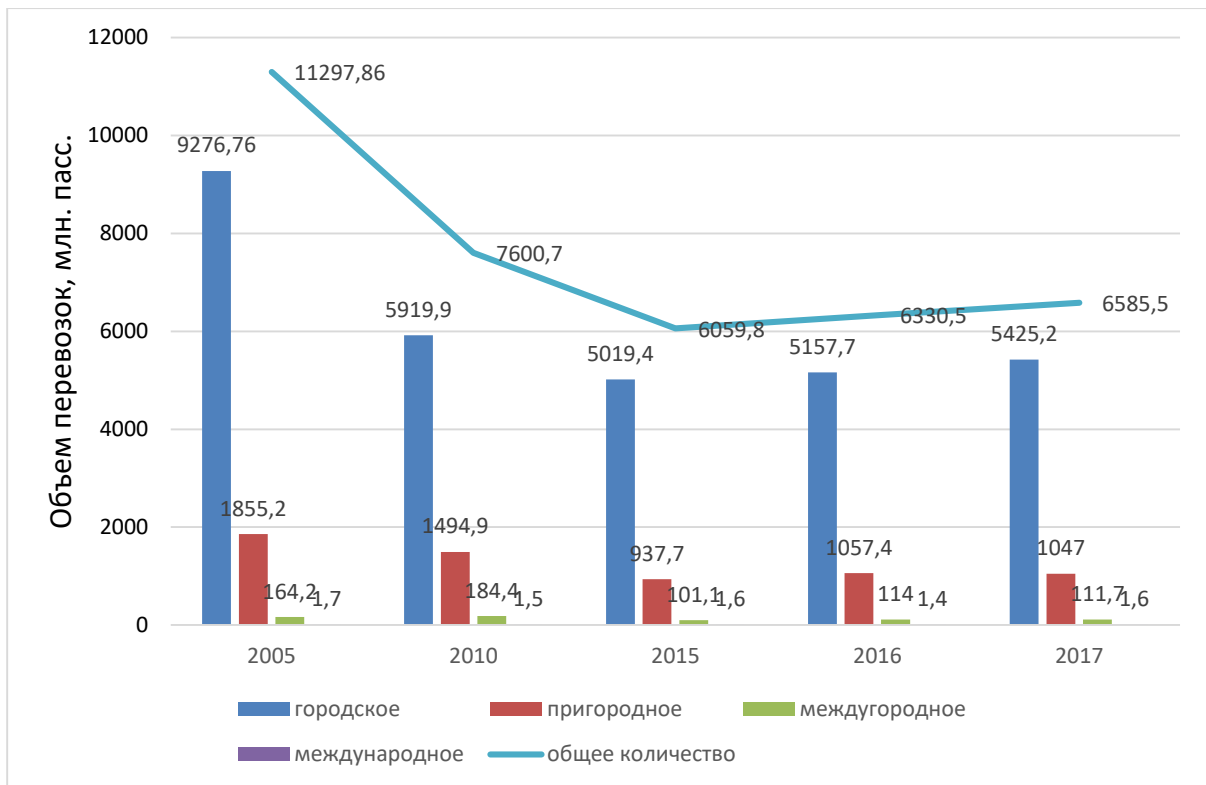


Рисунок 1.1 – Объемы автобусных перевозок в РФ [3]

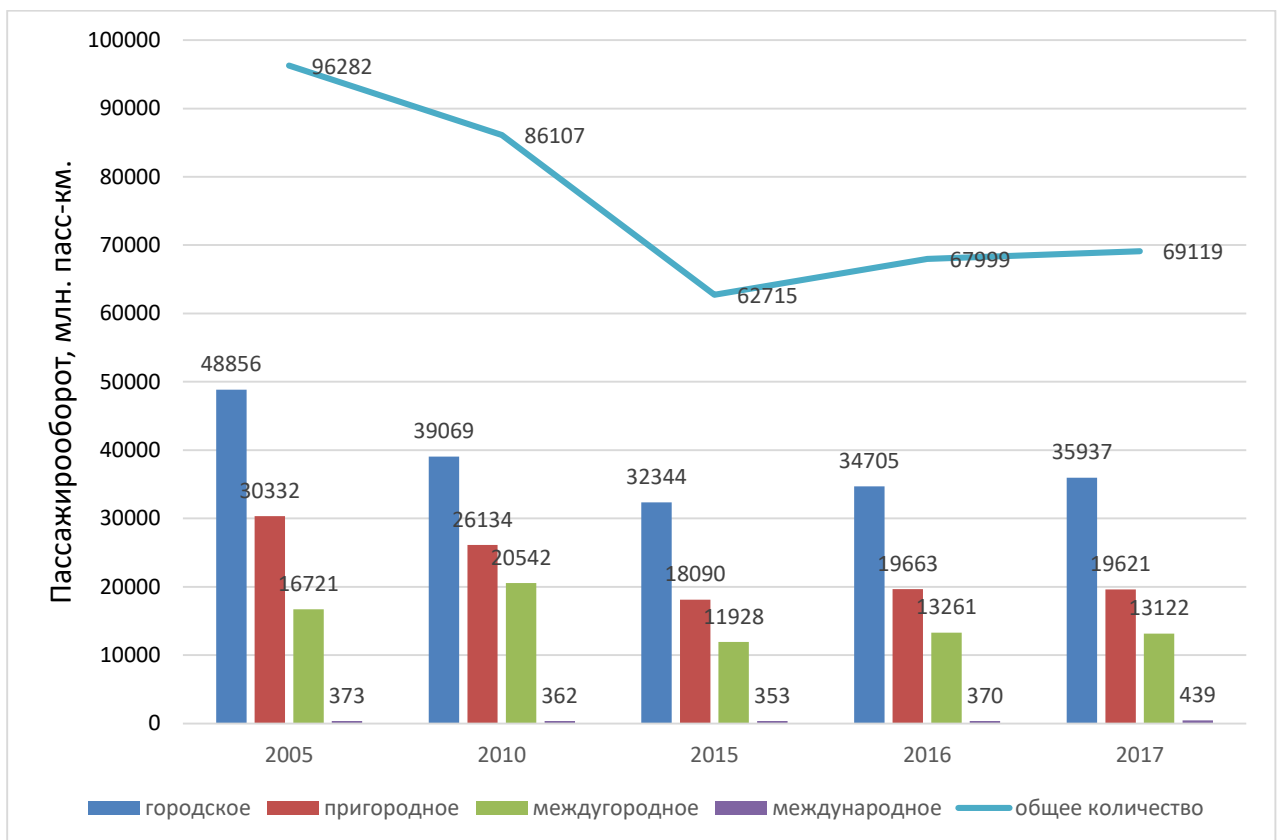


Рисунок 1.2 – Пассажируоборот автобусных перевозок в РФ [3]

Как видно из рисунков 1.1 и 1.2 после 2015 г. наступила стабилизация процесса падения спроса на автобусные перевозки и даже некоторый рост основных показателей. Но это скорее не результат каких-либо активных мероприятий по улучшению сложившейся негативной тенденции, а ситуация, когда эффективность транспортной системы автобусных перевозок в РФ достигла своего естественного «дна» необходимого обеспечения и спроса на пассажирские перевозки при объективно существующих потребностях общества в мобильности населения. Особенно неприглядна картина действительности автобусных перевозок в РФ выглядит в сравнении с другими странами мира, включая не только технически развитые страны Европы, но и бывшие республики СССР. Ни в одной стране не было зафиксировано снижение объемов перевозок общественного автомобильного транспорта за исследуемый период [*Приложение Б*].

Необходимость коренного изменения и мероприятия по преодолению негативных тенденций в сфере обеспечения населения РФ и удовлетворения спроса на автобусной перевозке отражены в ряде принятых Правительством РФ и региональными Правительствами нормативных документов. Основной из них «Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года» (утверждена распоряжение Правительства Российской Федерации от 22 ноября 2008 года №1734-р) [5].

На момент разработки Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года в крупных городах прогнозировалось сокращение доли городского электрического транспорта и увеличение доли метрополитена и автобусного транспорта в общем объеме перевозок пассажиров (в транспортной стратегии базовым годом для сравнения являлся 2007 г.). В действительности за последние 10 лет произошло существенное сокращение объемов перевозок на всех видах городского общественного транспорта. В транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 г. определены мероприятия, направленные на обеспечение на всех видах транспорта качества транспортных услуг в соответствии с высокими социальными стандартами:

- обеспечение перевозок пассажиров по социально значимым маршрутам, ценовой доступности транспортных услуг;

- разработка и выполнение программы реализации минимальных социальных транспортных стандартов обеспечения возможности передвижения всех слоев населения по территории страны;

- развитие систем городского и пригородного пассажирского транспорта;

- регулирование допуска к коммерческой деятельности в области пассажирских перевозок;

- развитие парка пассажирского подвижного состава, не уступающего по технико-экономическим параметрам мировым аналогам и многие др.

Реализация мероприятий, заложенных в программе должны были обеспечить (в соответствии с прогнозом Минтранса РФ) рост объема автобусных перевозок до 15 769,5 млн чел. в год. На рисунке 1.3 представлена предполагаемая динамика изменяя объемов перевозок пассажиров с 2005 г. по 2020 г. При этом различные источники статистических данных дают противоречивую информацию. Например, по данным [1] количество перевезенных пассажиров автобусным транспортом начиная с 2005 и по 2017 гг. значительно отличаются от данных в источнике [3]. Но в любом случае достижение заявленного результата требует прорывных качественных изменений в практике автобусных перевозок.



Рисунок 1.3 – Текущие и планируемые объемы автобусных пассажирских перевозок в РФ [1,3,5]

Принятые в «Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года» стратегические направления повышения эффективности работы наземного городского пассажирского транспорта (НГПТ) привели к необходимости провести анализ причин сложившейся негативной ситуации. В направлении решения поставленных задач специализированные и профильные транспортные комитеты в крупных мегаполисах провели ситуационный анализ и разработали собственные программы развития НГПТ, в том числе и пассажирских автобусных перевозок. В частности, в г. Санкт-Петербурге была принята собственная «Стратегия развития транспортной системы Санкт-Петербурга и Ленинградской области на период до 2030 года» [6], в которой к основным системным проблемам работы наземного пассажирского транспорта в Санкт-Петербурге отнесли следующие:

- 1) недостаточный уровень развития наземных видов пассажирского транспорта и низкое качество транспортного обслуживания населения (больше всего жители города и области недовольны несоблюдением расписания движения, высокой наполняемостью подвижного состава, низкой скоростью и значительными интервалами движения транспортных средств на маршрутах);
- 2) высокое количество потерь линейного времени по вине и не по вине перевозчика ведет к низкой предсказуемости движения НГПТ, которая не позволяет пассажирам прогнозировать время прибытия в пункты назначения;
- 3) низкий технический уровень производственной базы транспортных предприятий, устаревание основных фондов, значительный «недоремонт» ряда объектов транспортной инфраструктуры, что влечет за собой повторный выпуск одного и того же транспортного средства на разные маршруты внутри одного дня (например, утренний наряд одного маршрута и вечерний наряд другого);
- 4) низкий уровень автоматизации процесса внесения оперативных изменений в трассы маршрутов, попавших в зону поражения нештатной ситуации; отсутствие контроля за выбором водителя самопроизвольного объезда до

момента разработки и согласования объездной трассы; отсутствие инструментов оповещения пассажиров о внесенных оперативных изменениях;

- 5) отсутствие сплошной системы контроля за работой автобусного транспорта приводит к нарушениям перевозчиками условий договоров, создает условия для работы на маршрутах нелегальных перевозчиков, не обеспечивающих безопасности перевозок и отбирающих пассажиров у легальных перевозчиков;
- 6) отсутствие действенной системы контроля за работой «коммерческого» транспорта, что приводит к занижению статистики аварийности (влияет на розыгрыш маршрутов по перевозке пассажиров); длительный отстой «коммерческого» транспорта на конечных и промежуточных остановках, что увеличивает время маневрирования, посадки и высадки пассажиров «социальных» маршрутов; посадка и высадка пассажиров с нарушением правил дорожного движения (из-за отсутствия возможности подъезда к остановочному пункту, водители высаживают на второй или третьей полосе дороги); частое отклонение от утвержденной трассы маршрута для экономии времени (например, объезд транспортного затора) – все эти факторы влияют на безопасность перевозки пассажиров и имидж транспорта города.
- 7) недостаточное количество современных остановочных павильонов на маршрутной сети, отвечающих требованиям к комфорту и безопасности пассажиров и оснащенных информационными табло;
- 8) недостаточное количество выделенных полос, а также их связности для проезда общественного транспорта, что вызывает снижение скорости и безопасности при движении подвижного состава в общем транспортном потоке;
- 9) низкая доступность автотранспортных средств (АТС) и объектов транспортной инфраструктуры для маломобильных групп населения и т.д.

Перечисленные выше характерные проблемы свидетельствуют об огромном количестве факторов различных по «природе» происхождения и степени значимости, тормозящие процесс эффективного развития системы НПГТ. Данное обстоятельство является основным признаком сложной системы [7,8]. Рассмотрим систему НПГТ в контексте наличия признаков сложной системы.

1. Любая сложная система являются иерархической и состоит из взаимозависимых подсистем, которые могут быть разделены на отдельные подсистемы.
2. Важнейшая характеристика сложной системы – непредсказуемость поведения системы, складывающаяся в результате взаимоотношений ее компонентов. Условия в которых работает рассматриваемая система могут быть определены, как «недостаточности информации или риска, или неопределённое состояние среды исследования».
3. Отношения в системе определяются правилом «незначительное возмущающее воздействие может вызвать значительный эффект, и наоборот, значительный воздействующий импульс может не оказать значительного результата».
4. Отношения между компонентами системы НПГТ могут имеют обратные связи: раскачивающие систему – положительные и демпфирующие - отрицательные.
5. Система НПГТ является открытой; так ее границы в зависимости проницаемы для воздействия внешней среды в виде информации, материальных или финансовых потоков, подвергает систему изменениям. При этом средства управления в системе должны удерживать её в стабильном состоянии [9,10,11]

Поэтому значительно возрастает роль управления - процедур принятия решений, направленных на повышение эффективности функционирования системы в соответствии с установленными целями. В ситуации на примере г. Санкт-Петербурга основными системными причинами неэффективности процедур управления работой НПГТ является следующие (рисунок 1.4):



Рисунок 1.4 – Выявление и систематизация проблем управления работой НГПТ в г. Санкт-Петербурге

- 1) Не соответствия структуры системы (количества элементов) установленным целям, то есть существует задача в системе, но отсутствует элемент, отвечающий за их решение, или наоборот.
- 2) Не соответствия качества управления установленным целям. Как правило данная ситуация возникает при отсутствии или не применении математических методов оптимизации, соответствующих уровню связей в системе. То есть не формируется гармоничная (согласованная) модель взаимодействия отдельных элементов, упорядочивающая распределение их вкладов (веса) в достижение поставленной цели.
- 3) Изменением (в сторону увеличения) сложности условий функционирования системы, как правило, это проявляется в повышении степени информационной неопределённости среды применения системы (активизация внешней среды).

- 4) Отсутствием или не соответствием средств и технологий мониторинга для оценки состояния системы. Данная ситуация приводит к доминированию факторов неизвестной «природы» с последующим изменением (в сторону увеличения) сложности условий функционирования системы. Результат - повышении степени информационной неопределённости среды применения системы (активизация внешней среды).

1.2 Анализ современного состояния в РФ и передового зарубежного опыта систем мониторинга и централизованного управления наземным пассажирским транспортом

В конце 80-х, начале 90-х годов прошлого века основной задачей управления НГПТ являлось соблюдение режимов движения на маршрутах, что обеспечило приоритетное развитие систем геопозиционирования АТС. Однако уже в начале 2000-х годов все большее число операторов перевозок поставило задачу перед производителями АТС об оснащении их телематическими устройствами с «первазивной» (т.е. первичной) обработкой информации, собираемой с большого количества бортовых датчиков. Можно утверждать, что в 1994...2002 гг. сформировалось направление услуг, основанных на телематических данных: управление автопарками, обучение экономичному вождению и контроль стиля вождения, направленные на повышение эффективности использования автотранспорта, снижение эксплуатационных затрат потребителей пассажирской и грузовой автотехники и другие цели, связанные с повышением безопасности и качества услуг. Крупнейшие производители немедленно отреагировали на эту тенденцию и явно стал прослеживается массовый переход мировых автопроизводителей пассажирских АТС к новым технологиям управления и обслуживания, которые вытекают из текущих потребностей. Эти технологии предусматривают комплексный мониторинг и накопление знаний о производимых транспортных средствах в процессинговом центре производителя, а также,

передачу необходимых данных пользователям и сервисным и эксплуатационным службам, которые принимают управленческие и технические решения на их основании. Другой тенденцией является повышение коммерческой ценности данных, получаемых в результате мониторинга и обработки информации, что делает перспективным развитие системы за счет заинтересованных потребителей данных, например, на основе сервисных моделей обслуживания вместо ресурсных или их комбинация.

Аналогичные тенденции имеют место и в РФ. Системы мониторинга и автоматизированного управления транспортными средствами достаточно широко используются в отечественной практике. Широкий характер внедрения подтверждается наличием ряда общегосударственных и других документов, регламентирующих указанную отрасль [76, 77]. Спрос на системы мониторинга транспорта в РФ вырос в десятки раз за последние 5 лет. Такой быстрый рост обусловлен высоким экономическим эффектом от внедрения телематических систем мониторинга, который составляет в России до 30% (за счет исключения «левых» рейсов, слива топлива, простоя ТС). Кроме того, существенно повышается эффективность контроля перевозчиков, что положительно влияет на качество услуг. Совпадение векторов интереса властных структур и коммерческих организаций позволяет сделать оптимистический прогноз по развитию АСУ НПТ (в первую очередь, автобусным) и, также, прогнозировать возможный успех организации работ по созданию АСУ НПТ на основе ГЧП. Системы управления НПТ функционируют и находятся в состоянии интенсивного развития в крупных мегаполисах РФ (Москва, СПб, Республики Татарстан и Башкортостан, Кемеровская область, Самара, Пермский край и др.) [78]. В них разработаны концепции создания таких систем, отвечающие современным условиям. Значительно слабее АСУ НПТ развиты в небольших городах, сельской местности и, особенно, на межрегиональных перевозках. Явно недостаточно реализовано информационное взаимодействие с другими видами пассажирского транспорта (Ж/Д, Метрополитен, электрический транспорт) и с другими объектами дорожной системы (платными участками дорог и парковками, системами регулирования

дорожного движения). В РФ производится и предлагается для использования на пассажирском транспорте ряд комплексных решений по мониторингу, которые обеспечивают не только функции геопозиционирования, но и функции по составлению отчетности, контролю расхода топлива и др.

Общая ситуация с региональными и муниципальными пассажирскими перевозками на территории РФ неоднородна. Различие между такими регионами как Москва и МО, Санкт Петербург, Казань, Нижний Новгород и регионами типа Оренбургская область, Пермский край, Томская область и ряд других очень велико по разным причинам, в том числе, из-за неоднородного уровня цифровых и коммуникационных технологий, различной плотности населения и структуры дорог, традиций и т.п. Основной причиной неблагоприятной транспортной ситуации в мегаполисах является несоответствие пропускной способности УДС растущей активности движения НГПТ. УДС мегаполисов в настоящее время не соответствует объективным потребностям НГПТ по всем основным параметрам – пропускной способности, плотности и связности и характеризуется недостаточным количеством транспортных развязок, путепроводов, тоннелей.

Перечисленные проблемы приводят к снижению устойчивости функционирования транспортной системы, росту аварийности и ухудшению экологической обстановки. Преодоление таких проблем в развитых странах не ограничивается развитием инфраструктуры УДС, но может быть достигнуто применением современных технологий в организации движения. В частности, на технологиях типа MaaS (Mobility as a Service), созданием мультимодальных маршрутов с одновременным использованием маршрутных и заказных (немаршрутных) транспортных средств, изменением структуры управления и функциональной архитектуры пассажирских транспортных систем на основе цифровой трансформации, оптимизации ресурсных и временных затрат за счет возможностей оперативного управления транспортными и пассажиропотоками с помощью мобильных электронных технологий, повышение скорости информационного взаимодействия между всеми участниками системы перевозки, упрощения интерфейсов оплаты и контроля проезда, предоставления льгот и т.п.

1.3 Анализ качественных и количественных показателей маршрутной инфраструктуры автобусных перевозок

1.3.1 Анализ современных методических подходов к определению качества автобусных перевозок

Объективно судить о том насколько качественно осуществляется процесс обеспечения населения автобусными перевозками в первую очередь могут и должны потребители предоставляемых услуг. Кроме социальной оценки потребителей транспортных услуг важное значение и экономическая составляющая развития региона, так как современную городскую агломерацию невозможно представить без развитой маршрутной инфраструктуры и от этого показателя зависит, какими темпами будут промышленность, сфера услуг, бизнес среда и в целом экономика города [12].

Важным ограничением эффективного развития автобусных перевозок является недостаточность финансирования муниципального автобусного пассажирского транспорта из местных бюджетов и необходимость оптимизации (как правило сокращения) объемов инвестиций в развитие транспортной инфраструктуры города, так как в РФ муниципальный пассажирский транспорт характеризуется убыточностью. Одна их основных причин убытков вполне объяснима перераспределением пассажиропотока на коммерческие автобусные маршруты, которые могут предложить повышение качества перевозочного процесса с точки зрения гибкости и мобильности транспортного планирования [13, 14, 15].

В данных условиях для муниципальных АТП актуализируется классическая задача – задача оптимального использования ресурсов (минимизация затрат) для максимизации транспортной работы и повышения качества обслуживания автобусными перевозками населения [16,17,18,19], а для коммерческих предприятий задача формируется иначе – максимизация прибыли, как фактора

устойчивого развития бизнеса [20,21]. В [22] задачи представлены в следующем виде:

- для муниципального транспорта

$$\begin{cases} Z - D \rightarrow \min \\ K \geq K_{\min} \end{cases}, \quad (1.1)$$

- для частных предприятий

$$\begin{cases} S_a \rightarrow \max \\ K \geq K_{\min} \end{cases}, \quad (1.2)$$

где K – установленный уровень качества обслуживания пассажиров;

K_{\min} – минимально допустимый уровень качества обслуживания пассажиров;

Z – затраты на обслуживание пассажиров муниципальными АТП, тыс. руб.;

D – доходы муниципального АТП, тыс. руб.;

S_a – стоимость бизнеса частного АТП, тыс. руб.

Субъективным параметром в поставленных задачах является величина уровня качества обслуживания пассажиров, поэтому в [22] было предложено определить наиболее важные качественные и количественные показатели, характеризующие уровень обслуживания населения автобусными перевозками на основании социального опроса и результатов его обработки статистическими методами. Опрос пассажиров проводился по специализированной анкете, где из перечисленного количество факторов предлагалось выбрать 6 определяющих уровень качества обслуживания факторов.

Результаты обработки данных приведены в виде гистограммы на рисунке 1.5 и таблице 1.1.

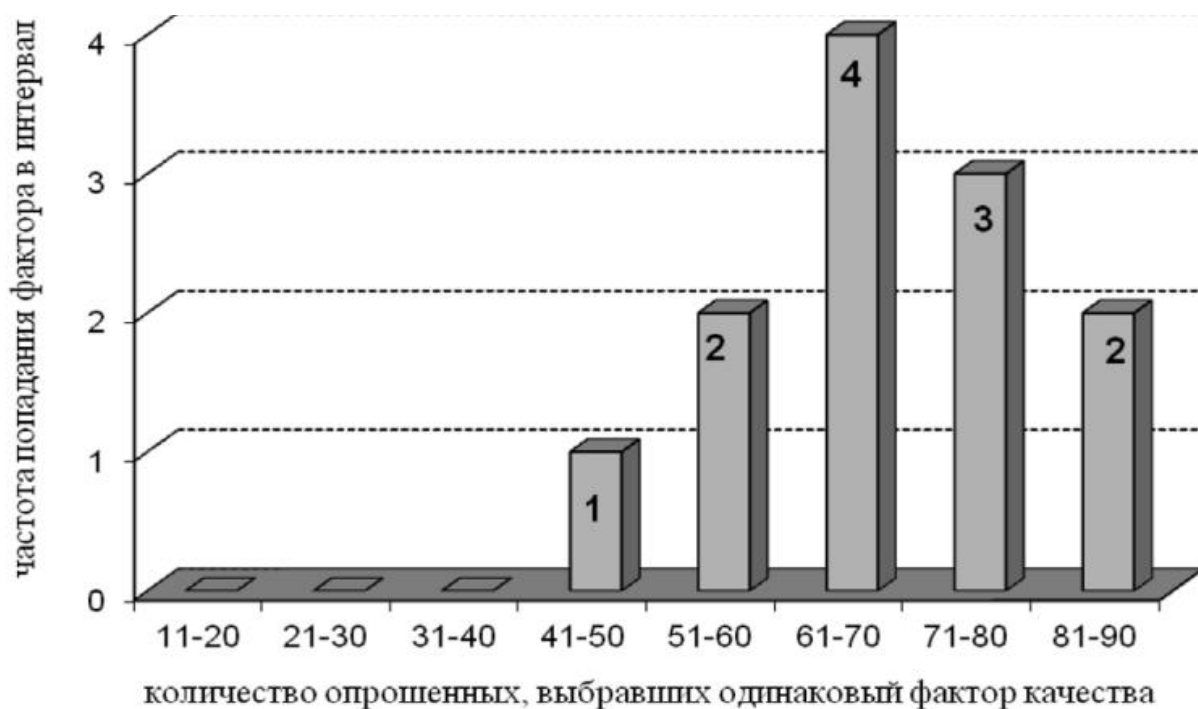


Рисунок 1.5 – Факторы, влияющие на уровень качества обслуживания населения автобусными перевозками [22]

Таблица 1.1 - Факторы, влияющие на уровень качества обслуживания населения автобусными перевозками

№	Наименование фактора	Количество предпочтений
1	Затраты времени	89
2	Уровень тарифов	84
3	Плотность маршрутной сети	77
4	Аварийная безопасность	75
5	Частота движения	73
6	Количество пересадок	68
7	Скорость движения автобуса	66
8	Наполнение салона	64
9	Регулярность движения	61
10	Экологическая безопасность	57
11	Надежность автобуса	51
12	Уровень информационного сервиса	42

Далее в исследовании предлагается выделить локальные показатели (5 ед.) и факторы, их определяющие, с последующим нахождением интегрального показателя качества интегрального показателя качества по следующим формулам:

$$K = \sum_i^5 \alpha_i \cdot \Pi_i, \quad (1.3)$$

$$\Pi_i = \sum_i^m \beta_i \cdot k_{ij} \quad (1.4)$$

при условиях

$$\sum_i^n \alpha_i = 1, \text{ и } \sum_j^m \beta_j = 1 \quad (1.5)$$

где K – интегральный показатель уровня обслуживания

Π_i – локальный показатель уровня транспортного обслуживания;

α_i и β_i – весовые коэффициенты значений показателей Π_i и k_{ij} ;

k_{ij} – показатель определяющий степень соответствия факторов их возможному оптимальному значению, определяющийся как;

$$k_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_{ij}^{\exists}}, \quad (1.6)$$

где n_{ij} – значение минимума j -го фактора на некотором анализируемом периоде;

n_{ij}^{\exists} – эталонное значение j -го фактора на некотором анализируемом периоде.

Для определения значений весовых коэффициентов предлагается использовать известный метод анализа иерархий (МАИ) [23,24]. Идея МАИ заключается в формировании матриц парных сравнений показателей, включаемых в различные по критериальной оценке группы. Основным недостатком МАИ субъективность процедуры принимаемого решения. МАИ неоднократно подвергался критике различными исследователями, из-за нарушений в математическом обосновании способа определения весового вектора (нарушения свойства совместности матрицы парных сравнений) [25,26].

Ногиным В.Д. был предложен упрощенный вариант МАИ на основе нелинейной свертки критериев, где решена проблема совместности матрицы парных сравнений. Еще одной проблемой применения подхода является построения модель построения интегрального (обобщенного) критерия. Здесь возможны различные способы агрегирования, «свертки» показателей, т.е. построения различных обобщающих показателей, прежде всего, аддитивных и мультипликативных, но они обоснованно объективной критике. Главный недостаток в этом случае «преимущества (или недостатки) показателей по одному критерию, как правило компрессируются за счёт показателей по другим критериям» [27,28,29]. Но несмотря явные недостатки предложенной в данном случае методики, её направленность отвечает сложившимся в настоящее время условиям на рынке автобусных перевозок. Особенно важен тот факт, что выявлены индикаторы целей и интересов пассажиров, как основных потребителей услуг, предоставляемых пассажирскими муниципальными и частными АТП. На основании данных исследования можно сделать вывод о том, что основные факторы, имеющие значительные степень влияния в четырех частотных группах по значимости (1 – min ... 4 – max) являются факторы прямо или косвенно определяемые инфраструктурой маршрутной автобусной сети

1. Количество пересадок – $n = 68$ (частота 4)
2. Скорость движения автобуса – $n = 66$ (частота 4).
3. Степень наполнения салона автобуса – $n = 64$ (частота 4).
4. Регулярность движения – $n = 61$ (частота 4)
5. Плотность маршрутной сети – $n = 77$ (частота 3).
6. Частота движения – $n = 73$ (частота 3)
7. Суммарные затраты времени – $n = 89$ (частота 2).

Причем значимость фактора 12 - уровень информационного сервиса (таблица 1.1), относящегося к инновационной составляющей определения цифровых транспортных систем будет интенсивно увеличиваться в ближайшие годы и неразрывно связана с методами формирования эффективной инфраструктуры автобусных маршрутов.

1.3.2 Анализ методов формирования инфраструктуры автобусных маршрутов

Традиционно методы организация маршрутной сети автобусов опираются на показатели подвижности населения [30,31,32]. При этом важно отметить, что маршрутными (по форме организации) является автобусные перевозки на маршрутах прошедших определенную процедуру утверждения и согласования. Общая подвижность населения (число передвижений/1 ед. населения в год) является характеристикой потребности людей в передвижениях. Транспортная подвижность (ТПН) городского населения определяется количеством поездок, приходящимися на одного жителя города в год с учетом поездок приезжих из пригородов и других городов:

$$P_{\text{тр}} = \frac{M_{\text{г}} + M_{\text{пр}} + M_{\text{дг}}}{Q}, \quad (1.7)$$

где $M_{\text{г}}$, $M_{\text{пр}}$ и $M_{\text{дг}}$ – число поездок на транспорте жителей города, приезжих из пригородов и из других городов, соответственно;

Q – численность населения города.

Транспортные передвижения населения являются статистическим явлением, и они могут быть описаны лишь с определенной вероятностью, если существуют данные, позволяющие определить стохастический закон распределения. Известно, что ТПН существенно возрастает с увеличением численности населения города, перераспределением производственных предприятий и предприятий сферы услуг. В частности, в последние десятилетия резко возросла мобильность и подвижность населения не только в связи ростом показателей автомобилизации, но с активным развитием сети нестационарных по географическому расположению предприятий сферы услуг, увеличению пассажиропотоков в пригородном сообщении в крупных городских агломерациях и т.д.

Формула 1.7 будет более точна, если в неё ввести поправочные коэффициенты, учитывающие нестационарную мобильность населения:

$$P_{\text{тр}} = \frac{\Delta_{\text{г}}M_{\text{г}} + \Delta_{\text{пр}}M_{\text{пр}} + \Delta_{\text{дг}}M_{\text{дг}}}{Q}, \quad (1.8)$$

где $\Delta_{\text{г}}$, $\Delta_{\text{пр}}$ и $\Delta_{\text{дг}}$ – коэффициенты, определяющие динамические изменения в стохастических данных числа поездок на транспорте жителей города, приезжих из пригородов и из других городов, соответственно;

Последние статические данные о транспортной подвижности населения в РФ опираются на перепись населения 2010 года. Средние (вероятные) значения ТПН для городов России характеризуются следующими величинами (таблица 1.2).

Таблица 1.2 - Транспортная подвижность в РФ [33]

Численность населения города, тыс.	Транспортная подвижность, $P_{\text{тр}}$ – число поездок в год на 1 пасс.
Свыше 2000	750...820
1001...2000	650...750
501...1000	500...650
251...500	400...650
101...250	300...400
51...100	250...300
50 и менее	150...250

Согласно данной переписи, в РФ имеется 13 городов с населением более 1 миллиона человек (гг. Москва, Санкт-Петербург, Новосибирск, Нижний Новгород, Екатеринбург и т.д.). Всего же в городах с населением более одного 1-го млн. чел. проживает пятая часть населения страны. Городов же с населением от 500 тыс. до 1 миллиона человек – 21.

Следует отметить, что подавляющее большинство социологических исследования показывают значительный рост за последние годы (в 1,2...1,5 раза) величин транспортной подвижности в мелких и средних городах России (10...250 тыс. жителей) в связи только с ростом автомобилизации населения без учета достаточно большого количества локальных факторов. Кроме автомобилизации населения на величину транспортной подвижности в городах оказывают влияние такие факторы, как плотность расселения жителей, привлекательность зон отдыха, комфортность поездок, возраст населения, площадь жилых помещений и т.д. [34]. Далее доля транспортных передвижений от их общего числа определяется коэффициентом использования транспорта $K_{пл}$, зависящим от средней дальности передвижения l_n (ниже приведены формулы 1.9 и 1.10).

Величина l_n (км), определяется как:

$$l_n = a + bK_{пл}\sqrt{F}, \quad (1.9)$$

где a и b – коэффициенты по результатам обследования пассажиропотоков (в среднем $a = 1,2...1,3$; $b = 0,15...0,25$);

$K_{пл}$ – коэффициент планировочной структуры города, $\approx 1,4$ при радиальной планировке, $\approx 1,0$ при прямоугольной планировке и $\approx 0,9$ при радиально-кольцевой;

F – селитебная площадь (жилая зона) городской территории, км².

Число поездок между определенной парой пунктов составляет транспортную корреспонденцию. Различают корреспонденции сетевые (между микрорайонами города) и маршрутные (между остановочными пунктами одного маршрута). Сетевые корреспонденции составляют информационную основу для маршрутизации перевозок. На практике в качестве пунктов начала и окончания поездок принимают центры транспортных микрорайонов, на которые делят обслуживаемую территорию. Так как корреспонденции привязаны к транспортной сети, то реальная трасса движения пассажира отличается от линии, связывающей пункты начала и окончания поездки.

Среднее значение длины сетевых транспортных корреспонденций по городу, $l_{\text{ср}}$, км, может быть условно определена по следующему выражению

$$l_{\text{ср}} = 1,3 + 0,3\sqrt{F}, \quad (1.10)$$

где F – селитебная площадь (жилая зона) городской территории, км².

Потребность в поездках изменяется по периодам суток, достигая максимума в «часы пик». Поэтому, можно сделать вывод: существующая система получения исходных данных для формирования маршрутной сети НГПТ опирается на фактическое отсутствие достоверных данных о ТПН в РФ, а методология определения среднего расстояния транспортной корреспонденции базируется на приближенных методах расчёта, что в совокупности не свидетельствует о наличии достоверных данных, позволяющих установить стохастических законы распределения и мощности пассажиропотоков в городах РФ.

Есть два основных пути решения данной проблемы:

1. **Рекомендуемый.** Постоянно корректировать вышеуказанные данные по величинам средней (вероятностной) транспортной подвижности в городах соответственно при практическом их практическом, при этом опираться на традиционные методы выявления ТПН и мощности пассажиропотоков [33, 34].
2. **Предлагаемый.** Перечисленные выше характерные проблемы НГПТ свидетельствуют об огромном количестве факторов различных по «природе» и динамически изменяющихся по времени позволяют отнести её к сложным системам. При этом методы формирования маршрутной сети должны основываться на моделях принятия решения в информационных ситуациях, характеризующихся как ситуации с неопределённым состоянием среды исследования [35]. Для выявления данных о мощности пассажиропотоков использовать современные цифровые ресурсы, позволяющие производить «он-лайн» мониторинг ТПН.

1.4 Анализ традиционных и перспективных методов управления транспортной мобильностью населения

Мощность пассажирских потоков, их направление по территории обслуживаемого района являются определяющими факторами формирования маршрутной сети НГПТ. На базе данных о пассажиропотоках выбираются трасса маршрутов, вид транспорта, тип и количество подвижного состава. Для выявления пассажиропотоков, распределения их по направлениям, сбора данных об изменениях пассажиропотоков во времени проводят обследования [36, 37, 38]. Наиболее распространенными методами обследования являются методы **неавтоматизированного мониторинга** в таблице 1.3.

Таблицы 1.3 - Методы неавтоматизированного обследования пассажиропотоков

Метод	Краткое описание
Отчетно-статистический метод	определяет число перевезенных пассажиров, используя сведения о проданных билетах.
Табличный метод	основан на опросе пассажиров. Для обследования учетчики проводят опрос пассажиров, отмечая в специальной учетной карте пункты посадки и высадки каждого пассажира.
Счетно-табличный метод	основан на подсчете пассажиров учетчиками, находящимися на остановочных пунктах - учетчики подсчитывают число входящих и выходящих по каждому остановочному пункту.
Анкетный метод	основан на заполнении населением, пассажирами или учетчиками специальных анкет о совершаемых поездках.
Талонный метод	основан на учете каждого пассажира, проехавшего в транспортном средстве. При входе каждому выдают талон с отметкой остановки посадки и при выходе талон возвращают учетчику, который отмечает в талоне остановочный пункт выхода пассажира.
Глазомерный (визуальный) метод	основан на учете непосредственно водителем транспорта о степени наполнения автобуса.

Методы автоматизированного учета числа входящих в салон и выходящих из него пассажиров являются неконтактными. К неконтактным методам автоматизированного обследования относятся методы, основанные на использовании фотоэлектрических приборов. Данные обследования пассажиропотоков и применение модели перенесения этих данных на весь период работы НГПТ позволяют определить спрос населения на транспортные услуги в «по-маршрутном» разрезе, в том числе требуемое количество и качество услуг по часам суток, дням недели, временам года и прочим изменяющимся параметрам, которые характерны для услуг НГПТ. Для достижения этих целей в РФ был разработан ГОСТ Р 54723-2011 «Глобальная навигационная спутниковая система диспетчерского управления городским пассажирским транспортом. Назначение, состав и характеристики решаемых задач подсистемы анализа пассажиропотоков» [39]. Схема технологического процесса сбора и обработки информации в системе подсчета пассажиров и использованием ГЛОНАСС показана на рисунке 1.6.

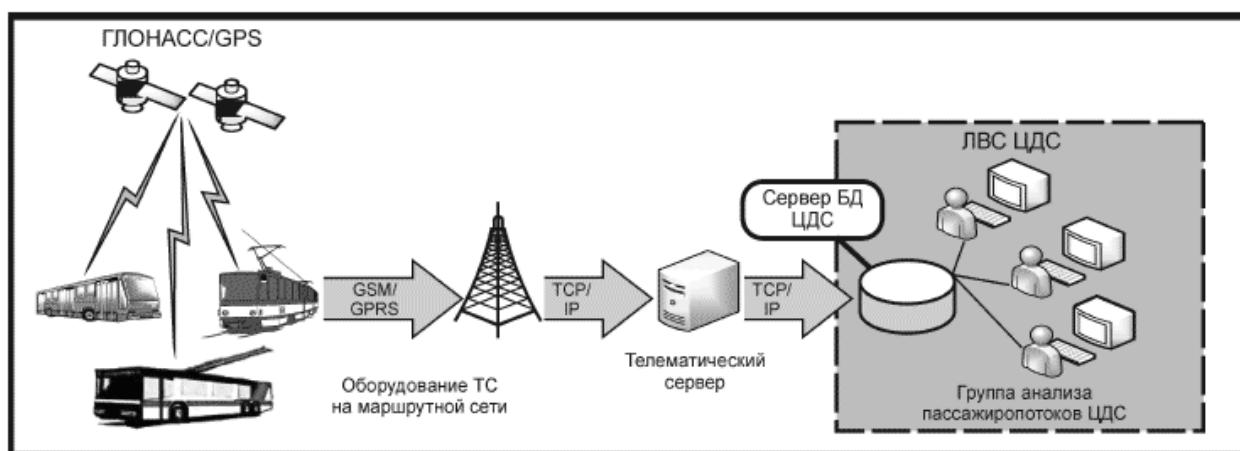


Рисунок 1.6 - Схематическое отображение технологического процесса сбора и обработки информации в системе подсчета пассажиров

Основные недостатки: методы обеспечивают необходимую точность только при строго раздельном входе и выходе пассажиров, поэтому затруднен и неточен учет в «часы пик», то есть они позволяют определить количество перевезенных пассажиров только в конкретный момент обследования.

В большинстве технологически развитых стран (США, ЕС, Китай, Израиль, Ю. Корея) [40, 41, 42, 43, 44] применяют иной подход: четко различаются две главные системы, обеспечивающие процесс формирования маршрутной сети и управления региональной транспортной мобильности: систему централизованного управления (ЦУ) НГПТ и систему информационно-платежных сервисов (ИПС), объединённую единой целевой функцией.

Целевая функция ЦУ НГПТ – обеспечение производственного цикла для организации движения транспортных средств в соответствии с заданными маршрутами и расписаниями, техническое обслуживание, встроенный контроль выполнения целей и другие задачи, являющиеся частью технологического процесса перевозки пассажиров.

Система ИПС ориентирована большей частью на пользователей (пассажиров) и реализует операции, которые направлены на планирование поездки, определение оптимального тарифного плана и графика перемещений, комфорта в поездке и на пересадочных узлах и т.п. Взаимодействие указанных систем чаще всего реализуется на основе внешних протоколов информационного обмена. В результате, с помощью двух взаимодействующих базовых систем, обеспечивается процесс транспортной мобильности населения региона, который необходим и очень важен для решения проблем экономического и социального характера – повышения эффективности общественного транспорта (времени на перемещение, снижения ресурсных затрат, уменьшение влияния на среду обитания, обеспечения безопасности, улучшения экологических показателей). Система ЦУ состоит из подсистем диспетчеризации, мониторинга, планирования, подготовки и принятия управленческих решений (на разных уровнях управления от операционного до стратегического), отчетности и контроля объемов транспортной работы и некоторых других обеспечивающих подсистем. Данные систем мониторинга, которая является важнейшей частью системы централизованного управления, используются для контроля графика движения ТС по маршруту, информирования пассажиров и других участников дорожного движения о текущих проблемах и исполнении графика и т.д. (рисунок 1.7).



Рисунок 1.7 - Структура взаимодействия на пассажирском транспорте

Таким образом, поддерживается технологический процесс перевозки, в котором, помимо двух внутренних систем участвуют и несколько внешних: органы исполнительной власти (ОИВ), органы управления дорожной инфраструктурой, службы экстренного реагирования и безопасности и др. В существующих решениях четко выполняется целевая функция системы ЦУ: обеспечение оперативного и среднесрочного управления процессом движения транспортных средств, а также, подготовки данных для принятия стратегических управляющих решений. Система ЦУ обеспечивает взаимодействие всех участников производственного процесса.

Подсистема мониторинга, которая входит в систему ЦУ, состоит из бортового (периферийного) оборудования, которое включает модуль предварительной обработки данных, поступающих с различных специализированных датчиков, установленных как на ТС, так и вне его и, выдающих в телематическом режиме значения параметров движения и состояния ТС на процессинговый центр. В процессинговом центре осуществляется формирование информационных продуктов, которые рассылаются заинтересованным пользователям и сохраняются в хранилище данных для

последующего использования в аналитике при формировании стратегических и среднесрочных управляющих решений. Типичный современный бортовой модуль предварительной обработки данных – это специализированный компьютер, ориентированный на автономное использование в транспортных средствах. Другие бортовые устройства поддерживают процесс информационно-платежного обслуживания пассажиров. Состав бортового оборудования критически важен для обеспечения высокого качества перевозки и существенно влияет на ее себестоимость. Функциональный состав бортового модуля обеспечивает возможность получения ряда параметров, которые после соответствующей обработки могут применяться для вычисления показателей движения и состояния ТС, которые используются перевозчиками, контролирующими организациями, страховыми компаниями, службами безопасности и оперативного информирования др. Подключение к бортовым датчикам состояния ходовой части, двигателя и т.п. позволяет создать информационный продукт, который обеспечивает оперативную диагностику ТС и повышение безопасности движения. При необходимости, мини сенсор допускает подключение к более мощному процессору и другим средствам контроля движения (например, оптико-электронной системе, обеспечивающей оценку окружающего транспортное средство пространства, датчикам выхлопных газов, датчикам контроля давления в шинах и др.). Принимаемые из внешних систем данные и полученные в результате обработки на борту используются для контроля объемов транспортной работы и движения транспортных средств, поддержки (вплоть до автоматизации) процесса вождения и информирования водителя о имеющихся проблемах на маршруте следования.

Важной тенденцией, которая явно прослеживается на мировом рынке ТС, является установка периферийного оборудования в условиях заводского производства ТС. В настоящее время часто используется другая технология, предполагающая установку бортового оборудования организацией-перевозчиком. В таком подходе осуществляется централизованный сбор и обработка данных с бортового оборудования на процессинговом центре производителя с последующей

рассылкой необходимых данных перевозчикам и пользователям ТС. Указанный подход позволяет поставить взаимодействие участников транспортной системы на более высокий уровень. В частности, повышается качество и надежность работы бортовых устройств, качество гарантийного сервиса и эксплуатации ТС (исключаются возможности использования некачественного топлива), ранняя диагностика неисправностей позволяет снизить стоимость ремонта, контроль индекса вождения позволяет уменьшить вероятность управления транспортным средством нетрезвым или нездоровым водителем, снижается аварийность, особенно, количество аварий с тяжелыми последствиями.

Большое влияние на показатели эффективности региональной мобильности оказывают внешние пользователи. В соответствии с рекомендациями ГОСТ Р ИСО 14813-1-2011 пользователями сервисами системы региональной пассажирской перевозки можно считать партнеров, которые получают услуги посредством взаимодействия с системой ЦУ. В отдельных случаях к пользователям могут применяться такие определения, как «рассчитывающие получить выгоду от использования сервисов», «пользующиеся системой перевозки в рамках модели В2В», «обеспечивающие финансовые операции», «контролирующие и другие аналогичные функции». Любое взаимодействие человека с интеллектуальной транспортной системой (ИТС) приводит к возникновению внешних субъектов действия, взаимодействующих с системой на ее границе.

Благодаря достижениям современных инфокоммуникационных технологий резко возросли возможности и число потенциальных пользователей информационными услугами предоставляемыми региональной системой пассажирских перевозок. Подходы к созданию систем централизованного управления НГПТ и ее основных модулей (например, системы комплексного мониторинга) основываются на принципе технической и программной модернизации действующих транспортных систем, который предполагает сохранение основной базы АТС, используемых для перевозки пассажиров в процессе внедрения автоматизированного управления и комплексного мониторинга (переходный период).

Отсюда следует необходимость создания в каждом крупном регионе собственной программы перехода на современные принципы управления (дорожной карты), учитывающей текущее состояние, экономическую и географическую специфику и поставленную цель. Архитектура используемых систем формирует общее комплексное представление о структуре объектов и субъектов систем мониторинга и централизованного управления НГПТ. В архитектуре учитываются, как правило, два главных объекта – транспортное средство и инфраструктура, а также, среда поддержания их коммуникативного взаимодействия: прямого (через каналы связевого взаимодействия) и опосредованного (через средства влияния: технические средства и технологии, ориентированные на информирование транспортного потока). Особенности подходов к формированию ИТС в США и Европе представлены на рисунке 1.8 (а и б) [45, 46].



Рисунок 1.8 (а) - Особенности подходов к формированию ИТС в США и Европе

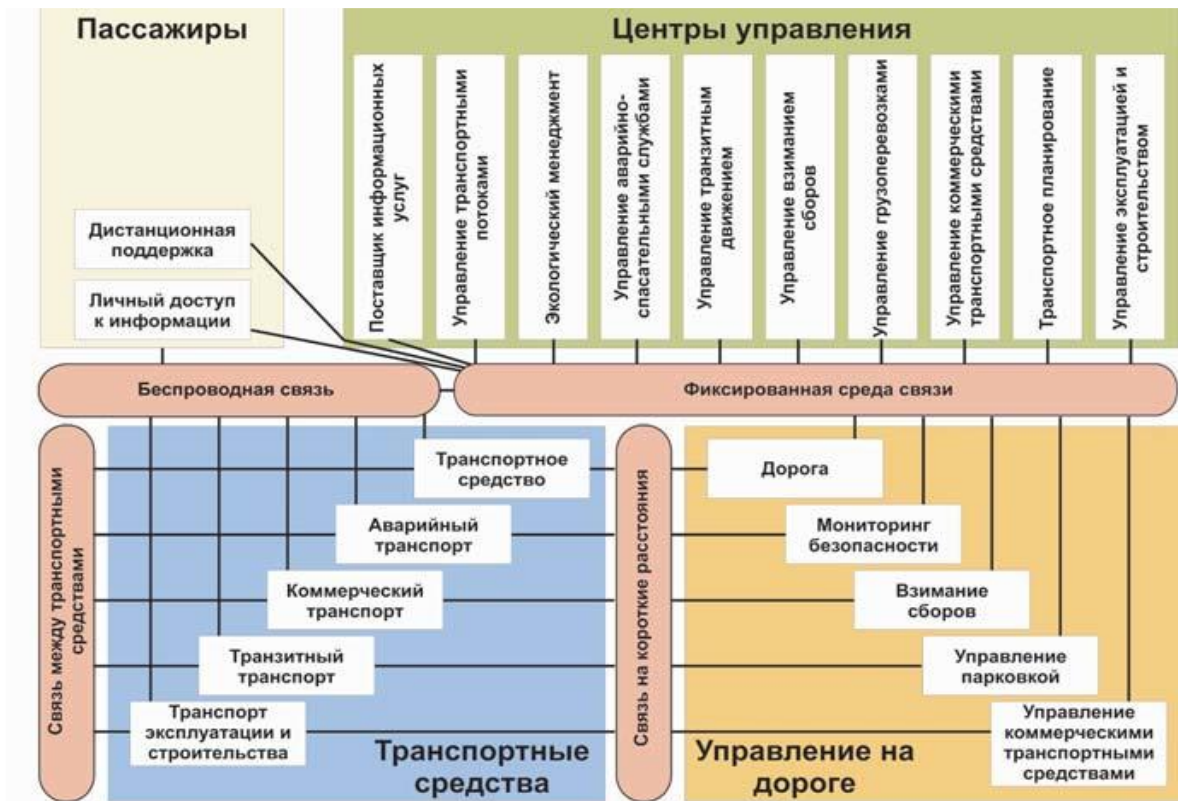


Рисунок 1.8 (б) - Особенности подходов к формированию ИТС в США и Европе

Системы мониторинга и централизованного управления НГПТ используются в Евросоюзе, США, Японии, Китае и др. государствах [47]. Практически все крупнейшие производители пассажирского транспорта оборудуют транспортные средства бортовыми датчиками и системами контроля параметров транспортного средства. В последнее время стали интенсивно внедряться интеллектуальные периферийные устройства, которые обеспечивают сбор и первичную обработку собираемых бортовыми датчиками данных и передачу их в телематическом режиме на процессинговый центр. Практически во всех мегаполисах и крупных регионах имеются собственные центры обработки данных и поддержки принятия решений, разработаны и внедрены системы национальных стандартов и другая нормативно-правовая документация, обеспечивающая функционирование системы комплексного мониторинга и автоматизированного управления в рамках правового поля. В каждом регионе разрабатывается собственная система управления транспортом, основанная на единых стандартах и моделях разработки локальных архитектур (рисунок 1.9).



Рисунок 1.9 - Модель разработки локальных архитектур ИТС

Во всех технологически развитых странах имеются нормативно-техническая база, обеспечивающая высокий уровень унификации и совместимости программно-технических решений и стандартизацию методов измерения и контроля.

Проведенный анализ традиционных и перспективных методов управления ТПН показывает, что начавшаяся в 90-е годы научно техническая революция, связанная с внедрением инфокоммуникационных технологий в транспортной отрасли, к настоящему времени привела к коренному изменению технологии управления транспортными системами, а автоматизированные интеллектуальные системы управления транспортными системами и средствами стали использоваться

практически в каждом регионе и крупном городе. В странах ЕС также, как и в РФ НГПТ испытывает сильную конкуренцию со стороны частного автомобильного транспорта и, как правило, менее загружен. Этот фактор особенно проявляется в междугородних и межрегиональных перевозках. И вместе с высоким качеством дорог и культурой вождения обеспечивает высокую точность передвижения на маршрутах, управляемость, безопасность и комфортность для пассажиров. Внутри плотно населенных городов и мегаполисов движение НГПТ по выделенным полосам создает ему также безусловное конкурентное преимущество перед частным транспортом и обеспечивает регулярный и стабильный пассажиропоток. Благодаря указанным обстоятельствам, НГПТ в Евросоюзе становится все более популярным, а, в сочетании со скоростным ж/д транспортом и малобюджетными авиаперевозками, стал популярным на междугородних и даже на международных маршрутах.

Во всем мире имеется тенденция к внедрению инновационных технологий в сфере систем мониторинга и централизованного управления НПТ (аппаратно-программное обеспечение, связь, позиционирование и т.д.). Развитие технологии управления пассажирским транспортом во всех развитых и густонаселенных странах движется в сторону широкого использования современных инфокоммуникационных телематических технологий, интеллектуальных алгоритмов и устройств, установленных на транспортных средствах и дорогах. Наметилась явная тенденция ко все большему увеличению оцениваемых в процессе мониторинга параметров состояния объектов пассажирской транспортной системы, увеличению объемов перерабатываемой информации в периферийном устройстве, устанавливаемом на транспортном средстве или дороге, автоматическому распределению полученной информации диспетчерам, водителям, пассажирам, автоматическим системам управления движением и другим участникам процесса управления. Практически, сформировалась новая отрасль – интеллектуальные системы управления пассажирским транспортом, интегрированные в общую систему управления движением всех видов транспортных средств.

Выводы по первой главе

Выполненный в первой главе анализ состояния пассажирских автобусных перевозок в РФ и перспектив преобразования их в цифровые транспортные экосистемы показал:

1. Основной негативной тенденцией, характеризующей общее состояние автобусных пассажирских перевозок в РФ как неэффективное, является постоянное снижение количества перевозимых пассажиров и выполненных пассажира-километров. В силу этого, проблема качественного и своевременного удовлетворения спроса на автобусные перевозки преобразуется из локальной транспортной в общую социальную проблему, определяющую отношение основной массы населения в РФ не только к качеству оказываемых транспортных услуг, но и в целом к ситуации, складывающейся в обществе.
2. Основной системной проблемой работы НГПТ является низкое качество транспортного обслуживания населения: несоблюдение расписания движения, высокая наполняемость подвижного состава, низкая скоростью и значительные интервалы движения автобусов на маршрутах и т.д.

Выявлено, что существующая система получения исходных данных для формирования маршрутной сети НГПТ опирается на фактическое отсутствие достоверных данных о ТПН в РФ, а методология определения среднего расстояния транспортной корреспонденции базируется на приближенных методах расчёта, что в совокупности не позволяет получать достоверные данные, необходимые для определения стохастических законов распределения и мощности пассажиропотоков в городах РФ.

Определено, что перечисленные выше характерные проблемы НГПТ свидетельствуют об огромном количестве факторов различных по «природе» и динамически изменяющихся по времени позволяют отнести её к сложным системам. Поэтому методы формирования маршрутной сети НГПТ должны

основываться на моделях принятия решения в информационных ситуациях, характеризующихся как ситуации с неопределенным состоянием среды исследования. В этом случае для выявления объективных данных о мощности пассажиропотоков необходимо использовать современные цифровые ресурсы, позволяющие производить «он-лайн» мониторинг ТПН.

Обоснована тенденция к увеличению оцениваемых в процессе мониторинга параметров состояния объектов пассажирской транспортной системы, увеличению объемов перерабатываемой информации в устройствах, устанавливаемых на транспортном средстве или дороге, автоматическому распределению полученной информации диспетчерам, водителям, пассажирам, автоматическим системам управления движением и другим участникам процесса управления. Поэтому единственным путем эффективного развития НГПТ в РФ является формирование новой отрасли – интеллектуальные системы управления НГПТ, интегрированные в цифровые транспортные экосистемы.

2 РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ МЕТОДИКИ ФОРМИРОВАНИЯ АВТОБУСНЫХ МАРШРУТОВ В ЦИФРОВЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

2.1 Обоснование выбора методов и моделей управления в цифровых транспортных экосистемах

Ключевым вопросом повышения эффективности в любой системе является вопросы выбора модели управления или метода оценки эффективности предпринимаемых действий. Но при принятии решения о целесообразности применения того или иного метода определения эффективный действий в сложных цифровых транспортных экосистемах НГПТ (ЦТЭС НГПТ) необходимо определить к какому классу сложности относится исследуемая система и какой научное направление в большей степени соответствует данному классу систем. Этапной работой в области развития теории сложных систем (ТСС) считается исследование Hiroki Sayama [48], согласно данной работе ТСС объединяет целый научных направлений, включая и общую теорию систем (ОТС). Таким образом ТСС является более общей по отношению к ОТС и классическому системному анализу. Структура ТСС согласно [48] приведена на рисунке 2.1.



Рисунок 2.1 - Структура теории сложных систем

В структуру ТСС включаются элементы эмерджентизма [49] и вопросы самоорганизации [50], далее определяется, что ТСС тесно связана с теорией игр, теорией коллективного поведения, теорией распределенных систем (систем массового обслуживания), теорией нелинейной динамики, структурным моделированием и т.д. В нашем понимании **в данной структуре ТСС отсутствует такой важный элемент, как теория «игр с природой», когда под природой понимается природа факторов поведения внешней среды исследования [51].** Между тем необходимость включения теории игр с природой в ТСС вполне объяснима тем, что именно это направление исследует надежность и восприимчивость сложной системы к проявлениям внешней среды, а сам автор ТСС [52] дает характеристику модели сложной системе, как «восприимчивой, валидной и надежной» и отмечает, что именно данные важные характеристики отсутствуют в классической ОТС. «Восприимчивость» определяется как когнитивный фактор [53] и его иногда заменяют термином «упрощение». Но «упрощение» — это условное понятие, зависящее от целеполагания в системе. «Валидность» в моделях сложной систем – это качество соответствия полученного информационного состояния спрогнозированному поведению сложной системы и согласованности ее с реальным поведением. Под «надежностью» модели сложной системы определяется ее чувствительность к воздействиям внешней среды. Иными словами, области решений в системе должны быть устойчивыми на некотором спектре внешних возмущений. Теория динамических систем (ДС) сегодня занимает особое место в ТСС исходя из её определения. ДС – это система, состояние которой определяется набором предопределенных законов целенаправленного изменения параметров системы. [54]. Данное определение нельзя считать всеобъемлющим, но оно отражает основной принцип развития ДС. Естественно, что помимо целенаправленных действий ДС могут эволюционировать за счет собственной самоорганизации, но следует помнить, что самоорганизация как свойство сложной системы исключает из числа сложных систем жёстко детерминированные или технические системы. На рисунке 2.2 приведена ориентировочная структуризация сложных систем [55].

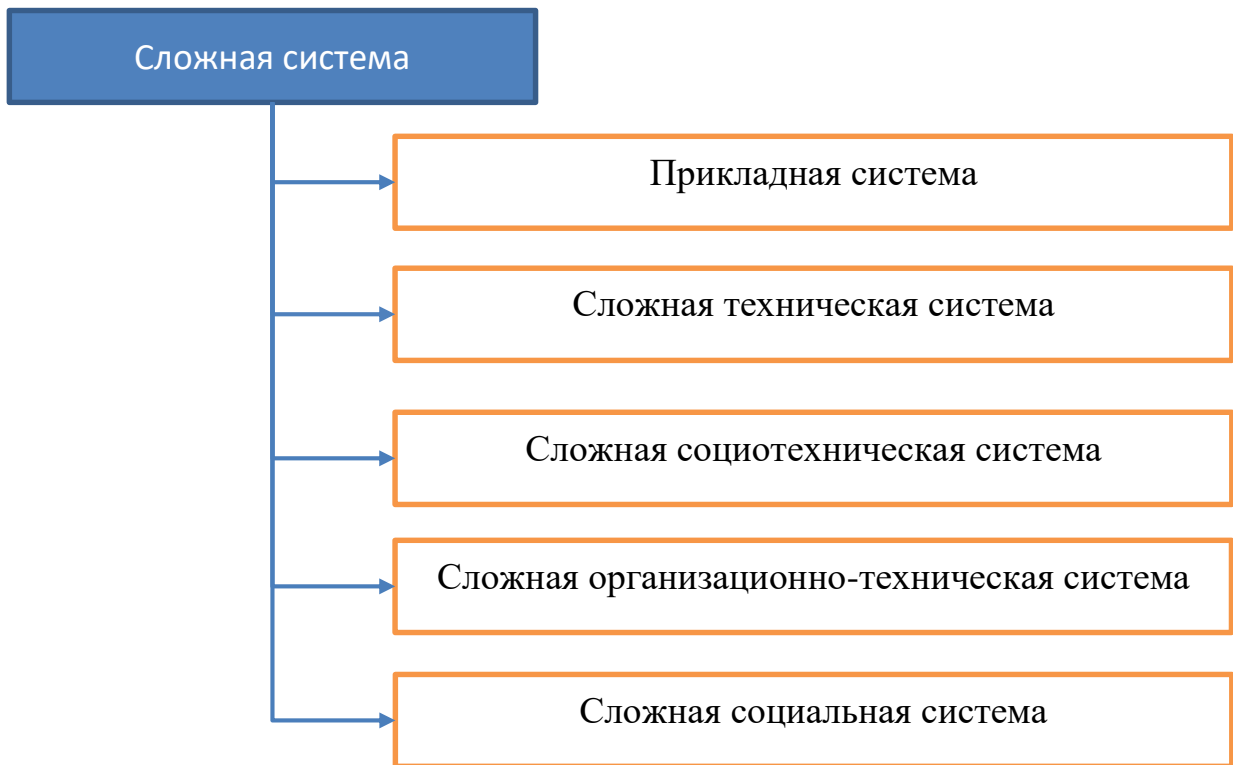


Рисунок 2.2 - Примерная структуризация сложных систем [55]

ЦТЭС обладает всеми обязательными признаками для любой сложной системы, такими как большое количество связей и элементов и т.д. ЦТЭС также, как и социотехнические системы, организационно-технические системы, организационно-технологические системы и сложные социальные системы [56] относятся к сложным по всем критериям ОТС и ТСС. Как любая сложная система ЦТЭС требует умения обработки «больших данных» [57], определяемого наличием большого информационного объема обрабатываемых данных.

Поэтому при формировании модели и методов управления в ЦТЭС НППТ необходимо:

1. Обеспечить простату представления ЦТЭС НППТ при сохранении доминирующих признаков, то есть найти компромисс между описанием сложности и простотой моделирования.
2. Формализовать сложность ЦТЭС НППТ в рамках теории, которая имеет средства для описания сложности системы, опираясь на информационные

состояния системы, которые в свою очередь определяются возможными внутренними и внешними возмущениями.

3. Выбрать критерии делимости ЦТЭС НГПТ, учитывающие гетерогенность элементов системы [58].
4. Разработать инструменты управления и оптимизации функционирования в ЦТЭС НГПТ с учётом потенциальных возможностей цифровых технологий на основе адаптации существующих методов теории принятия к условиям работы ЦТЭС НГПТ. Особенно это важно для процессов управления, так как уровень их сложности постоянно возрастает и это требует использования новых моделей управления, основанных на ТСС.

Отметим важным условие: **модель управления ЦТЭС НГПТ должна быть адаптивна к динамически изменяемому и нестабильному состоянию пассажиропотоков, определяемую повышенной мобильностью населения в условиях активного развития региональной, глобальной транспортной инфраструктуры и информационно-коммуникационных технологий.** Основным принципом перехода к новому качеству ЦТЭС является коренное изменение в целеполагании системы. Сегодня общее целевое состояние системы должно определяться интегрированием целей отдельных объектов перемещения – пассажиров. Именно пассажир должен определять уровень качества предоставления услуг в системе (сервиса), который ему окажут в процессе поездки и иметь возможность влиять на него. До настоящего времени управление транспортной системой строилось на устаревших представлениях об объекте управления – транспортном потоке, как результат, усреднённый уровень сервиса. В качестве объекта управления, транспортный поток обладает следующими основными негативными свойствами: нестационарность (суточная, недельная и сезонная неравномерность); стохастичность (различия в целях у участников движения и их поведении); взаимосвязанность (наличие внутренних зависимостей между параметрами потоков); инерционность (недостаточная управляемость). Для того, чтобы эффективно управлять таким нестабильным объектом как транспортный поток ЦТ позволяют выработать сегодня подходы.

Цифровые системы управления прошли путь развития от локального жесткого однопрограммного регулирования на отдельных участках транспортной сети до автоматизированных систем управления (АСУ) [59,60,61]. При проектировании АСУ определена тенденция перехода к так называемому «активному управлению» (Active Traffic Management) [62] и [63], когда отдельные элементы системы начинают на основе поступающей информации вырабатывать управляющие воздействия в интересах всей системы в целом. То есть понятие объект управления переносится с обобщённого или совокупного транспортного потока к отдельному элементу управления: отдельное транспортное средство, отдельный пассажир [64]. Поэтому, идеологией концепции формирования нового качества пассажирской ТС является переход на пассажиро-ориентированные модели управления. Инструментом реализации данного подхода является применение механизмов синхронной (комплексной) оптимизации параметров пассажирских перевозок на базе внедрения информационно-коммуникационных технологий для мультимодальных сервисов по принципу MaaS (Mobility as a Service) [65,66].

Сегодня технологии MaaS активно внедряются в «управление» транспортными системами во всем мире. Термин «управление» не случайно принят в кавычках, поскольку MaaS, сегодня, это в первую очередь информационная платформа, позволяющая повысить качество услуг, но не реструктуризирующая качество системы. Технологии MaaS сегодня применяются только для более эффективного использования ресурсов «старых» систем, но при этом имеют огромный потенциал и могут служить информационной базой, позволяющей преобразовать механизмы управления в ПТС, сделать их «активными». «Активное управление» предполагает более интенсивное воздействие на поведение транспортных потоков на основе моделирования и предсказания изменения его параметров исходя из понимания интересов отдельных его участников, что требует полной интеграции всех систем управления мобильностью. Результат зависит не только от применения революционных ЦТ, но в большей степени от уровня аналитического описания объектов, их свойств в виде операций над объектами.

При этом критериев предпочтений пассажира в поездке, которые должен иметь возможность выбирать пассажир и на основании которых предлагаются варианты построения маршрута достаточно много: наличие средств обслуживания маломобильных пассажиров; скорость поездки; ценовая категория; уровень обслуживания; комфортность; безопасность; количество пересадок и т.д.

Таким образом, информационная интеграция компонентов пассажирской ТС (отдельных пассажиров, перевозчиков, транспортных средств) и элементами инфраструктур (остановки, вокзалы, отдельные станции и т.д.) должна осуществляться посредством технологий МaaS, а завершённый процесс управления в ЦТЭС НГПТ должен осуществляться за счёт:

- **формирования моделицентричной системы на базе создания единой коммуникационной сети управления информационными потоками;**
- **разработки и применения объектно-ориентированных моделей управления перемещения физическими объектами (пассажирами) в ЦТЭС НГПТ, формирующих оптимальные траектории перемещения последних;**
- **определения мощности объектов инфраструктуры ЦТЭС НГПТ, парков транспортных средств и т.д., исходя из полученной совокупности оптимальных траекторий перемещений отдельных пассажиров;**
- **разработки математических алгоритмов поддержки отношения целостности между объектами ЦТЭС НГПТ.**

Можно сделать вывод о необходимости глубокой перестройки структуры организации и управления региональными и муниципальными пассажирскими перевозками с учетом новых технологий, основанных на принципах цифровой трансформации, а не постепенная модернизация существующих решений, которая требует больших затрат на всех стадиях от разработки до эксплуатации и снижает показатели качества, экономические показатели, безопасность и другие параметры эффективности функционирования системы перевозок.

2.2 Технологические инструменты цифровой трансформации в пассажирских транспортных системах

Основными организационными инструментами цифровой трансформации в пассажирских транспортных системах являются - «цифровых сервисы» (ЦС), каждый из которых технологически реализуется в функциональных аппаратно-программных и программных модулях (АПМ и ПМ). Особенности применения ЦТ объясняются рядом преимуществ свойств информации, преобразованной в цифровом формат:

- 1) возможность передачи кодированной информации с использованием различных материальных носителей;
- 2) возможность распространять информацию посредством копирования без потери ее качества и точности;
- 3) возможность многократного увеличения скорости передачи информации за счёт увеличения плотности записи и т.д.

Развитие цифровых форматов записи больших объёмов данных и качественные преобразования в процессе передаче информации обусловили появление нового научного направления «digital economics» [67].

В настоящее время появилось множество определений «цифровая экономика». Большинство из них опираются на активное внедрение возможностей интернета, мобильных сетей доступа к информации, а также возможности работы в онлайн-режиме, что позволят вводить в практику электронного документооборота, создавать новые бизнес-модели, реструктурировать механизмы взаимодействия рынков и потребителей и т.д. Анализ данных подходов к определению «цифровой экономики» показывает, что причисленные нововведения (инновации) это лишь результат процесса «цифровизации», каждый из которых выделяет и подчеркивает ее существенные преимущества.

Впервые термин «цифровизация» был введен американским учёным Николасом Негропonte из Массачусетского университета в 1995 г. [68], однако

процессы цифровизации информации и обработки данных в новом формате активно использовались, например, в США еще в 50-е годы прошлого века, по крайней мере в экономике [69, 70]. Но главным содержанием понятия «цифровая экономика» является определение её, как новой система социальных отношений [71], охватывающая всю сферу общественной жизни людей: науку, производство, транспорт, менеджмент и т.д. Основными признаками новой социально-экономической системы, отражающими её специфику, являются:

- 1) Возможность обработки огромного количества данных, которые генерируются в используемых информационных системах и преобразуются в новую полезную информацию, применяемую для ускоренного экономического развития, повышение конкурентоспособности и т.д. эффективности становится жизненной необходимостью
- 2) Активное использование инновационных цифровых ИКТ, современных электронных каналов связи на базе мобильных носителей информации на создание новых видов управления, новых бизнес-моделей, реструктуризирующих взаимоотношения рынков и потребителей;
- 3) Использование эффективных, специально разрабатываемых под новые задачи и условия применения математических методов и моделей переработки информации, основанных на возможности обработки цифровой формы информации (цифрового кодирования данных);
- 4) Создание и применение новых информационно-аналитических платформ, специализированных на отдельных отраслях экономики, но способных активно (проактивно) взаимодействовать с внешней средой в режиме онлайн мониторинга информационных ситуаций.

Повышение эффективности регионального и муниципального пассажирского транспорта, комфорта и безопасности перевозок может быть достигнуто за счет использования принципов цифровой трансформации технологических и управленческих процессов. Из типового набора цифровых сервисов и АПМ, формируется цифровая платформа, к которой подключаются региональные системы обеспечения мобильности населения, мобильные и

внешние сервисы. Так формируется экосистема (рисунок 2.3) в центре которой пассажиры, вокруг которых объединяются различные сервисы, обеспечивающие базовые целевые функции (комфорт, безопасность и эффективность)



Рисунок 2.3 - Цифровая платформа для экосистемы региональной мобильности

Традиционные представления рассматривают отдельно транспортные и пассажирские потоки, дорожную инфраструктуру, качество перевозки пассажиров (удовлетворенность), автотранспортные предприятия и другие объекты, играющие активную роль в формировании экосистемы перевозок. Новые возможности в организации и управлении пассажирскими перевозками стали возможными, благодаря быстрому развитию и внедрению цифровых информационных технологий. На начальном этапе разработки каждого сервиса описываются целевые состояния.

Современный подход к обеспечению транспортной мобильности граждан предусматривает, что во главе целевого состояния стоит человек, вокруг которого выстраиваются все сервисы, обеспечивающие его перевозку из точки (А) до точки (В). При переходе на уровень операторов, обеспечивающих перевозку пассажиров, необходимо рассматривать процесс как задачу перевозки группы граждан, которых

необходимо переместить из окрестности точек, близких к точке А, в окрестность точек, близких к точке В. Близость понимается в математическом смысле в пространстве-времени (то есть, учитывает совпадение с некоторым допуском позиционирования и времени нахождения пассажиров). В общей постановке задачи, необходимо еще учитывать и точку С пересадки, а также, время перемещения пассажира при пересадке с одного вида транспорта на другой. В текущей ситуации, когда планирование маршрутов учитывает только маршруты с заданной траекторией и расписанием, учет пересадки заключается, в основном, в синхронизации времени прибытия в точку пересадки с временем отправления из точки пересадки и оценка рисков опозданий и необходимости изменения плана поездки.

В ситуации с использованием МaaS технологий и комбинации транспортных средств с фиксированным и свободным графиком движения, задача существенно изменяется и ее решение требует новых подходов, в которых особенно важно учесть и региональную специфику. Особенности МaaS технологии диктуют внедрение новых методов управления и регулирования перевозок на основе ЦС. Существенно может измениться структура процессов в автотранспортных предприятиях, для которых оптимизация движения транспортных средств приведет к необходимости реорганизации автопарков. Становится очевидным усиление функциональной роли оператора, который обеспечивает информационное взаимодействие, планирование, учет выполнения объемов транспортной работы, учет предложений и жалоб от пассажиров, контроль технологических процессов на всех уровнях и другие. В функции оператора входят: принятие управленческих решений на операционном и среднесрочном уровне, подготовка предложений в ИОГВ о принятии стратегических управленческих решений. Таким образом, целевые функции всех участников, обеспечивающих перевозку (перевозчиков, операторов системы перевозок и объектов дорожно-транспортной инфраструктуры, регуляторов, партнеров по финансовым услугам и др.) должны быть направлены на максимальное удовлетворение граждан и связаны с целевыми функциями сервисов пассажира.

Именно это является специфической особенностью применения ЦС: пассажиры формулируют требования к своей поездке и, как следствие, процесс оказания услуг перевозки должен гибко изменяться в зависимости от пожеланий пассажира и с учетом других обстоятельств.

Идеология ЦТЭС основана на представлении моделируемой системы, как набора цифровых сервисов, которые объединяются в различных комбинациях для обеспечения целевых функций. ЦС ориентирован на одного или нескольких участников и/или внешних партнеров и состоит из функциональных сервисных модулей, которые используются в различных цифровых сервисах. Разделение на цифровые сервисы и модули, в значительной степени условно, но позволяет создать «гибкий конструктор» для проектирования системы региональных пассажирских перевозок.

Разрабатываемая экосистема основана на принципах открытой архитектуры и обеспечивает подключение широкого набора специальных транспортных и сопутствующих сервисов. Методология проектирования основана на циклической модели, предусматривающей поэтапную разработку и внедрение ЦС в определенном порядке от функций обеспечения пассажира (G2C, B2C) до функций обеспечения перевозчиков и государственных структур, участвующих в регулировании процесса перевозок (G2B). Практически параллельно с небольшой задержкой по времени проводится пилотирование выполненных на предыдущих этапах сервисах и их внедрение в эксплуатацию. Такой подход обеспечивает непрерывность разработки, переходный период от предыдущего поколения системы перевозки к новой организационно-технологической схеме, возможность в процессе проектирования получать обратную связь от пользователей. Фактически возникает непрерывный процесс модернизации системы в течение всего жизненного цикла, что существенно продлевает его и повышает экономическую эффективность. Возможность экспериментальной отработки новых решений в реальной среде особенно важна, с точки зрения учета мнений пассажиров и эксплуатационников, позволяет обеспечить такой важный показатель как удовлетворенность граждан.

Успех рассматриваемой концепции и методик на её основе в большой степени определяется уровнем аналитического описания объектов, их свойств в виде критериев и отношений между ними в виде целеполагания и способов их взаимодействия (методов) в виде операций над объектами. При этом критериев предпочтений пассажира в поездке, которые должен иметь возможность выбирать пассажир и на основании которых предлагаются варианты построения маршрута, достаточно много: наличие средств обслуживания маломобильных пассажиров; скорость поездки; ценовая категория; уровень обслуживания; комфортность; безопасность; количество пересадок и т.д.

Технологическая архитектура цифровой платформы (рисунок 2.4) для обеспечения региональной транспортной мобильности населения иллюстрирует интеграционный подход к структуре системы перевозок.



Рисунок 2.4 - Технологическая архитектура Цифровой платформы

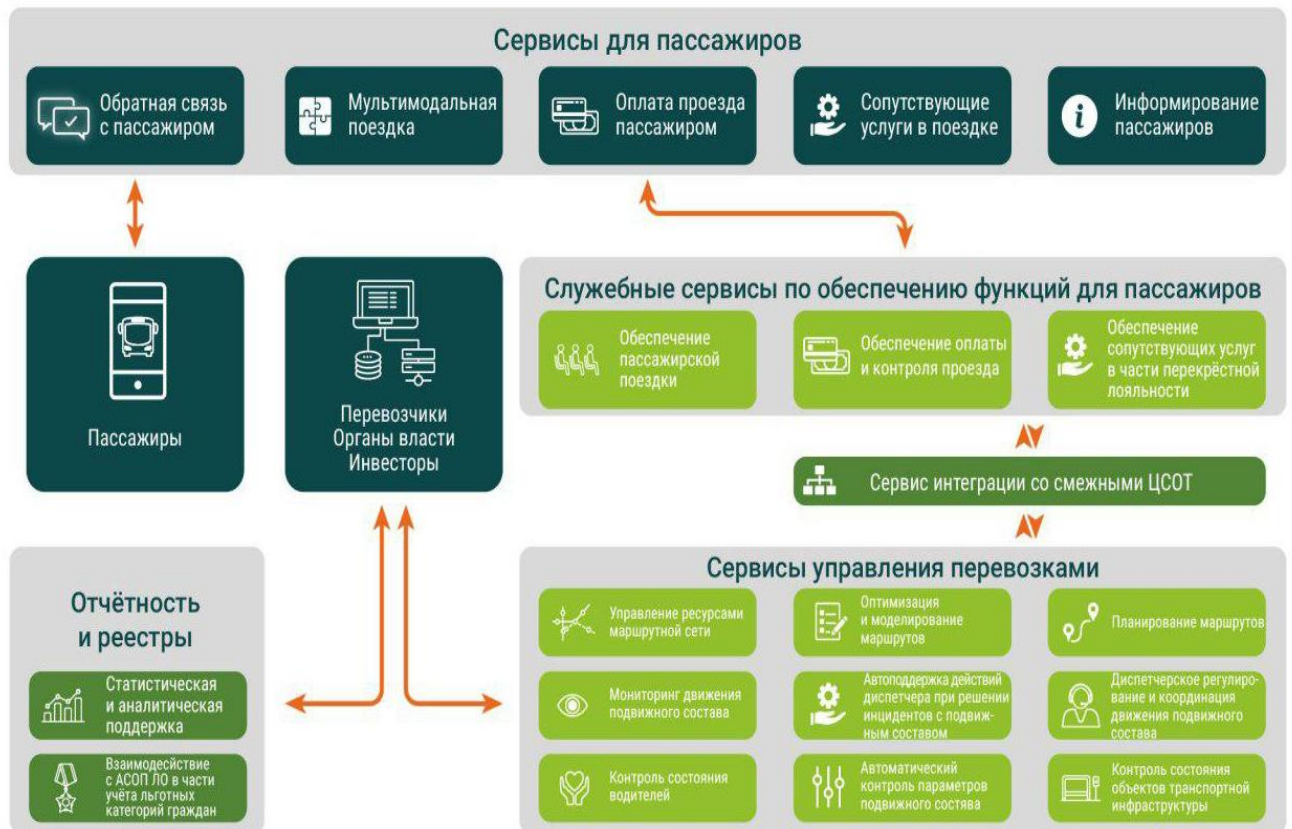


Рисунок 2.5 - Базовые сервисы для участников процесса перевозки

В структуре основных сервисов (рисунок 2.5) выделяются общие сервисы, составляющие ядро платформы. Это сервисы, обеспечивающую регистрацию участников, администрирование, информационный обмен между участниками, интеллектуальную аналитику. Другие группы сервисов обеспечивают функционалы информационно-платежной системы и системы централизованного управления перевозками.

Рассматриваются три уровня иерархии управления: операционный, тактический и стратегический. При декомпозиции целей по уровням управления одним из ключевых требований является учет не только верхне-уровневых целей, но и требований внутренних элементов системы к рассматриваемому. Для каждого уровня управления выбираются 2...3 комплексных цели, характеризующие целевое состояние элемента выбранного уровня. Комплексные цели при этом являются зависимыми от целей более низкого уровня по установленным взаимосвязям.

В свою очередь, для полученных целей выбираются показатели, характеризующие степень ее достижения. На основании изложенного формулируется общий подход к выбору параметров мониторинга:

- определение круга заинтересованных в деятельности исследуемого объекта участников;
- определение интересов и мотивации заинтересованных участников;
- формирование системы взаимосвязанных целей на основе факторов мотивации заинтересованных сторон с учетом уровня;
- формирование комплексных целей.

Функциональная структура системы экосистемы пассажирского транспорта, содержит две базовых подсистемы, связанные внешними интерфейсами и образующие единую систему (рисунок 2.6):

- «автоматизированная система централизованного управления» – ЦУ РПТ (по схеме G2B или B2B), в которую входят подсистемы комплексного мониторинга и управления пассажирскими перевозками;
- «информационно-платежная система» – ИПС (по схеме B2C), которая обеспечивает информационное обслуживание всех участников и платежно-расчетные функции.



Рисунок 2.6 - Функциональная структура ЦТЭС

Функции государственного регулирования реализуются через исполнительные органы государственной власти (ИОГВ). Система информационного обмена обеспечивает функции оператора цифровых сервисов. Взаимодействие с внешними системами позволяет реализовать концепцию «интеллектуальной» транспортной системы (ИТС) в структуре так называемых «умных регионов». Типовые ЦС представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Цифровые сервисы

№	Цифровые сервисы	Пользователи
1	Мониторинг системы РПТ и отдельных составляющих	Перевозчики, оператор перевозок, ИОГВ
2	Оптимизация и моделирование маршрутов и расписаний	Перевозчики, оператор перевозок
5	Обеспечение действий диспетчеров	Оператор перевозок, перевозчики
6	Общее регулирование и координация маршрутного подвижного состава	Оператор перевозок
7	Предоставление данных для внешних ЦС и систем	Все участники
8	Статистическая и аналитическая поддержка	Все участники
9	Обеспечение пассажирской поездки	Пассажиры, перевозчики
10	Обеспечение расчета поездки в части немаршрутной ТС	Перевозчики (поставщики мобильности, немаршрутной)
11	Оплата проезда пассажиром	Пассажиры, перевозчики
12	Обеспечение процесса продажи билетов, оплаты проезда	Все участники
13	Взаимодействие с АСОП ЛО в части поездок льготных категорий граждан	ИОГВ, Оператор перевозок
14	Автоматический контроль параметров подвижного состава	Перевозчики
15	Контроль состояния объектов транспортной инфраструктуры	ИОГВ, Оператор перевозок
16	Сопутствующие услуги в поездке пассажира	Пассажиры
17	Автоматизированный контроль психо-физического состояния водителей ТС	Перевозчики
18	Обеспечение сопутствующих услуг в части перекрестной лояльности	Оператор перевозок, партнеры по услугам
19	Обратная связь с пассажиром	Все участники

Данный набор ЦС обеспечивают ЦУ и универсальный комплексный мониторинг основных параметров системы и отдельных модулей, информационно-платежные функции, а также аналитику для подготовки проектов управляющих решений, в т.ч. выявление рисков выхода из равновесного состояния и потери устойчивости, планирование маршрутов и расписаний, диспетчерское управление движением, формирование и синхронизацию мультимодальных поездок, которые осуществляются по принципу MaaS, анализ объемов транспортной работы перевозчиков и другие необходимые функции. ЦС рассчитаны на создание систем, каждая из которых реализуется на базе нескольких сервисов:

- автоматизированного управления транспортной системой с использованием принципов MaaS;
- оплаты проезда с учетом многозональных и мультимодальных перевозок;
- индивидуального планирования поездки для пассажира;
- организацию «гибких маршрутов» с использованием различных видов транспорта для перевозчиков;
- обеспечения синхронизации траекторий движения транспортных средств и пассажиров в транспортных пересадочных узлах;
- обеспечения информационного взаимодействия по единым требованиям и стандартам систем наземного транспорта, метро и пригородной Ж/Д, скоростного трамвайного сообщения и др.;
- обратной связи от пассажиров к центру принятия решений для быстрого и эффективного получения и передачи информации;
- информирования пассажиров (например, о времени прибытия ближайшего ТС, вариантов перемещения в пересадочных узлах и др.);
- регистрации и учета льгот, тарифных схем, бонусов и т.п.;
- конструирования тарифных планов (единые тарифы для всех видов наземного маршрутного транспорта и для мультимодальной поездки);
- оплаты проезда (мобильные коммуникаторы как базовый инструмент для оплаты, бесконтактные смарт-карты, автоматизированный учет наличных

Можно утверждать, что выбор ЦС (и, особенно, вариантов их использования) диктуется не только технологическими возможностями или сторонним опытом, но, в первую очередь, систематизированной полезностью и эффективностью для конкретных пользователей с учетом региональной специфики. Специфика ЦТЭС определяется многомерностью и разнородностью структуры, возможным многообразием природы элементов и связей в системе, разной чувствительностью к воздействиям и асимметричностью потенциальных возможностей осуществления функциональных и дисфункциональных изменений. При этом, каждый из элементов системы может быть также представлен в виде подсистемы, свойства которой являются частью свойств системы, причем допускается факторизация (деление на относительно независимые подсистемы). Учитывается, также и функционирование в условиях неопределённости и способность целенаправленного выбора алгоритма решения текущих задач. При выборе ЦС используются математические методы анализа и моделирования на основе решения многокритериальной задачи оптимизации [72,73,74,75]. Основные показатели, которые определяют эффективность системы и, по которым проводится оптимизация, следующие:

- экономическая эффективность (для перевозчиков и ИОГВ);
- комфортность перевозки, которая оценивается показателями удовлетворенности пользователей (пассажиров в первую очередь),
- среднее время в пути за сутки для пассажира;
- КРІ деятельности органов власти и их подведомственных структур.

Применяемые в ЦТЭС методы оптимизации системы по перечисленным показателям обеспечивают, как минимум:

- оценку полноты и достоверности доступной информации;
- анализ исходных требований, которые отражают запросы пользователей и цели заинтересованных сторон;
- анализ решений, отражающих поведение системы, которые должны соответствовать целевым функциям участников системы;
- создание исполняемых моделей для обеспечения работы системы.

ЦС, обеспечивающие целевые функции системы, реализуются с помощью аппаратно-программных модулей (АПМ). Другими словами, между множеством используемых ЦС и множеством АПМ в процессе проектирования устанавливается отображение, которое позволяет выбранному при проектировании набору ЦС поставить в соответствие определенный набор АПМ (таблица 2.2), через которые сервисы доставляются до пользователей через общедоступные и специальные телекоммуникационные каналы связи.

Таблица 1.2 - Аппаратно-программные модули (АПМ)

№	Наименование АПМ	Применение
1	Модуль отображения диспетчера	Отображение ситуаций в диспетчерских центрах
2	Модуль отображения для пассажира	Информирование пассажиров
3	Мобильное приложение или мессенджеры	Планирование, оплата, информирование (на смартфоне, планшете или другом специальном мобильном устройстве пользователя)
4	Интернет-портал или сайт	Доступ к информационным ресурсам и административным функциям системы (персональный компьютер с доступом в Интернет)
5	Внутрисистемный АРМ	Служебные функции для рабочих мест персонала
6	Интерфейс межсистемного взаимодействия	Мобильная общедоступная связь, специальная связь (для телематики и специальных целей)
7	Специальные мобильные приложения	На смартфонах и мобильных устройствах (для персонала поставщиков мобильности, других участников системы перевозки)
8	Программный интерфейс для web-доступа	Для всех участников

Важным компонентом, влияющим на эффективность системы, является методика выбора аппаратной составляющей, которая является важной частью методологии разработки. Каждый АПМ имеет встроенное ПО, которое обеспечивает реализацию алгоритмов его функционирования, а в соединении с

другими модулями обеспечивает целевые функции системы обеспечения региональной транспортной мобильности. В частности, важным элементом рекомендаций по выбору АПМ является концепция перехода от специализированных аппаратных решений бортового оборудования пассажирского транспортного средства (валидаторы, активаторы, ридеры, трекеры и т.п.), которые используются в настоящее время, к серийно и массово выпускаемым мобильным устройствам, преимущественно находящимся в личном пользовании пассажира. Этим достигается снижение инвестиционных и эксплуатационных расходов, появляются дополнительные возможности автоматического онлайн построения матриц пассажирских корреспонденций, необходимых для оперативной корректировки и планирования маршрутов, информирования пассажира, оценки объема и качества транспортной работы по объективным показателям датчиков, которыми снабжены все современные мобильные устройства и личных оценок пассажира (реализация обратной связи от потребителя). Использование аппаратных решений массового производства позволяет легко конструировать региональную муниципальную систему обеспечения мобильности населения с минимальными ресурсными и временными затратами.

Математические алгоритмы мониторинга состояния ЦТЭС позволяют использовать различную технологическую реализацию. В зависимости от области деятельности, мониторинг параметров может быть или полностью автоматическим, полуавтоматизированным или ручным. Наиболее общими модулями системы, поддерживающей универсальную модель мониторинга (рисунок 2.7), являются:

- измерительные устройства низкоуровневых параметров;
- модуль ввода информации (устройство измерения параметров и ввода информации иногда целесообразно объединять);
- модуль обработки и анализа информации;
- модуль хранения данных;
- модуль вывода аналитической информации.

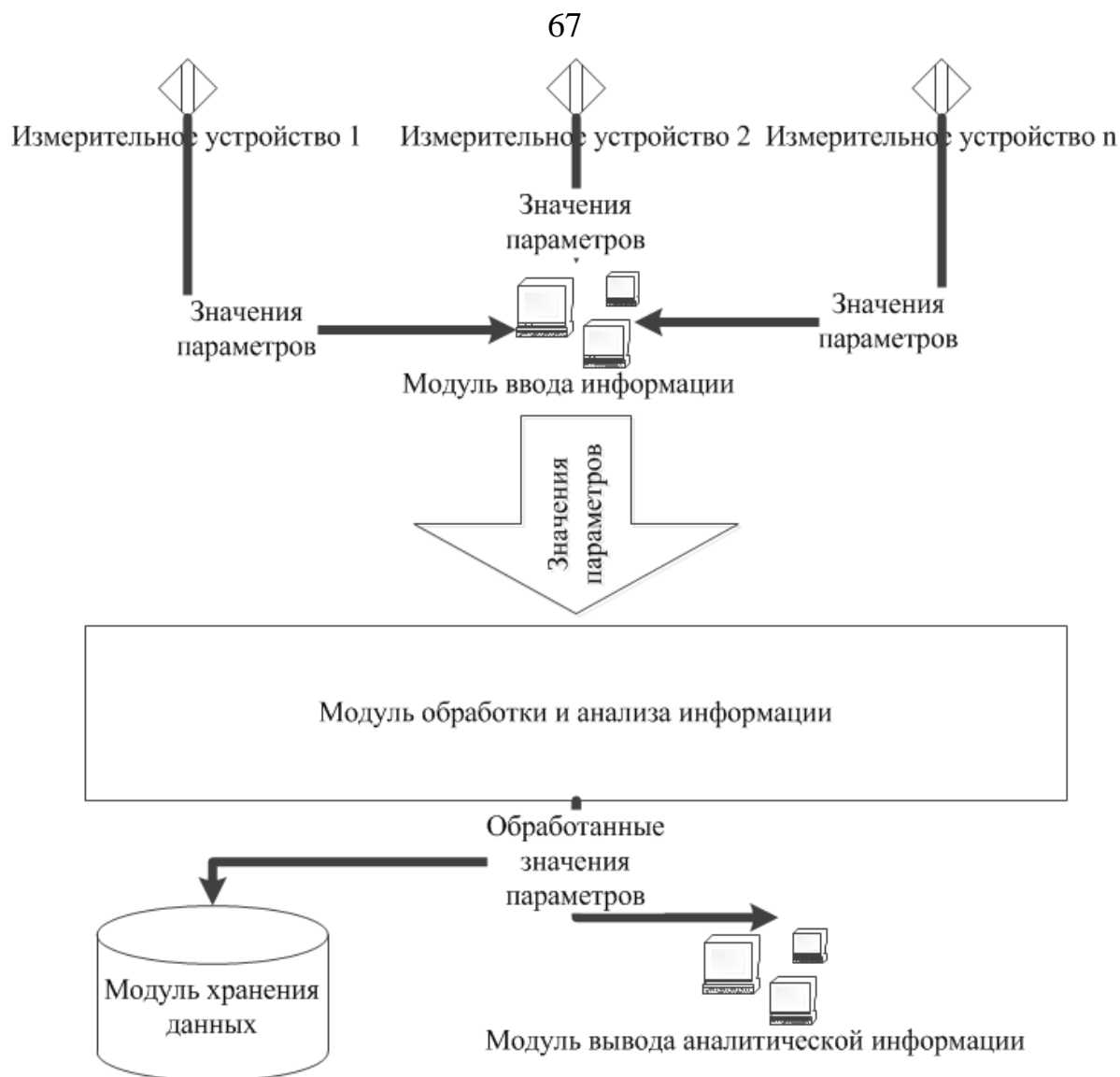


Рисунок 2.7 - Концептуальная архитектура системы мониторинга в ЦТЭС

Рассмотренная модель универсального мониторинга может быть применена практически ко всем системам и модулям НГПТ. Важным достоинством предложенной методологии является учет трудно формализуемых параметров, связанных с человеческим фактором. При этом, количество параметров мониторинга сведено к минимуму. Полученные в ходе мониторинга данные позволяют с высокой точностью оценивать текущее состояние и прогнозировать состояние транспортной системы на некоторое время вперед, с учетом социальных и экономических факторов и принимать эффективные управленческие решения.

2.3 Разработка аналитической модели построения автобусных маршрутов в сложной транспортной экосистеме

Теория, методы и технологии оптимизации и управления динамическими системами является актуальнейшим направлением исследований в современной теории управления. В докладе РАН Правительству Российской Федерации о ходе реализации программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы в 2019 году прямо указывается: «Разработка теории, методов и технологий оптимизации и управления динамическими системами предполагает создание теории, методов и технологий обеспечивающих требуемое качество функционирования сложных систем управления (оптимальность, устойчивость, функциональную и эксплуатационную надёжность, работоспособность, отказоустойчивость и живучесть) в условиях ограниченности ресурсов управления; противодействия; недостаточной априорной информации об объекте управления и среде функционирования; большого количества разнородных и трудно учитываемых факторов нестационарности детерминированной, стохастической и субъективной природы; значительных объёмов существенной неструктурированной информации, поступающей и обрабатываемой в реальном масштабе времени; деградации (отказов аварий) и или необходимости реконфигурации объекта и системы управления с приложениями к перспективным и совершенствуемым интеллектуальным системам навигации и управления объектами различного масштаба и назначения в разных физических средах и в таких отраслях, как авиационные, космические, наземные, морские и другие подвижные объекты» [79].

Аналитическая модель построения автобусных маршрутов в сложной транспортной экосистеме является основным элементом в концепции развития ЦТЭС. При общем рассмотрении вопросов сложного взаимодействия объектов в некоторой сети, необходимо разрабатывать алгоритмы, которые способны поддерживать отношения целостности между объектами.

Применяемая в настоящее время система управления автобусными перевозками и построения расписаний движения основаны на реляционном принципе реализующим предметно-ориентированный подход (ПОП), когда средствами взаимодействия являются таблицы или хранимые процедуры. На данном принципе базируются модели формирования маршрутной сети движения автобусов. В этом случае управление осуществляется через определение свойств системы по накопленным статистическим данным, носящим стохастический характер. Основными недостатками ПОП модели является структура системы, приводящая к невозможности полноценно или достоверно отслеживать все необходимые места и процедуры для реализации изменений, а сам процесс развития системы преобразуется в плохо управляемый или неуправляемый. Альтернативой такому подходу является ООП. Рассмотрим концепцию объектно-ориентированной модели управления в ЦТЭС. При этом управление в ЦТЭС должно:

- формировать модели пассажиропотоков с учетом инфраструктуры маршрутной сети в границах исследуемой или проектируемой системы;
- оптимизировать движения партий пассажиров (автобусов) по ряду заданных критериев эффективности;
- вырабатывать оптимальные траектории автобусов с помощью методов аналитического моделирования;
- определять требуемые мощности элементов маршрутной сети.

В качестве аналитической модели, позволяющей обоснованно формировать ЦТЭС рассмотрим модели динамических систем и методы многокритериальной оптимизации [80, 81]. Переход на объектно-ориентированные модели управления требует пересмотра понятия «объект управления» и «субъектное взаимодействие в транспортных системах». Это повлечет за собой закономерные изменения в традиционной структуре организации маршрутов движения автобусов. В таблице 2.3 приведен актуальный классификатор методов организации маршрутов пассажирских перевозок.

Таблица - 2.3 Актуальный классификатор методов организации маршрутов пассажирских перевозок.

Тип маршрута	Требование идентификации пассажира при оформлении проездного документа	Требование идентификации маршрута при оформлении договора на перевозку	Требование идентификации АТС при оформлении договора с пассажиром
1. Регулярные автобусные маршруты	нет (-)*	да (-)	нет (-)
2. Маршруты легковых автомобилей-такси	нет (-)	нет (+)	да (+)
3. Регулярные маршруты автобусов-такси остановками по требованию	нет (-)	да (-)	нет (-)
4. Регулярные коммерческие маршруты автобусов-такси с безостановочным движением	нет (-)	да (-)	нет (-)
5. Регулярные заказные маршруты автобусов безостановочным движением	да (+)	нет (+)	нет (-)
6. Пассажирский маршрут поколения в объектно-ориентированной модели управления	да (+)	нет (+)	да (+)
	Маршрут с гибким характером движения и обязательной идентификацией пассажиров и АТС.		
* (-/+) – фактор отрицательного или положительного влияния на эффективность процесса перевозок в количественных оценках			

Рассмотрим модель управления в ЦТЭС с использованием теории расписаний. Теория расписаний – это раздел исследования операций, в котором строятся и анализируются математические модели планирования (т.е. упорядочивания во времени) различных целенаправленных действий с учетом целевой функции и различных ограничений. Исследование операций (ИО) – научный метод выработки количественно обоснованных рекомендаций по принятию решений. Важность количественного фактора в ИО и целенаправленность сформулированных рекомендаций позволяют определить ИО как теорию принятия оптимальных решений.

Под задачей дискретного программирования (дискретной оптимизации) понимается задача математического (динамического) программирования в которой обычно необходимо минимизировать (или максимизировать) значение некоторой функции.

Условная структурная схема месторасположения маршрутов и остановочных пунктов (транспортно-пересадочных узлов (ТПУ)) приведена на рисунке 2.8. В границах исследуемой или проектируемой системы ТПУ связаны дугами характеристик, определяющими возможности перемещения объектов в заданных дискретно-событийных ситуациях. (рисунок 2.8). Условная схема определения оптимальной траектории перемещения приведена на рисунке 2.9.

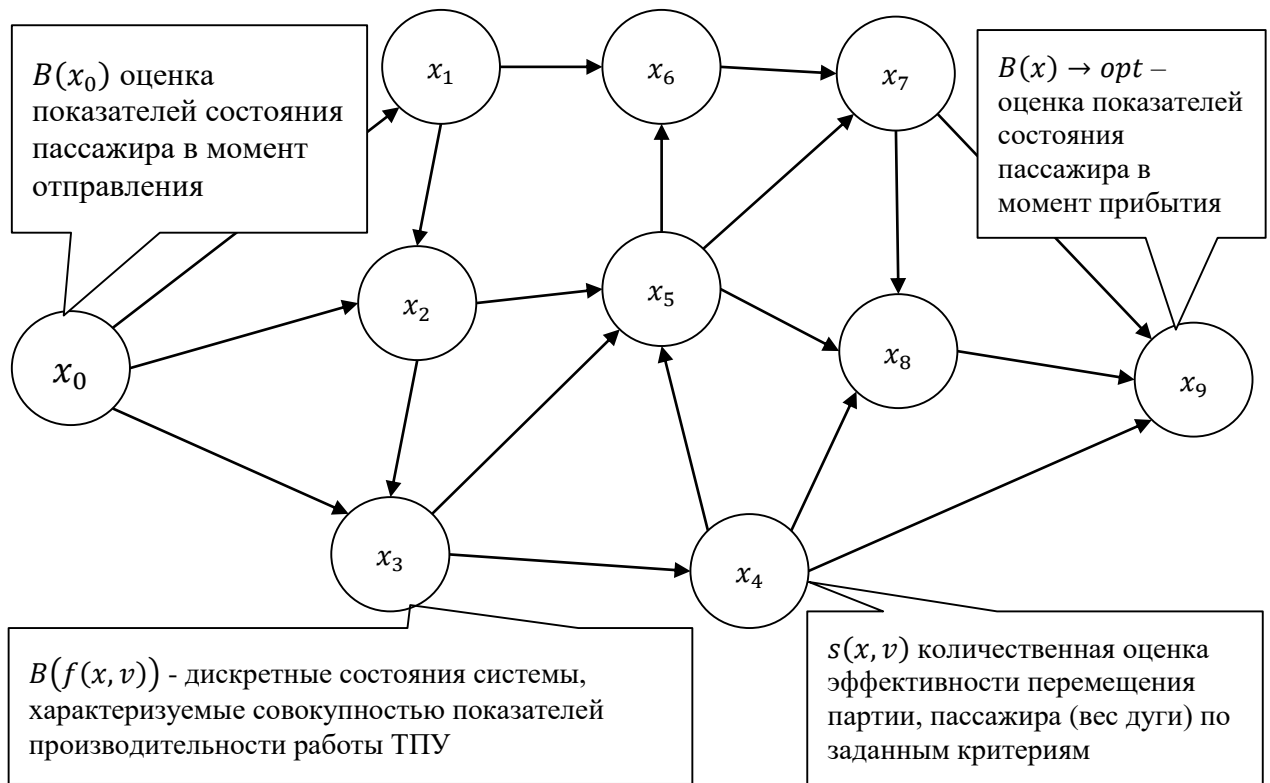


Рисунок 2.8 – Структура системы с дискретными состояниями пассажира в системе: $G(\Omega)$

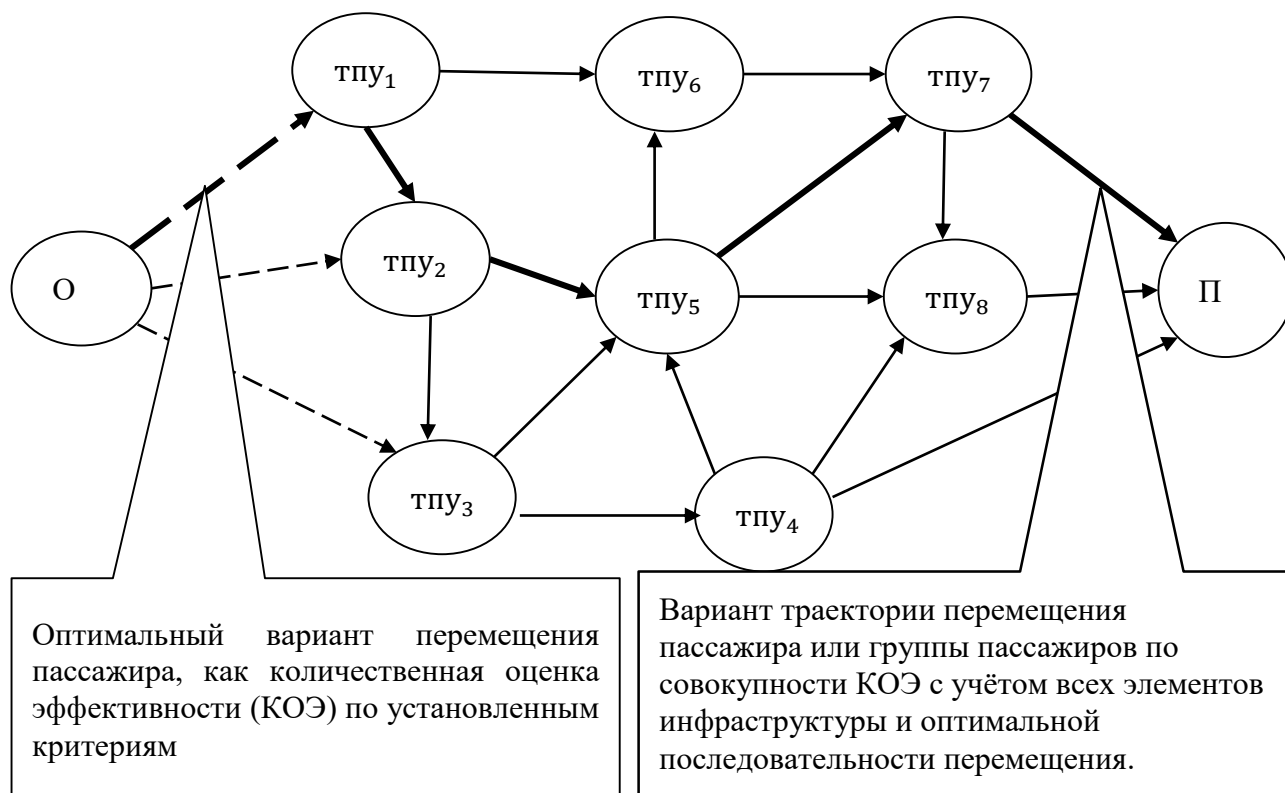


Рисунок 2.9 - Определение оптимальной траектории перемещения пассажиров в динамической системе с дискретными состояниями в ТПУ

Рассмотрим модель управления в ЦТЭС, основанную на интеграции методов решения оптимизационных многокритериальных задач и методов динамического программирования. Условная схема маршрутов и остановочных пунктов или транспортно-пересадочных узлов (ТПУ) приведена на рисунке 2.9.

Задача оптимизации в управляемой системе ЦТЭС с дискретными состояниями в однокритериальной постановке формализуется следующим образом:

$$\Omega = \{D; x_0; F; V(x), f(x, v), s(x, v)\}, \quad (2.1)$$

где D — множество возможных состояний ЦТЭС;

F — множество состояний объектов в ЦТЭС, $x_0 \in D, x_0 \notin F, F \subset D$;

$V(x)$ — множество управлений направлениями перемещения объектов в ЦТЭС ($x \in D|F$);

$f(x, v)$ — функция переходов движения автобусов в ЦТЭС для из информационного состояния x ;

v — показатели движения автобусов преобразуются в $f(x, v)$, ($x \in D|F$), $v \in V(x)$, $f(x, v) \in D$;

$s(x, v)$ — оптимизируемая функция ($x \in D|F$), $v \in V(x)$ с неотрицательными значениями.

Тогда оптимальной траектории движения автобусов (T) в ЦТЭС (Ω) соответствует конечная последовательность $T = \{x^0, x^1, x^2, \dots, x^n\}$ при выполнении условия

$$x^t = f(x^{t-1}, v^t), \text{ где } v^t \in V(x^{t-1}), t = 1, 2, \dots, n, \quad (2.2)$$

где x^0 — начальное положение движения автобуса;

x^n — конечное положение движения автобуса в траектории;

$(x^1, x^2, \dots, x^{n-1})$ — промежуточные положение движения автобуса в траектории.

Формирование оптимальной траектории движения автобусов в ЦТЭС основано на [9, 10, 11]:

$$S(x) = \min_{v \in V(x)} \{s(x, v) + S(f(x, v))\}, (x \in D|F). \quad (2.3)$$

Тогда каждому дискретному положению автобуса в ЦТЭС соответствует множество результативных показателей движения автобусов, определяющих единый цикл транспортного процесса. При этом управление в ЦТЭС реализуется пошагово для отдельного автобуса. Моделирование конечного графа перемещения (оптимальных траекторий) для отдельных автобусов выполняется по условию

$$\left\{ \begin{array}{l} S(x) = \min_{v \in V(x)} \{ D_{i(t)} + S(f(D_{i(t)})) \}, (x \in D|F) \\ D_{i(t)} = \sum_{j=1}^n b_{ij} c_j \rightarrow \max, \\ \sum_{j=1}^n c_j = 1, \end{array} \right. , \quad (2.4)$$

где D_i — эффективность перемещения автобуса количественных оценках;

b_{ij} — эффективность частных решений;

c_j — значение весовых коэффициентов, определяющих приоритет важности возможных решений.

Процедура определения значений переменных трактуется как многоэтапный процесс управления перемещения объектов в системе. Полученные результаты решения дискретной оптимизации методом динамического программирования оформляются в виде оптимальных траекторий перемещения объектов.

Приведенная модель управления объектами в системе основана на многокритериальном аналоге принципа динамического программирования, при этом технология синтеза полных совокупностей эффективных оценок обеспечивается определением частных эффективной оценок «Парето – оптимального» решения. Применяя метод динамического программирования как метод оптимизации, реализуется одновременный учёт значений значительного количества переменных (показателей) в решаемой задаче (экстремальной), заменяя последовательным определением каждой из них (по ряду критериев) в зависимости от условий среды работы системы на данный момент времени. При этом процедура определения значений переменных трактуется как многоэтапный процесс управления в ЦТЭС.

В перспективе полученные математические модели оптимизации перемещения грузов или пассажиров в ЦТЭС можно будет использовать не только для нахождения наиболее приемлемой траектории, но и для проектирования самой ЦТЭС с более выгодными, упорядоченными характеристиками.

Данное аналитическое решение многокритериальной задачи оптимизации управлений в ЦТЭС в совокупности с применением цифровых технологий позволяет проектировать и модернизировать ЦТЭС, как подсистемы интеллектуальных транспортных систем (ИТС).

Выводы по второй главе

Во второй главе разработана концепция, определяющая модель формирования автобусных маршрутов в цифровых транспортных экосистемах.

1. **Определено**, что ЦТЭС обладает всеми обязательными признаками для любой сложной системы, а модель управления ЦТЭС НГПТ должна быть адаптивна к динамически изменяемому и нестабильному состоянию пассажиропотоков, определяемую повышенной мобильностью населения в условиях активного развития региональной и глобальной транспортной инфраструктуры.
2. **Обосновано**, что технологическими инструментами внедрения подхода «Активное управление» (Active Traffic Management) в пассажирские транспортные системы являются - «цифровых сервисы» (ЦС), каждый из которых реализуется из функциональных аппаратно-программных и программных модулей (АПМ и ПМ).
3. Установлен набор ЦС обеспечивающих ЦУ и универсальный комплексный мониторинг основных параметров системы и отдельных модулей, в т.ч. выявление рисков выхода из равновесного состояния и потери устойчивости, планирование маршрутов и расписаний, диспетчерское управление движением, формирование и синхронизацию мультимодальных поездок, которые осуществляются по принципу МaaS-технологий, анализ объемов транспортной работы перевозчиков и другие необходимые функции.

4. Разработана аналитическая модель построения автобусных маршрутов в сложной транспортной экосистеме, являющаяся основным элементом в концепции развития ЦТЭС на основе объектно-ориентированного подхода.

Полученная модель управления объектами в ЦТЭС основана на многокритериальном аналоге принципа динамического программирования, при этом технология синтеза полных совокупностей эффективных оценок обеспечивается определением частных эффективной оценок «Парето – оптимального» решения.

3 МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ РАСПИСАНИЯ АВТОБУСНЫХ МАРШРУТОВ, ОСНОВАННАЯ НА ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЯХ УПРАВЛЕНИЯ

3.1 Исходные данные и нормативно-правовая база методики построения автобусных маршрутов в ЦТЭС

Решение любой новой задачи требует структуризации её в виде определения параметров оптимизации, оптимизируемых параметров и критериев оптимизации (таблица 3.1). В соответствии с проведенными исследованиями **параметрами оптимизации** являются:

- 1) Локальная эффективность (ЛЭ) системы в количественных оценках для отдельных дискретных состояний (минимум времени ожидания пассажиром автобуса, минимум времени движения автобуса между ТПУ и т.д.)
- 2) Общая эффективность (ОЭ) подсистемы «расписание движения автобусов» на заданном периоде рассматриваемых дискретных состояний (макс. объем перевозок и пассажиропоток и на отдельных маршрутах и т.д.);

Критериями оптимизации являются:

1. Свойство надежность ЦТЭС, определяемая формируемыми показателями регулярности движения автобусов по расписанию и устойчивостью системы в части возможного изменения качества и объемов данных.
2. Общая производительность при реорганизации системы планирования перевозок на АТП с применением разработанной методики формирования автобусных маршрутов.
3. Удельные затраты на эксплуатацию автобусов в проектируемых условиях (информационной среде).

Оптимизируемыми параметрами являются:

- 1) интервал движения автобусов (И),
- 2) количество автобусов на маршруте (A_m),
- 3) пассажиропоток (Q_{max}).

Таблица 3.1 - Определение параметров оптимизации, оптимизируемых параметров и критериев оптимизации

Дискретные состояния	Критерии оптимизации					Эффективность	
	Надёжность			Производительность	Удельные затраты	ЛЭ	ОЭ
	И	A_M	Q_{max}				
1	$c_{11} \cdot x_{11}$	$c_{12} \cdot x_{12}$	$c_{12} \cdot x_{12}$	$c_{13} \cdot x_{13}$	$c_{14} \cdot x_{14}$	d_1	D_S
2	$c_{21} \cdot x_{21}$	$c_{22} \cdot x_{22}$	$c_{22} \cdot x_{22}$	$c_{23} \cdot x_{23}$	$c_{24} \cdot x_{24}$	d_2	
...		
n	$c_{81} \cdot x_{81}$	$c_{82} \cdot x_{22}$	$c_{82} \cdot x_{22}$	$c_{83} \cdot x_{83}$	$c_{84} \cdot x_{84}$	d_8	
N	$c_{i1} \cdot x_{21}$	$c_{i2} \cdot x_{22}$	$c_{i2} \cdot x_{22}$	$c_{i3} \cdot x_{i3}$	$c_{i4} \cdot x_{i4}$	d_n	

* оптимизируемый параметр

Решение задачи сводится к нахождению c_{i1} определяющее максимальную эффективность d_n и D_S с применением аналитической модели (2.4). Связь между оптимизируемыми параметрами, определяется известными формулами, приведенным ниже [83, 84, 85, 86]:

1. Управляющий параметр – интервал, управляемые (определяемые): пассажиропоток и количество автобусов:

$$A_M = T_{об} / И, \quad (3.1)$$

$$Q_{max} = 60q_H / И \quad (3.2)$$

2. Управляющий параметр – пассажиропоток, управляемые (определяемые) интервал и количество автобусов:

$$A_M = (Q_{max} \cdot T_{об}) / 60q_H, \quad (3.3)$$

$$И = 60q_H / Q_{max} \quad (3.4)$$

3. Управляющий параметр количество – автобусов, управляемые (определяемые) интервал и пассажиропоток:

$$И = T_{об}/A_M \quad (3.5)$$

$$Q_{max} = (A_M \cdot 60q_H) / T_{об} \quad (3.6)$$

Принципиальная схема и технология поиска решений эффективных решений в подсистеме «расписание» приведена на рисунках 3.1 и в таблице 3.2, структура исходных данных в таблице 3.3, а перечень нормативно-техническая документация в таблице 3.4.

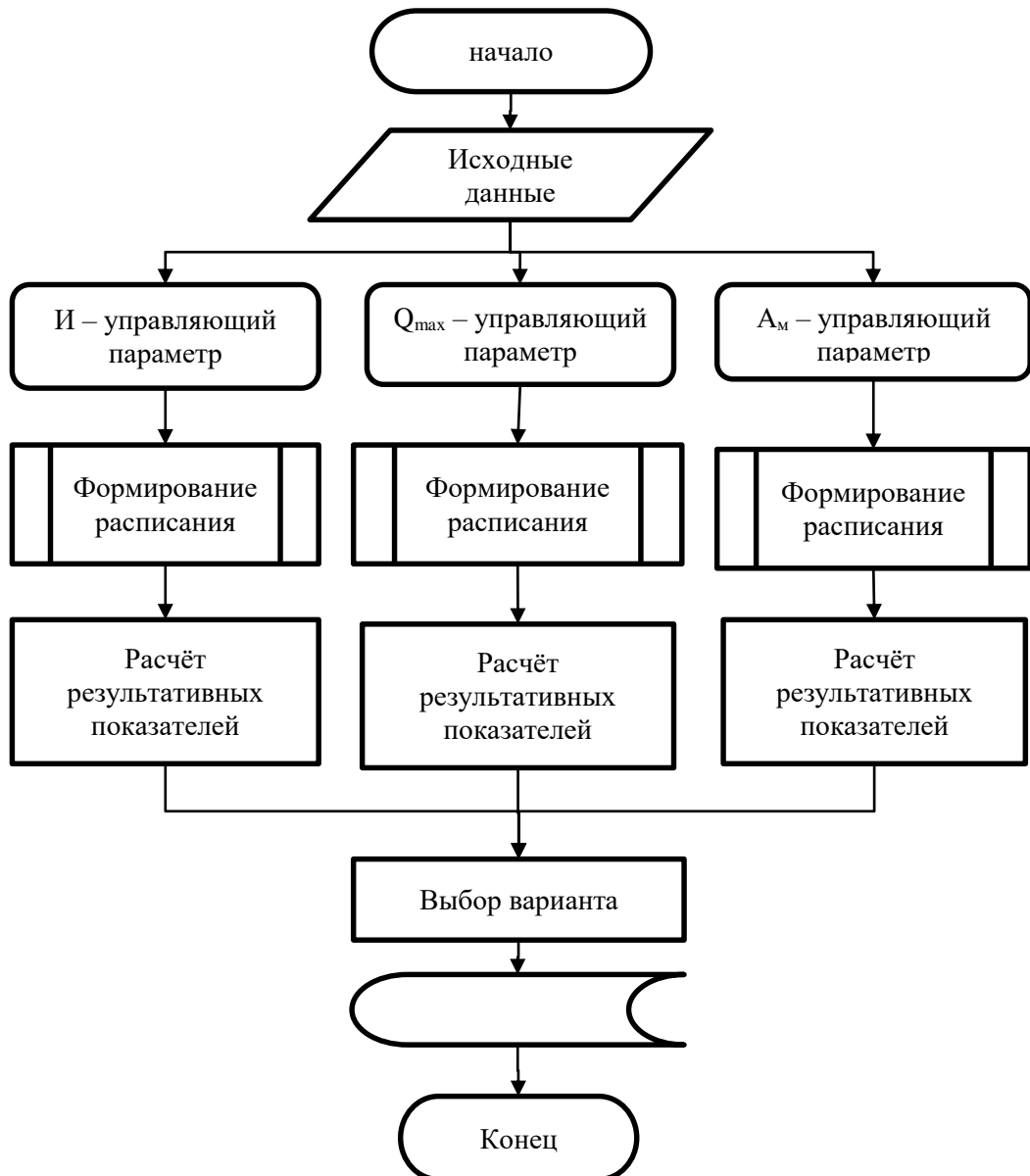


Рисунок 3.1 - Принципиальная схема поиска решений эффективных решений в подсистеме «расписание»

Таблица 3.2 - Технология решения

Условные обозначение		(α: β: γ: δ) цифровые индекс рейса – текущее состояние параметров рейса (время начала движения: место начала движения: время окончания движения: место окончания движения)								
Блок поиска		решение — это результат сравнения, текущего состояние параметров рейса с параметрами определяемыми исходными данными в каждом отдельном алгоритме (интервал, количество автобусов, пассажиропоток)								
Номер наряда	Выпуск	Время						Прибытие в парк	Количество	Время в наряде
		1		2		3				
		КП1	КП2	КП2	КП1	КП1	КП2			
1		$c(0) = c_1^{(1)}$	$c = c + t_{c1}^1$	$c = c + t_{ко2}^1$	$c = c + t_{c1}^1 + t_{ко1}^1$					
		(α: β: γ: δ) 0000:01:0025:02		(α: β: γ: δ) 0030:02:0055:01 +1= 0056:01		(α: β: γ: δ) 0056:01				
2		$c(14) = c + I_1^{(*)}$	$c = c + t_{c1}^2$							
		0014:01:0039:02		0044:02:0069:01						
3		$c(28) = c + I_1^{(*)}$	$c = c + t_{c1}^3$							
		0028:01:0053:02		0058:02:0083:01						
4		$c(42) = c + I_1^{(*)}$	$c = c + t_{c1}^4$							
		0042:01:0067:02		0072:02:0097:01						
5-1		$c(56) = c + I_1^{(*)}$	$c = c + t_{c1}^5$							
		0056:01:0081:02		0086:02:0111:01						
6		$c(70) = c + I_1^{(*)}$	$c = c + t_{c1}^6$							
		0070:01:0095:02		0100:02:0125:01						

Таблица 3.3 – Исходные данные

Исходные данные			Примечание	
1. Время простоя на 1-ом конечном пункте маршрута	$t_{ко1}$	мин	Задается внешней средой	Показатели необходимы для расчёта графика движения по остановочным пунктам маршрута
2. Время простоя на 2-ом конечном пункте маршрута	$t_{ко2}$	мин	Задается внешней средой	
3. Время простоя на промежуточных остановках в прямом направлении	$t_{по1}$	мин	Задается внешней средой	
4. Время простоя на промежуточных остановках в обратном направлении	$t_{по2}$	мин	Задается внешней средой	
5. Время следования на отдельных перегонах на маршруте в прямом направлении (обратном направлении)	$t_{пер}^{1(2)}$	мин	* - рассчитывается для отдельных перегонов	
6. Время движения в прямом направлении на маршруте	$t_{дв1}$	мин	Рассчитывается	Показатели необходимы для расчёта графика движения по отдельным маршрутам
7. Время движения в обратном направлении маршруте	$t_{дв2}$	мин	Рассчитывается	
8. Время сообщения в прямом направлении на маршруте	$t_{с1}$	мин	Рассчитывается	
9. Время сообщения в обратном направлении на маршруте	$t_{с2}$	мин	Рассчитывается	
10.Время рейса в прямом направлении на маршруте	$t_{р1}$	мин	Рассчитывается	
11.Время рейса в обратном направлении на маршруте	$t_{р2}$	мин	Рассчитывается	
12.Время оборотного рейса на маршруте	$T_{об}$	мин	Рассчитывается	
13.Длина маршрута	L_m	км	Задается внешней средой	
14.Первый нулевой пробег на маршруте	l_{01}	км	Задается внешней средой	
15.Второй нулевой пробег на j-ом маршруте	l_{02}	км	Задается внешней средой	
16.Среднетехническая скорость на маршруте (1- в прямом направлении, 2 – в обратном направлении)	$V_{т1}$	км/час	Рассчитывается	
	$V_{т2}$	км/час	Рассчитывается	
17.Скорость сообщения на маршруте	$V_{с1}$	км/час	Рассчитывается	
	$V_{с2}$	км/час	Рассчитывается	
18.Номинальная вместимость автобуса на i-м типа наряде	q^i	чел	Задается внешней средой	
19.Мощность пассажиропотока (максимальная) на в k-ый час приведения	Q_k^{max}	чел/час	Задается внешней средой	
20.Количество автобусов на маршруте	A_m	ед.	Задается внешней средой	

Таблица 3.4 – Нормативно-техническая документация [87]

Обозначение	Наименование
1	2
ГОСТ 34.003-90	Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения
ГОСТ 34.201-89	Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Виды, комплектность и обозначение документов при создании автоматизированных систем
ГОСТ 34.601-90	Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания
ГОСТ 28270-89 (ИСО 8211-85)	Системы обработки информации. Спецификация файла описания данных для обмена информацией
ГОСТ 2.109-73	Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Основные требования к чертежам
ГОСТ 19.101-77	Единая система программной документации. Виды программ и программных документов
ГОСТ 19.402-78	Единая система программной документации. Описание программы
ГОСТ 19.503-79	Единая система программной документации. Руководство системного программиста. Требования к содержанию и оформлению
ГОСТ Р 51583-2014	Защита информации. Порядок создания автоматизированных систем в защищенном исполнении. Общие положения
ГОСТ 2.105-95	Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам
ГОСТ Р 54024-2011	Глобальная навигационная спутниковая система. Системы диспетчерского управления городским пассажирским транспортом. Назначение, состав и характеристики решаемых задач подсистемы анализа пассажиропотоков
ГОСТ Р 56670-2015	Интеллектуальные транспортные системы. Подсистема мониторинга параметров транспортных потоков на основе анализа телематических данных городского пассажирского транспорта
ГОСТ Р 57187-2016	Интеллектуальные транспортные системы. Протокол обмена данными бортового телематического устройства транспортного средства городского пассажирского транспорта с системой диспетчерского управления
ГОСТ Р ИСО/МЭК 20000	Информационная технология. Управление услугами. Часть 1. Требования к системе управления услугами
ГОСТ Р ИСО/МЭК 90003-2014	Разработка программных продуктов. Руководящие указания по применению ИСО 9001:2008 при разработке программных продуктов
ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207	Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств
РД 50-34.698-90	Комплекс стандартов и руководящих документов на

Обозначение	Наименование
1	2
	автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Требования к содержанию документов
Р 50-34.126-92	Рекомендации. Информационная технология. Правила проведения работ при создании автоматизированных систем
ОДМ 218.6.007-2012	Методические рекомендации по выбору и применению технических средств обеспечения транспортной безопасности автобусов городского, пригородного, междугородного и международного сообщения, легковых автомобилей, перевозящих пассажиров, грузовых автомобилей, трамваев и троллейбусов
ISO 21217:2014	Intelligent transport systems – Communications access for land mobiles (CALM) – Architecture – «Интеллектуальные транспортные системы. Доступ к коммуникациям для наземных мобильных систем. Архитектура»

3.2 Разработка алгоритмов построения графика движения на автобусных маршрутах в ЦТЭС

Разрабатываемые алгоритмы обрабатывают агрегируемые в ЦТЭС данные, собираемые подсистемой мониторинга из различных источников (бортовых датчиков, подсистемы оплаты проезда и системы обратной связи от пассажиров и др.) и преобразуют с помощью аналитической подсистемы в проекты управляющих решений. Подсистема мониторинга, в совокупности с аналитической подсистемой, обеспечивают регулирование системы посредством обратных связей и различных исполнительных элементов. Разработанные алгоритмы замыкаются в контуре обратных связей, обеспечивающим устойчивость системы при выходе из состояния равновесия, которое происходит под влиянием внешних и внутренних факторов (рисунки 3.2, 3.3 и 3.4). В результате, система возвращается в одно из равновесных состояний, соответствующее новым условиям.

Пояснительные выноски на представленных алгоритмах служат для формирования методики построения маршрутов, приведенной в пункте 3.3.

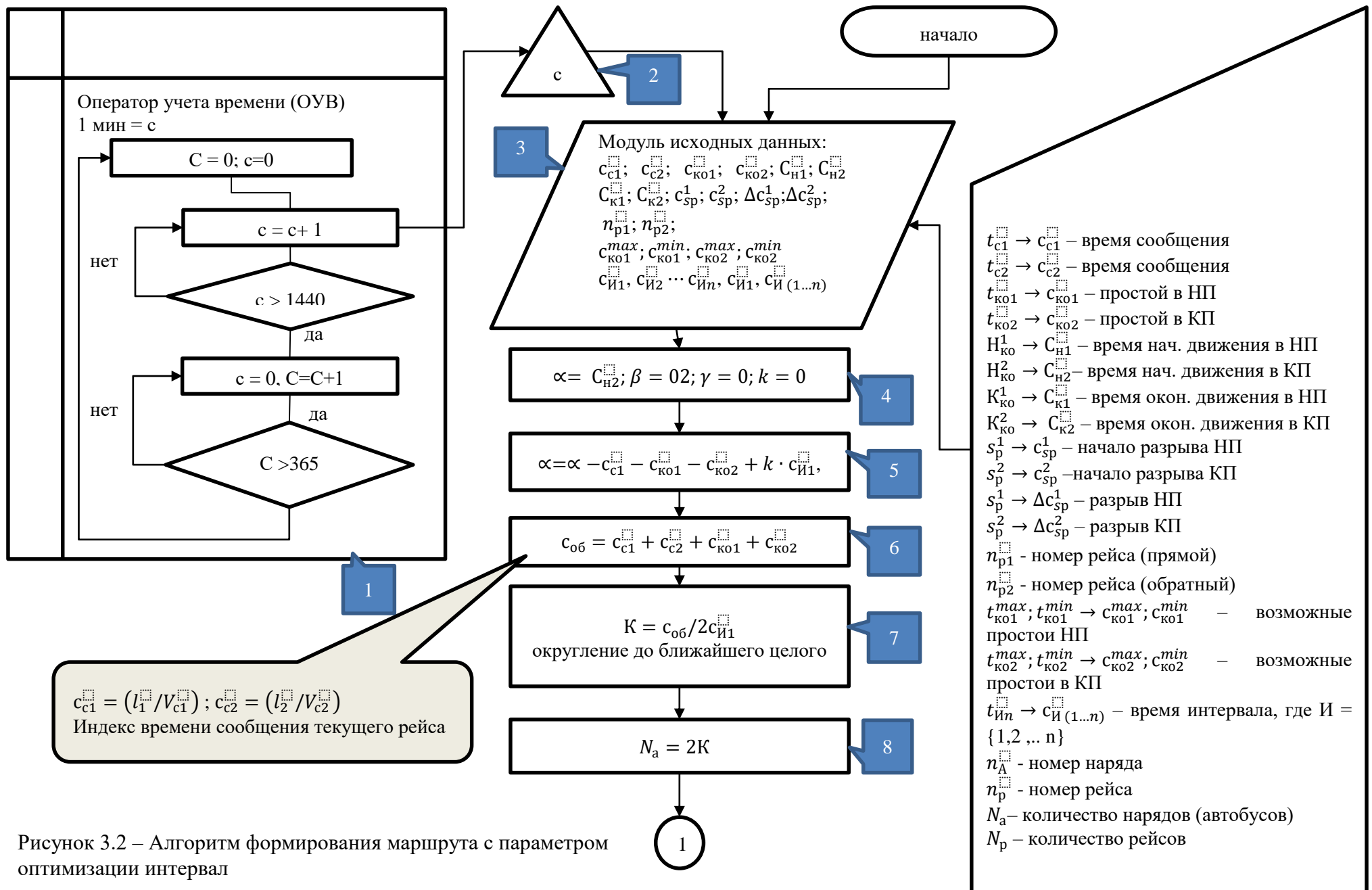


Рисунок 3.2 – Алгоритм формирования маршрута с параметром оптимизации интервал

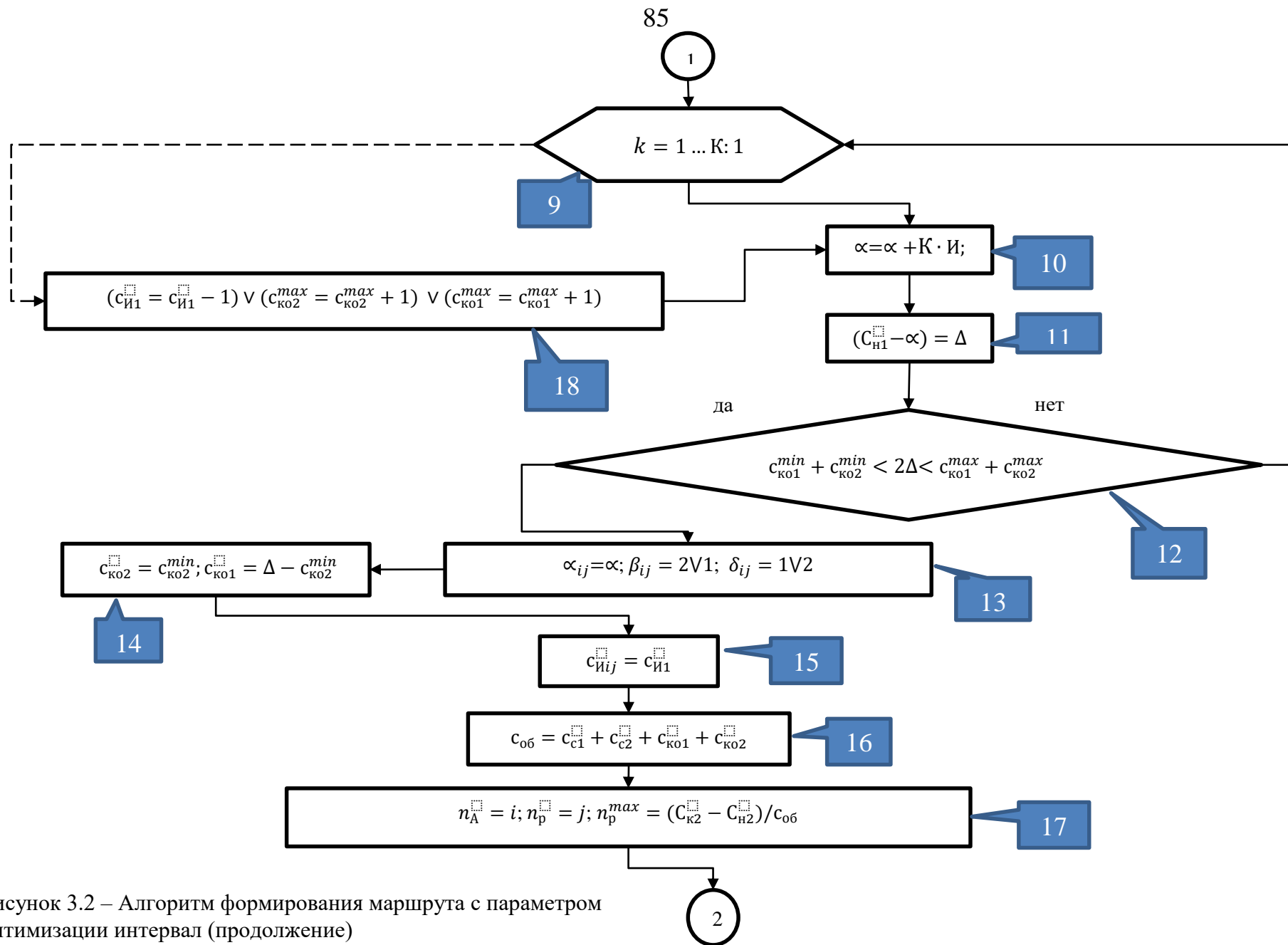


Рисунок 3.2 – Алгоритм формирования маршрута с параметром оптимизации интервал (продолжение)

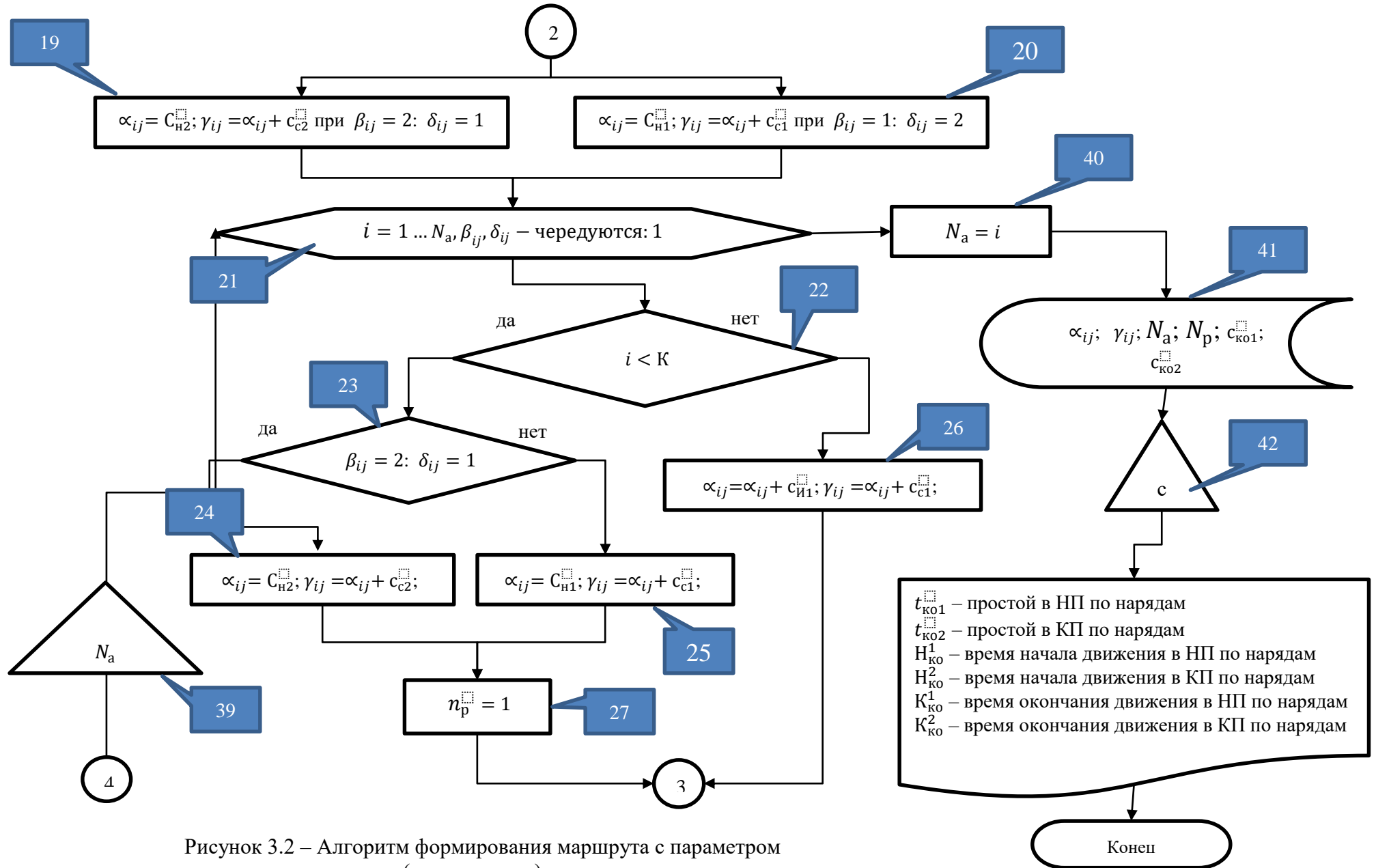


Рисунок 3.2 – Алгоритм формирования маршрута с параметром оптимизации интервал (продолжение)

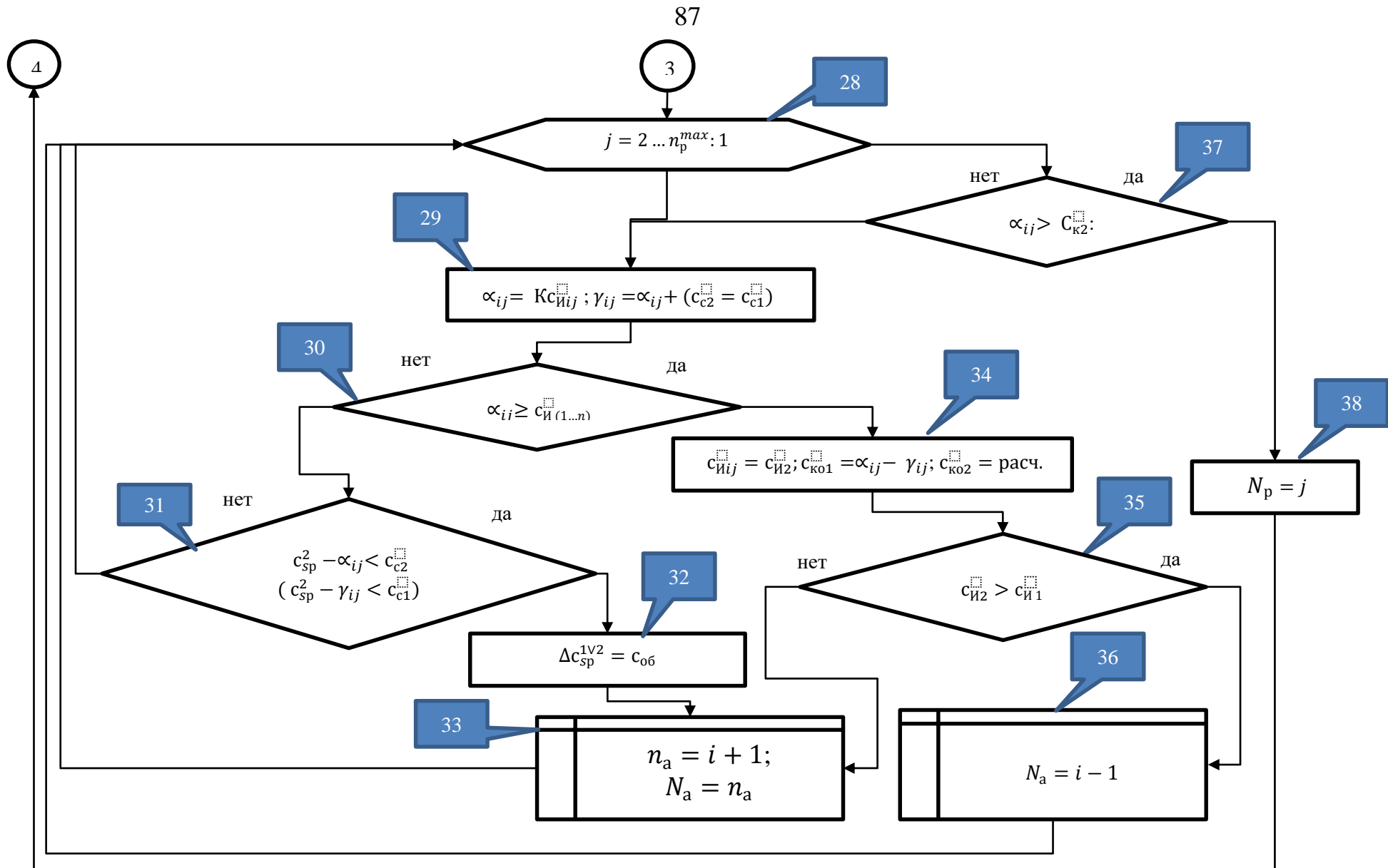


Рисунок 3.2 – Алгоритм формирования маршрута с параметром оптимизации интервал (окончание)

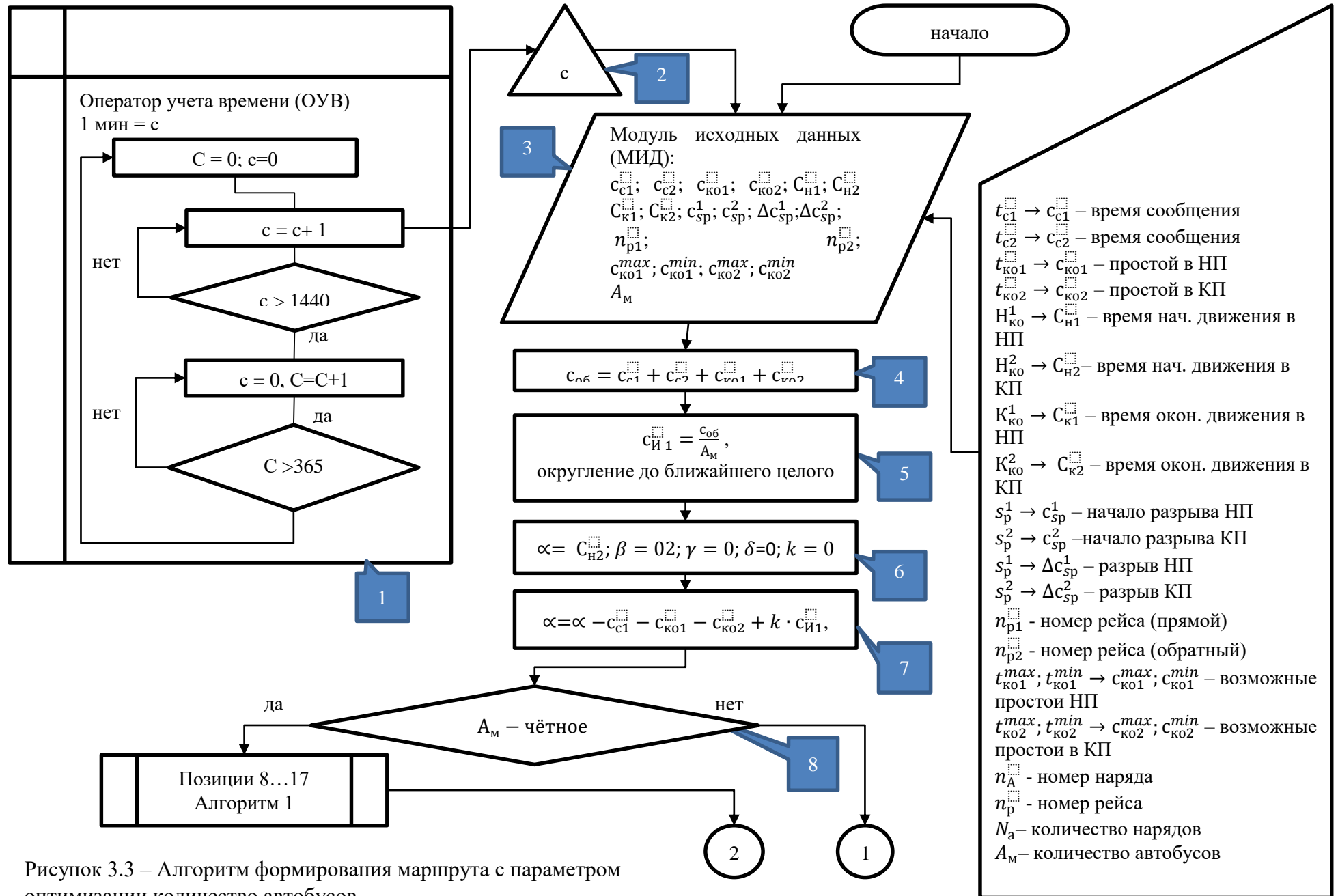


Рисунок 3.3 – Алгоритм формирования маршрута с параметром оптимизации количество автобусов

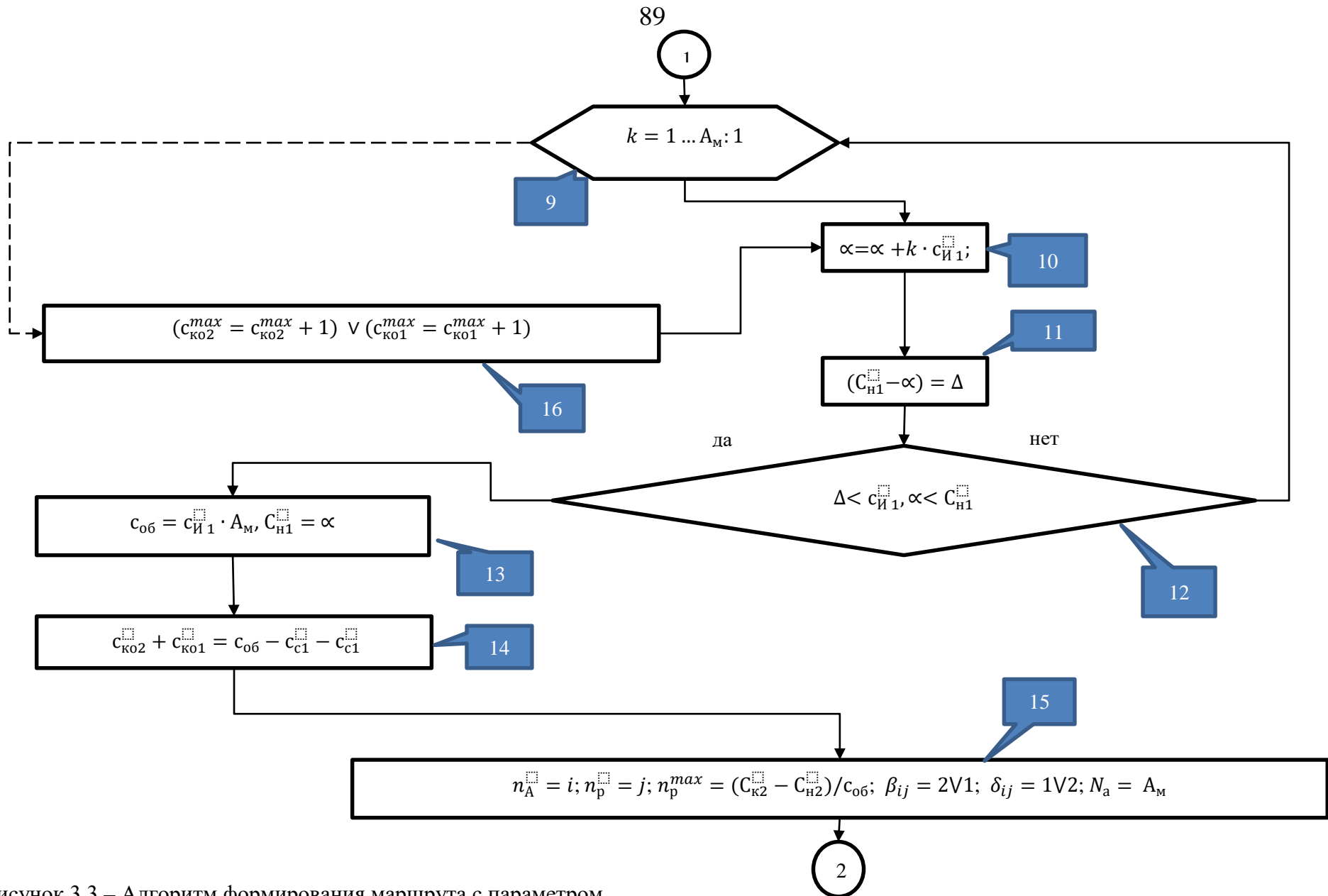


Рисунок 3.3 – Алгоритм формирования маршрута с параметром оптимизации количество автобусов (продолжение)

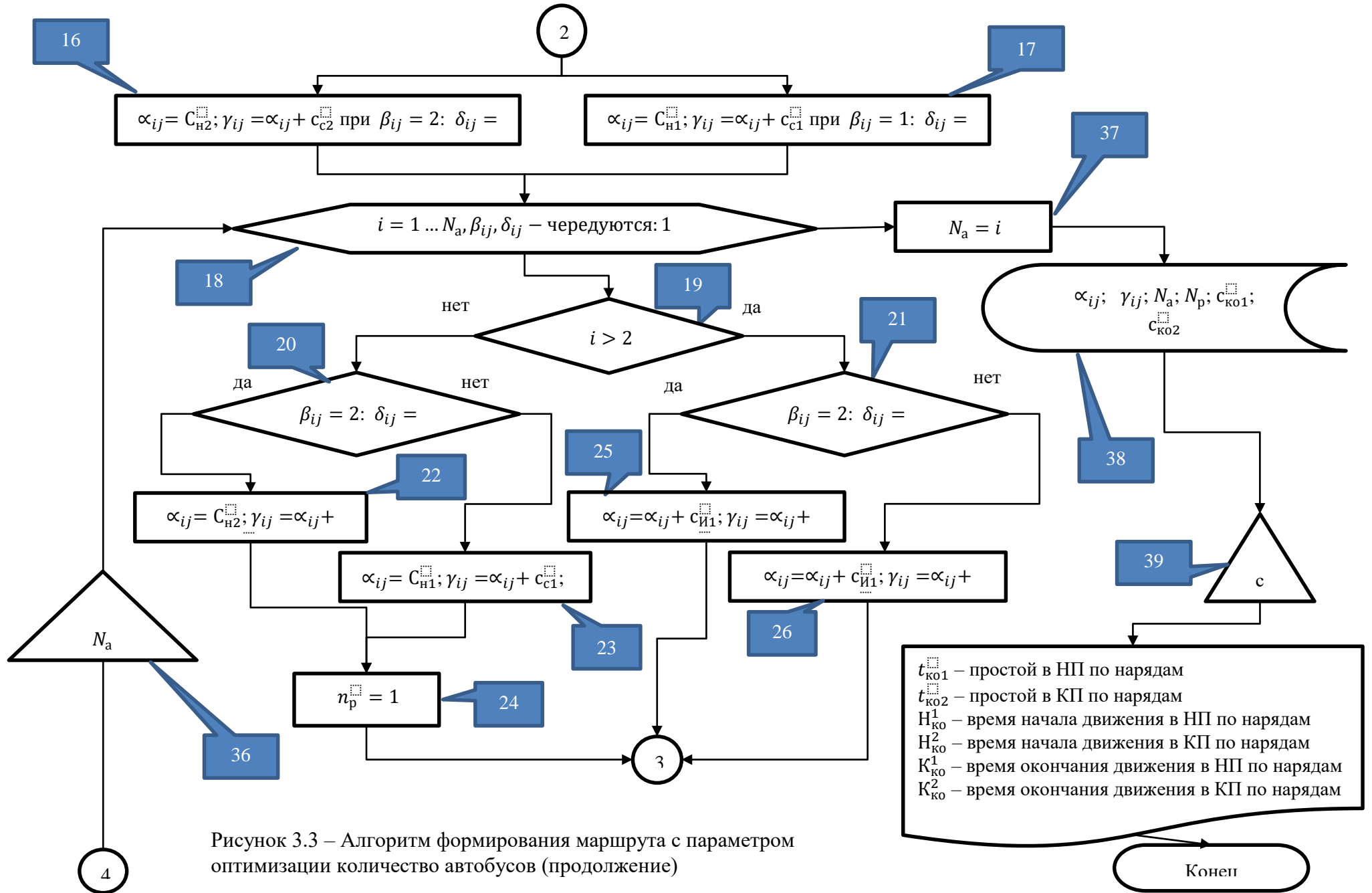


Рисунок 3.3 – Алгоритм формирования маршрута с параметром оптимизации количество автобусов (продолжение)

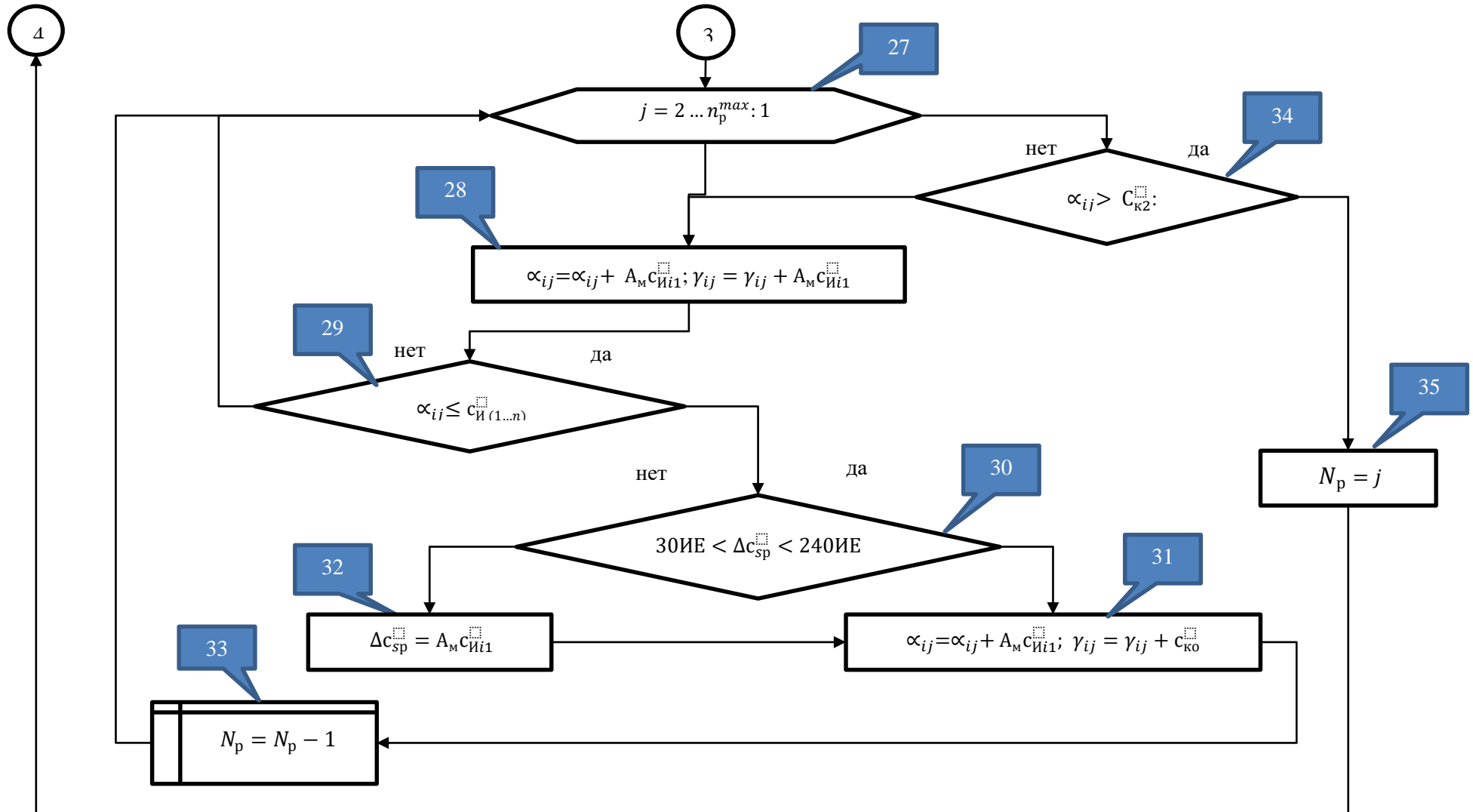


Рисунок 3.3 – Алгоритм формирования маршрута с параметром оптимизации количество автобусов (продолжение)

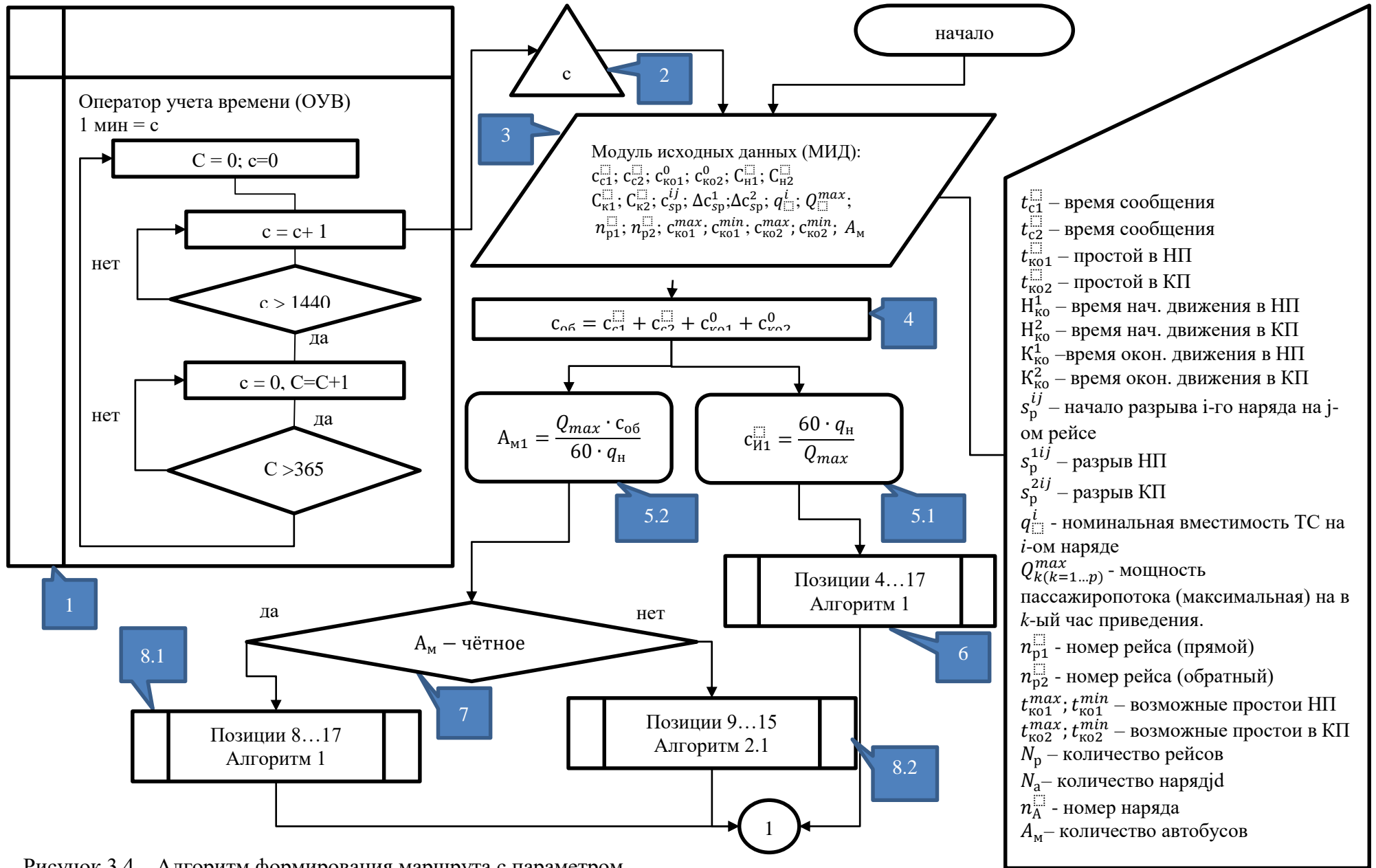


Рисунок 3.4 – Алгоритм формирования маршрута с параметром оптимизации пассажиропотоков

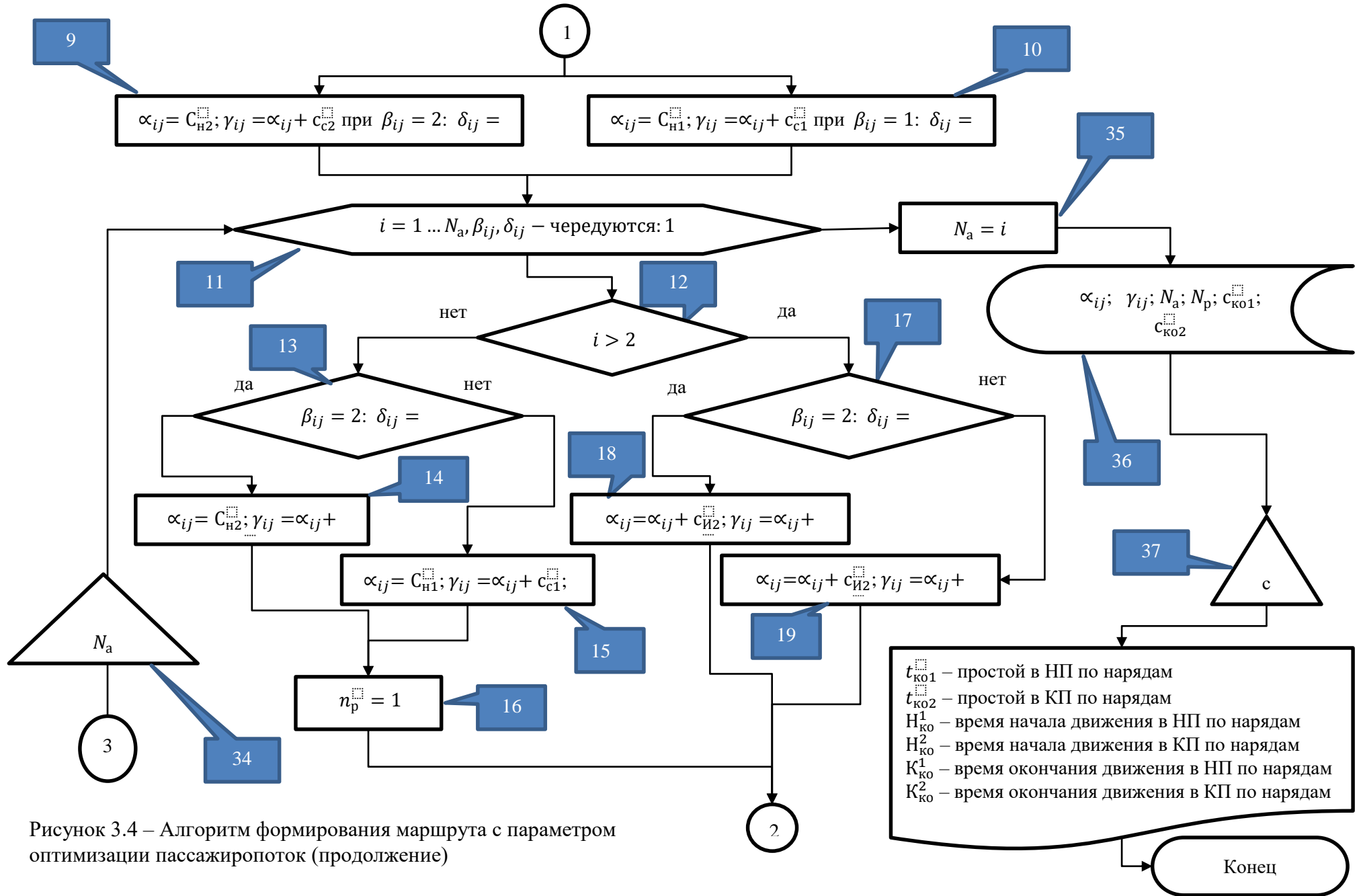


Рисунок 3.4 – Алгоритм формирования маршрута с параметром оптимизации пассажиропоток (продолжение)

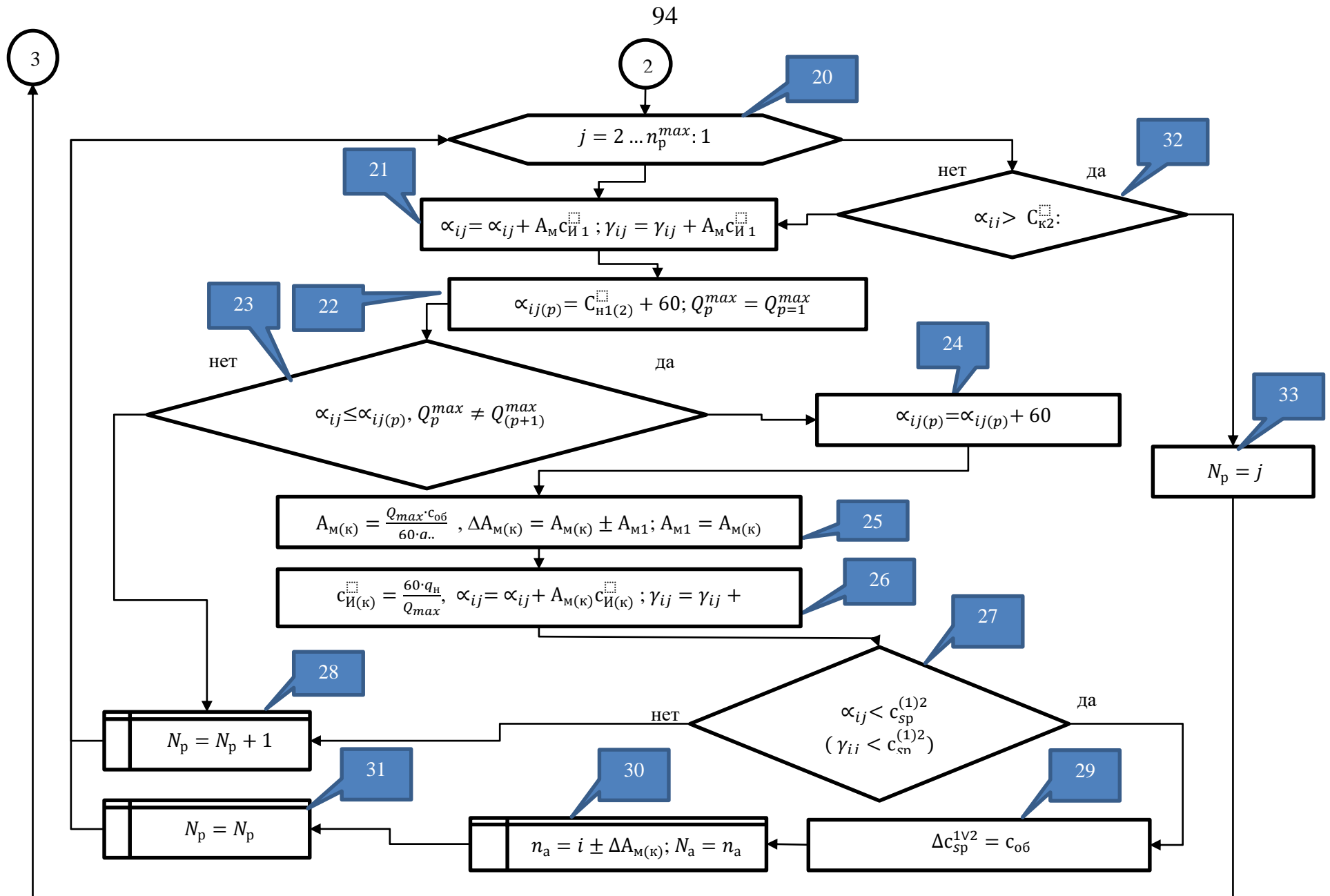


Рисунок 3.4 – Алгоритм формирования маршрута с параметром оптимизации пассажиропоток (продолжение)

3.3 Описание методики формирования расписания автобусных маршрутов в цифровых транспортных экосистемах

В структуру методики для расчёта расписания графика движения автобусов (далее методика) в ЦТЭС входят следующие обязательные элементы:

1. Цели и задачи, определяющие качество разрабатываемой методики (пункт 3.1).
2. Критериальный аппарат, позволяющий реализовать требуемое качество (критерии эффективности) методики.
3. Состав исходных данных, необходимых и достаточный для реализации установленного качества методики.
4. Форма представления исходных данных.
5. Перечень измерителей, необходимых для планирования, учёта и анализа работы автобусов и персонала (водителей) в рамках разрабатываемой методики.
 - 5.1. Система показателей, позволяющая оценивать степень использования автобусов
 - 5.2. Система показателей, позволяющая оценивать результаты работы автобусов (результативные показатели).
 - 5.3. Система показателей организации работы водителей
 - 5.4. Форма представления измерителей.
6. Аналитические связи в методике:
 - 6.1. Система аналитических связей между исходными данными и показателями использования автобусов
 - 6.2. Система аналитических связей между показателями использования и результативными показателями автобусов.
 - 6.3. Расчёт элементов системы организации работы водителей.
 - 6.4. Форма представления результатов расчёта.
7. Описание реализации методики на АТП по разработанным материалам приведена в таблицах 3.5, 3.6 и 3.7.

Таблица 3.5 – Последовательность реализации алгоритма «Интервал»

№ позиции	Обозначения	Пояснение	№ показателя
«Завязка» - синхронизация параметров движения ТС (из НП и КП) с обеспечением требуемого ритма движения в рамках установленного интервала			
1	ОУВ – оператор учёта времени	ОУВ переводит состояние «время» в цифровой индекс [1 сутки = 1440 мин.= 1440 индексированных единиц (ИЕ)]	
2		Извлечение (сопоставление) цифрового индекса (ЦИ) – соответствующего состоянию «время».	
3	МИД – модуль исходных данных	Модуль формируется на базе преобразованных исходных данных в ЦИ.	
4	α - текущий параметр начала движения ТС; β – текущий параметр начала движения ТС; k – параметр оптимизации;	Оператор устанавливает индекс рейса (ИР) – соответствующий времени отправления ТС из 2-го конечного пункта (КО-2)	1,2,14
5		Оператор определяет ЦИ начала движения ТС «мнимого» рейса 1-го наряда из начального пункта (НП – КО-1) в конечный пункт (КО-2). Определяется дискретная функция α от интервала движения [$\alpha = k(И, c_{c1}, c_{ко1}, c_{ко2})$]	1,2,3,4,5,6,7 8,11,12,14
6	$c_{об}$ – индекс времени оборотного рейса	Определяется время оборотного рейса в ЦИ	
7	K – количество возможных дискретных состояний параметра оптимизации	Определяется количество дискретных значений k – округлятся до ближайшего целого	
8	N_a – количество нарядов	Определяется количество нарядов для обеспечения исходного ритма движения	
9	-	Формируется цикл k по функции $\alpha = k(И)$ с шагом 1 ЦИ	
10	$И$ – интервал соответствующий значению $c_{и1}$	Определяется функция перебора значений цикла	
11	Δ - величина ограничения (условия) синхронизации	Определяется значение проверяемого условия для обеспечения синхронизации	

12	-	Формируется условие проверки на допустимость изменения простоя на КО для обеспечения синхронизации (определяется ближайшее значение α к значению α соответствующему планируемому времени выхода ТС из КО-1 в ИЕ)	
13	i – текущее значение номера наряда; j – текущее значение номера рейса; \vee - логический оператор «или»	Определяется ИЕ начала движения ТС из КО-1	
14	-	Корректируется значения ($c_{ко1}, c_{ко2}$) в соответствии с допустимым исходными диапазоном данных и их возможными отклонениями для обеспечения синхронизации движения ТС	
15	c_{ij} - индекс времени интервала движения	Присваивается текущее значения интервала движения ТС	
16	-	Определяется скорректированное время оборотного рейса	
17	n_p^{max} – максимальное количество рейсов для одного наряда	Присваиваются переменные значения номеру наряда, номеру рейса, определяется максимально возможное количество рейсов одного наряда при заданных параметрах движения ТС	
18	-	Корректирование исходных параметров движения ТС в случае объективной невозможности синхронизации при заданных параметрах	
Сформирован ритм движения ТС с учётом заданного И (интервала)			
№ позиции	Обозначение	Пояснение	№ показателя
Основной расчёт графика движения ТС			
19	γ_{ij} – индекс времени начала движения из конечного пункта; δ_{ij} – индекс расположения конечного пункта движения	Присвоение ИР начала движения ТС из КО-2	
20	-	Присвоение ИР начала движения ТС из КО-1	

21	-	Формирование цикла распределения нарядов движения ТС	
22	К – количество возможных дискретных состояний параметра оптимизации	Формируется условие для определения ЦИ первого рейса для 1-го и 2-го наряда (начло движения ТС из КО-1 и КО-2)	
23	-	Формируется условие для определения начального пункта движения ТС по 1-му и 2-му наряду	
24	-	Индексирование 1-го рейса 1-го наряда	
25	-	Индексирование 1-го рейса 2-го наряда	
26	-	Индексирование 1-го рейса i -го наряда, начиная с 3-го и т.д.	26
27	-	Присвоение номера рейса	
28	-	Формирование цикла для определения ЦИ рейсов	
29	-	Индексирование рейсов при заданном интервале движения	
30	-	Формирование условия изменения значения интервала движения	
31	-	Формирование условия наличия разрыва в движении ТС	
32	-	Присвоение ЦИ времени разрыва значения ЦИ времени оборотного рейса. Только при этом назначении сохраняется заданный ритм движения ТС в соответствии с условием $I = \text{Const}$, а параметры рейса остаются неизменными.	
33	-	Определение дополнительного наряда и присвоение ему номера. Номер наряда сохраняется во внутренней памяти.	
34	-	Определение ЦИ параметров рейса при изменении интервала движения.	
35	-	Формирование условия увеличения или уменьшения времени интервала	
36	-	Сокращение требуемого количества нарядов.	
37	-	Формирование условия окончания расчёта ЦИ рейсов	
38	-	Присвоение значения количества рейсов по каждому из нарядов	
39	-	Уточнение количества нарядов по результатам расчёта	
40	-	Присвоение значения количества нарядов	
41	-	Сохранение полученных результатов расчётов в ЦИ	
42	-	Преобразование ЦИ полученных результатов в формат – (час. мин)	

Таблица 3.6 - Последовательность реализации алгоритма «Количество автобусов»

№ позиции	Обозначение	Пояснение	№ показателя
«Завязка» - синхронизация параметров движения ТС (из НП и КП) с обеспечением требуемого ритма движения в рамках установленного количества ТС			
1	ОУВ	ОУВ переводит состояние «время» в цифровой индекс [1 сутки = 1440 мин.= 1440 индексированных единиц (ИЕ)]	
2		Извлечение (сопоставление) цифрового индекса (ЦИ) – соответствующего состоянию «время».	
3	МИД	Модуль формируется на базе преобразованных исходных данных в ЦИ.	
4		Оператор определяет время оборотного рейса при заданных параметрах маршрута	1,2,3,4,5,6 7,8,12,14
5		<p>Определяется:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Значение интервала движения ТС при заданном количестве ТС ($c_{и1}$) – идеальный случай (отсутствие разрывов) 2. Значение интервала движения ТС при заданном количестве ТС ($c_{и2}$) – реальный случай (наличие разрывов) 3. Время оборотного рейса при наличии разрывов. 4. Корректируется время простоя на НП и КП с учётом полученного значения времени оборотного рейса 	11,15
6		Оператор устанавливает индекс рейса (ИР) – соответствующий времени отправления ТС из 2-го конечного пункта (КО-2)	
7		Оператор определяет ЦИ начала движения ТС «мнимого» рейса 1-го наряда из начального пункта (НП – КО-1) в конечный пункт (КО-2). Определяется дискретная функция α от интервала движения [$\alpha = k(И, c_{с1}, c_{ко1}, c_{ко2})$]	
8		Определяется условие «чётное количество ТС» - «нечетное количество ТС». Данное условие необходимо, так как процедура синхронизации параметров движения ТС для данных случаев различна. Если количество ТС четное – Синхронизация производится по процедуре (позиции 7...17 алгоритма 1 «Интервал». Если количество ТС нечетное переходим к процедуре синхронизации для случая «нечетное количество ТС» (позиции 9...15 алгоритма 2.1).	
Сформирован ритм движения ТС заданного количества ТС, привлекаемых к перевозкам			
№ позиции	Обозначение	Пояснение	
Основной расчёт графика движения ТС			
9		Присвоение ИР начала движения ТС из КО-2	

10		Присвоение ИР начала движения ТС из КО-1	
11		Формирование цикла распределения нарядов движения ТС	
12		Формируется условие для индексирования рейсов	
13		Формируется условие для определения ЦИ первого рейса для 1-го и 2-го наряда (начало движения ТС из НП и КП)	
14		Индексирование 1-го рейса 1-го наряда	
15		Индексирование 1-го рейса 2-го наряда	
16		Присвоение номера рейса	
17		Формируется условие для индексирования нарядов начиная с 3-го.	
18		Индексирование 1-го рейса i -го наряда, начиная с 3-го из КП	
19		Индексирование 1-го рейса i -го наряда, начиная с 3-го из НП	
20		Формирование цикла для определения ЦИ рейсов	
21		Индексирование рейсов при интервале движения $C_{и2}$	
22		Формирование условия наличия разрыва в движении ТС для текущего значения наряда.	
23		Совпадение номера наряда i (α_{ij}) и номера наряда i (s_{ij}), а также номера рейса j (α_{ij}) и номера рейса j (s_{ij}) - автобуса данного наряда устанавливается на разрыв.	
24		Определяется (присваивается) время разрыва	
25		Оператор сокращает количество рейсов на 1 ед., выполняемых ТС данного наряду.	
26		Формируется условие изменения режима движения ТС. Совпадение номера наряда i (α_{ij}) и номера наряда i (s_{ij}), и несовпадение номера рейса j (α_{ij}) и номера рейса j (s_{ij}) осуществляет перевод режима движения автобуса в режим с исходным значением времени оборотного рейса. В этом случае значение времени стоянок на НП и КП соответствует исходным значениям $C_{ко1}^0$; $C_{ко2}^0$, полученным при процедуре синхронизации. Расчёт рейсов производится в соответствии изменениями в параметрах движения ТС.	
27		Определение ЦИ параметров рейса при изменении режима движения	
28		Формирование условия окончания расчёта ЦИ рейсов	
29		Присвоение значения количества рейсов по i -му из наряду	
30		Уточнение количества нарядов по результатам расчёта	
31		Уточнение количества нарядов по результатам расчёта	
32		Сохранение полученных результатов расчётов в ЦИ	
33		Преобразование ЦИ полученных результатов в формат – (час. мин)	

Таблица 3.7 - Последовательность реализации алгоритма «Пассажиропоток»

№ позиции	Обозначение	Пояснение	№ показателя
«Завязка» - синхронизация параметров движения ТС (из НП и КП) с обеспечением требуемого ритма движения в рамках установленного количества ТС			
1	ОУВ	ОУВ переводит состояние «время» в цифровой индекс [1 сутки = 1440 мин.= 1440 индексированных единиц (ИЕ)]	
2		Извлечение (сопоставление) цифрового индекса (ЦИ) – соответствующего состоянию «время».	
3	МИД	Модуль формируется на базе преобразованных исходных данных в ЦИ.	
4		Оператор определяет время обратного рейса при заданных параметрах маршрута	1,2,3,4,5,6 7,8,12,14
5	5.1	Определяется требуемое количество ТС на маршруте по начальным условиям движения	11,15,16
	5.2	Определяется интервал движения ТС по начальным условиям движения Операторы 5.1. и 5.2 являются альтернативными вариантами расчёта. Дальнейший расчёт режимов синхронизации можно вести как по количеству ТС на маршруте, так и по значению интервала движения.	15,16
6		Синхронизация параметров движения ТС по интервалу с привлечением процедуры расчёта из алгоритма 1 «Интервал»	
7		Определяется условие «чётное количество ТС» - «нечетное количество ТС». Данное условие необходимо, так как процедура синхронизации параметров движения ТС для данных случаев различна.	
8	8.1	Если количество ТС четное – Синхронизация производится по процедуре (позиции 7...17 алгоритма 1 «Интервал»). Если количество ТС нечетное	
	8.2	Если количество ТС нечетное переходим к процедуре синхронизации для случая «нечетное количество ТС» (позиции 9...15 алгоритма 2.1).	
Сформирован ритм движения ТС			
№ позиции	Обозначение	Пояснение	
Основной расчёт графика движения ТС			
9		Присвоение ИР начала движения ТС из КО-2	
10		Присвоение ИР начала движения ТС из КО-1	
11		Формирование цикла распределения нарядов движения ТС	
12		Формируется условие для индексирования рейсов	
13		Формируется условие для определения ЦИ первого рейса для 1-го и 2-го наряда (начало движения ТС из НП и КП)	

14		Индексирование 1-го рейса 1-го наряда	
15		Индексирование 1-го рейса 2-го наряда	
16		Присвоение номера рейса	
17		Формируется условие для индексирования нарядов начиная с 3-го.	
18		Индексирование 1-го рейса i -го наряда, начиная с 3-го из КП	
19		Индексирование 1-го рейса i -го наряда, начиная с 3-го из НП	
Сформирована процедура присвоения и расчёта параметров движения ТС для начальных условий движения			
20		Формирование цикла для определения ЦИ рейсов	
21		Индексирование рейсов при интервале движения $c_{и1}$	
22		Определение значения ЦИ условия изменения параметров по условию «мощность пассажиропотока» движения $\alpha_{ij(p)}$ – производится через 1 час после начала движения.	
23		Формируется условие проверки изменения параметров движения ТС по условию «мощность пассажиропотока»	
24		Определяется следующие (в цикле) значение ЦИ условия проверки (+1 час)	
25		Определяется значение количества ТС для новых условия движения, а также значение изменения (увеличения или уменьшения количества ТС на маршруте для новых условий движения.	
26		Определяется интервал движения ТС, определяются ЦИ параметров рейса при изменении режима движения	
27		Формируется условие проверки наличия разрыва в движении ТС по исходным данным	
28		Увеличение значение количества выполняемых рейсов (отражаемых в расписании) на 1 ед.	
29		Присвоение ЦИ времени разрыва значения ЦИ времени оборотного рейса. Только при этом назначении сохраняется сформированный ритм движения ТС.	
30		Изменение текущего значения количества нарядов на величину изменения количества ТС для новых условий движения.	
31		Значение количества выполняемых рейсов по текущему значению наряда остаётся неизменным, так как ТС находится в состоянии разрыва в движении.	
32		Формирование условия окончания расчёта ЦИ рейсов	
33		Присвоение значения количества рейсов по i -му из наряду	
34		Извлечение текущего количества нарядов по результатам расчёта	
35		Присвоение значения количества нарядов по результатам расчёта	
36		Сохранение полученных результатов расчётов в ЦИ	
37		Преобразование ЦИ полученных результатов в формат – (час. мин)	

Выводы по третьей главе

В третьей главе разработана методика формирования маршрутов в цифровой транспортной экосистеме, позволяющая создавать расписание движения автобусов с использованием новых цифровых технологий приема и обработки входящей информации (данные о мощности пассажиропотока и т.д.) в системе планирования движения автобусов на АТП. Разработанная методика позволяет полностью автоматизировать процесс формирования расписания для любых видов маршрутов (регулярных и нерегулярных) как одному, так по неограниченному количеству актуальных критериев. Для достижения поставленной цели исследования:

1. Разработаны: принципиальная схема и технология поиска решений эффективных решений в подсистеме «расписание» ЦТЭС, структура исходных данных и перечень нормативно-техническая документация.
2. Определены параметры оптимизации, оптимизируемые параметры и критерии оптимизации.
3. Разработаны алгоритмы формирования маршрутов по параметрам оптимизации: интервал движения автобусов, количество автобусов на маршруте, выработка автобусов на маршруте.
4. Разработано описание применения методики с полным перечнем измерителей, необходимых для планирования, учёта и анализа работы автобусов и персонала (водителей) в рамках разрабатываемой методики.
 - 4.1 Система показателей, позволяющая оценивать степень использования автобусов (показатели использования).
 - 4.2 Система показателей, позволяющая оценивать результаты работы автобусов.
 - 4.3 Форма представления измерителей.
5. Определены аналитические связи в методике:
 - 5.1 Система аналитических связей между исходными данными и показателями использования автобусов.

- 5.2 Система аналитических связей между показателями использования и результативными показателями автобусов.
- 5.3 Расчёт элементов системы организации работы водителей.
- 5.4 Форма представления результатов расчёта.

Для реализации большого количества вычислительных процедур по сформированной методике разработано специализированное ПО. Основной идеей программы является получение оптимального решения, учитывающего неограниченное количество актуальных критериев при формировании расписания.

4. АПРОБАЦИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ ФОРМИРОВАНИЯ МАРШРУТОВ В ЦИФРОВЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

4.1 Цифровые сервисы – инструменты формирования сервисно-ориентированной архитектуры в цифровых транспортных экосистемах

Во многих публикациях, посвященных теме исследования, подчеркивается, что: «В отличие от обычной системы городского общественного транспорта, ... гибкая, эффективно действующая система перевозок пассажиров *по предварительным заказам* позволит удовлетворить большую часть запросов жителей при должном уровне сервиса, вариативности маршрутов и минимальном времени ожидания подачи транспортного средства, не загоняя пассажиров в узкие рамки ограниченного набора маршрутов» [88, 89]. Понятия *предварительный заказ*, преобразованное единицу информационного потока в ЦТЭС формирует данные по возможному пассажиропотоку, что является исходной информацией для построения расписания движения автобусов и разработанной в данном исследовании методики. Еще одним необходимым элементом для успешного (эффективного) внедрения исследуемого подхода, помимо разработки алгоритмов решения задач управления и принятия решений в системе городских автобусных перевозок, является разработка средств поддержки принятия управленческих решений и проведения оценки их социально-экономической эффективности [90,91,92,93,94,95].

Основное назначение ЦТЭС, как новой системы социально-экономических отношений — это преобразование информации, представленной и обрабатываемой в новом цифровом формате, направленное на повышение эффективности процессов в экономике и общества. То есть цифровизация - это лишь инструмент для увеличения скорости передачи данных, их доступности и защищенности, обеспечивающий возможность автоматизации поиска оптимальных решений, направленных на последовательное улучшение всех бизнес-процессов в экономике

и связанных с ней социальных сфер. Подтверждением выделения «цифровой экономики» в отдельный вид социально-экономических отношений является появление новых системных измерителей, оценивающих степень развития, охвата или влияния цифровизации в отдельных странах на национальную экономическую и социальную жизнь: DESI (Digital Economy and Society Index) - индекс цифровизации экономики и общества, [96] (рисунок 4.1).

Общепринятые мировые оценочные показатели цифровизации свидетельствуют о том, что в РФ лишь созданы предпосылки для активного развития цифровой экономики, но говорить о достижении показателей мирового уровня ещё рано. Для более наглядного и упрощенного представления степени внедрения цифровизации в экономическую-социальную сферу эксперты определяют три укрупненных этапа отражающих степень ее реализации.



Рисунок 4.1 – Показатели измерителя DESI

Понимание необходимости цифровой трансформации экономики РФ отражено в основополагающих документах; «Стратегия развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы» (утверждена Указом Президента РФ № 2032 от 9.05.2017 г. и в государственной программе «Цифровая экономика Российской Федерации» (принятая распоряжением Правительства Российской Федерации, № 1632-р 28. 06. 2017 г.) [97,98].

В качестве основного элемента в ЦТЭС, изменяющего социально-экономическое содержание рассматриваются цифровые сервисы (ЦС), закрепляющие «цифровое разделение труда» (digital division of labor) [99, 100, 101]. Данный подход способствовал изменению существующих бизнес-моделей в целях создания новой ценности и получения новых доходов, обозначая переход к новым формам бизнеса – цифровым, когда продается не товар, а сервис [102]. Определение данного типа сервиса включено в библиотеку IT Infrastructure Library 2011 г. (ITIL 2011): «сервис – способ предоставления ценности заказчику через содействие в получении конечных результатов, которые заказчик хочет достичь без владения специфическими затратами и рисками» [103, 104].

Немного иное определение понятия ЦС дал M. Schrage, на наш взгляд, менее конкретизированное, считающий ЦС лишь частью процесса виртуального управления предприятием, а именно цифровые сервисы «представляют собой информационные ресурсы, созданные для удовлетворения конкретных нужд пользователя, представляющих ценность, поскольку они в состоянии эти потребности удовлетворить» [105].

Таким образом, можно сделать вывод о том, что ЦС в настоящее время является самостоятельным инновационным продуктом, основанным на информационной деятельности. ЦС не только способствует повышению эффективности существующих бизнес-процессов, освобождая их от рисков и затрат, связанных с обслуживанием ЦС, путем предоставления новой ценности заказчику, но и является самостоятельной бизнес-услугой, реализованной с использованием ИКТ.

Важно отметить, что создание ЦС предполагает необходимость конструирования новой информационно-аналитической системы, которая является удобной в использовании и необходимой для потенциальных заказчиков и легко адаптируемой к их потребностям удобной в использовании [106]. При реализации новых процессов управления ЦС целесообразно применение сервисно-ориентированной архитектуры (СОА) [107, 108]. Данный подход к развитию бизнес-процессов может обеспечить выход предприятия на качественно новый уровень развития, если предприятие сформировано в виде набора ЦС:

- 1) внешних ЦС, используемых для нужд организации, снижающих стоимость владения ИТ за счет сокращения затрат на их содержание;
- 2) собственных ЦС, используемых для обслуживания ССА предприятия (управление, планирование бизнес-процессов и т.д.);
- 3) собственных или внешних ЦС, обеспечивающих поток информации для внешних заказчиков (рисунок 4.2)

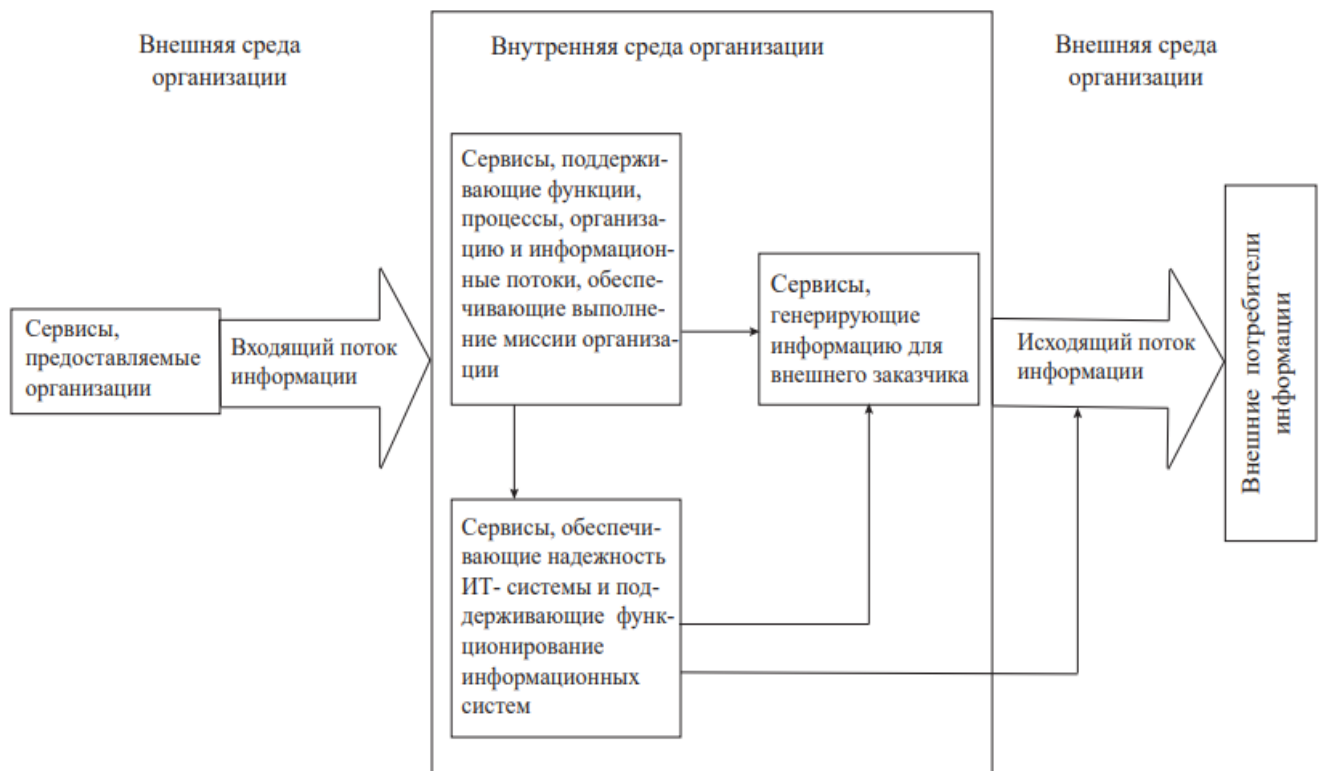


Рисунок 4.2 - Структура сервисно-ориентированной организации предприятия с элементами ЦС [108]

Разработка СОА должна осуществляться в полном взаимодействии с разработкой структуры ЦС [109]. Рассмотрим некоторые особенности текущего использования цифровых технологий (ЦТ). ЦТ сегодня обязательная часть любого бизнес-процесса.

Главное преимущество сервисной модели заключается в том, что продуктом деятельности ЦТ, предоставляемым бизнесу, является не набор ЦТ-компонентов, не информационная система, а возможность пользоваться определенной функцией, обладающей заданными характеристиками (уровнями сервиса) и содействующей достижению заданной цели. При этом, пользователю не требуется знать и понимать, каким образом предоставляется данный сервис, какие компоненты в нем участвуют, и какие риски в себе несут. В современном подходе сервисная модель – это способ содействия пользователю в получении требуемых результатов без владения заказчиком специфическими расходами и рисками. Соответствующее изменение понимания сервиса стимулирует сосредоточение на реальных задачах и потребностях всего бизнеса, и в итоге приводит к наиболее эффективному взаимодействию поставщика ЦС и пользователя. Концентрация на результатах бизнеса является критически важным фактором успеха внедрения ЦТ.

Именно это условие закладывается в разработку методологии организации движения городского общественного транспорта поколения 4.0 на основе цифровых сервисов, которые будет предоставляться потенциальным потребителям в лице перевозчиков, органов власти разных уровней, пассажирам, другим партнерам системы перевозки. В *Приложении В* представлен разработанный классификатор поколений развития пассажирских транспортных систем, в котором отражены основные отличительные черты вчерашних (поколение 1.0), существующих (2.0 и 3.0) поколений, а также будущих (4.0, 5.0).

Внедрение сервисного подхода в бизнес-процесс перевозки означает кардинальный разворот в критериях оценки эффективности использования ЦТ-ресурсов (от показателей уровня «цифровизации» к показателям, определяющим конечные результаты).

Такой поворот ведет к трансформации структуры сервиса от функциональной к матричной и появлению новых ролей, таких как владелец сервиса (ответственный за предоставление, поддержку и развитие сервиса) и менеджеры процессов и функций, обеспечивающих работу сервиса и\или контролирующих результаты этой работы. Считается, что при использовании модели управления и организации производства на основе ЦС бизнес-процесс перевозки пассажиров участники процесса получают следующие преимущества:

- понятные показатели качества (доступность, производительность и т.п.), с четким распределением ответственности, и за понятную, а главное адекватную затратам цену;
- снижение издержек за счет использования принципов трансфертного ценообразования;
- снижение издержек за счет сокращения потерь от некачественной работы ЦС и, как следствие, простоев бизнес-процессов, потери прибыли и т.п.;
- расходы на поддержку ЦС внутри оператора перевозок перестают быть центром затрат и становятся центром инвестиций.

Интеграция бизнеса и ЦС – это модель совместного управления бизнес процессами и синергия усилий по их оптимизации. Основной ценностью подхода является не совместное принятие решений по оптимизации, а формирования центра компетенций по бизнес-процессам и технологиям в рамках одного подразделения, обеспечивающих выполнение сервиса. Создание такого центра компетенций позволит значительно повысить способность предлагать бизнесу эффективные инструменты. Данное решение ведет к изменению структуры управления бизнес-технологическими процессами.

Основная цель – получение синергетического эффекта от оптимизации процессов предоставления ЦС и обеспечение связности между бизнес-процессами и цифровыми сервисами. Построение такой структуры отношений между поставщиком ЦС и оператором перевозки ведет к значительному сокращению рисков и увеличению эффективности вложений в цифровизацию.

Сервисная модель управления вместе с интеграцией бизнеса и ЦС предоставляет дополнительные, к уже описанным, преимущества, такие как:

- достижение устойчивого роста компании-оператора мобильности за счет синергии двух подходов;
- повышение привлекательности бизнес-продуктов, услуг, процессов и операций с учетом современных цифровых инноваций;
- концентрация на реализацию бизнес-задач посредством изменения подходов и технологий.

Переход к сервисной модели управления ИТ, кроме преимуществ, конечно, имеет и ряд рисков. В основном риски связаны с низкой, а подчас и отрицательной мотивацией персонала, руководящего и задействованного в текущих процессах, а зачастую и просто невозможностью руководителей и персонала перестраивать систему сложившихся отношений, так как это приводит в переходный период к критическому снижению эффективности процесса. Это относится как к оператору перевозки и других технологических процессов, так и к поставщикам ЦС. Как следствие, это влечет негативное отношение к столь перспективному инструменту как сервисная модель.

Модель диктует необходимость формирования гибких сервисов, возможно даже сервисов с непериодической востребованностью. Это неизбежно ведет к вынесению большинства стандартных функций по поддержке и сопровождению ИТ-ресурсов на аутсорсинг. Перечислим основные этапы перехода на сервисную модель получения цифровых сервисов для покупателей ЦС, которые рассмотрены в настоящей работе:

- описание целевого состояния сервиса;
- формализация цифровых сервисов и связка их с обеспечивающими бизнес процессами;
- выстраивание обеспечивающих работу сервиса ИТ-процессов на новой основе;

- трансформация функциональной структуры бизнес-технологических процессов с учетом противоречивой мотивации участников;
- выстраивание методов и средств контроля качества выполнения целевых функций.

Еще одним важным фактором, влияющим на эффективность системы, является корректный выбор показателей, которые используются для оценки результатов работы системы и обеспечивают работу механизма обратной связи на уровне стратегии управления. Фактически, речь идет о механизме управления эффективностью перевозок, если под эффективностью подразумевать группу показателей, включающих качество перевозки (комфорт, безопасность) и затраты на нее всеми участниками (пассажирами, перевозчиками, бюджетными организациями).

Управление эффективностью перевозок пассажиров – важнейший элемент пассажирской транспортной системы, который может быть существенно улучшен путем внедрения ЦС. Основным принцип, который необходимо заложить в основу процесса перевозки – многосубъектность управления эффективностью (отказ от моноцентризма). Обычно управление концентрируется у перевозчика или агрегатора перевозок. Внешний контроль его деятельности осуществляется со стороны государственных структур. Субъектами управления эффективностью являются: перевозчики (экономический интерес прежде всего); пассажиры (удовлетворенность временными и финансовыми затратами на поездки и их комфортностью), институты гражданского общества – органы добровольной сертификации и общества защиты прав потребителей, другие саморегулируемые организации, включая регулирующие доступ к профессии перевозчика; надзирающие органы государственной власти и местного самоуправления; саморегулируемые организации.

Контроль отдельных показателей эффективности в действующих системах осуществляется внешним уполномоченным ИОГВ или ИОМВ, а также пассажирами через систему обратных связей, которая при появлении ЦС станет гораздо более динамичной и эффективной.

Другими словами, современная структура транспортной системы должна предусматривать сервис, по автоматизированной оценке, показателей эффективности перевозки пассажиров, получаемых на основе объективных данных в процессе регулярного мониторинга. Основными инструментами влияния на удовлетворенность пассажиров являются сопутствующие поездке сервисы и их удобство для пассажиров. Планирование текущей поездки, подписка на регулярные поездки на определенный период (неделю, месяц) вперед, автоматизация системы оплаты проезда, гибкие тарифные планы и т.п. – важнейшие факторы удовлетворенности, также, как и точность исполнения декларированного графика поездки, возможность выбирать условия повышенного комфорта (например, обеспечивать сидячие места, специальные услуги для лиц с ограниченной мобильностью).

Цифровая трансформация вносит в процесс предоставления информационно-платежных услуг принципиальные изменения по сравнению с традиционными технологиями. Эти изменения связаны с динамичностью мобильных коммуникаций, доступностью технологии дистанционной оплаты, управления собственными ресурсами и планами через интернет или мобильную связь практически в любое время. Современная транспортная система должна отвечать новым запросам, вытекающим из возможностей цифровых технологий. Должны измениться подходы к организации поездок. Поездки по индивидуальному плану с использованием маршрутных и немаршрутных видов транспорта сегодня уже реальность. Система оплаты проезда с помощью наличных денежных средств и, даже, транспортных карт на пластиковых носителях с записью данных на стороне пользователя – сегодня явный анахронизм. Статические табло на остановках, как средство информирования пассажиров о расписаниях, в условиях, когда маршруты становятся гибкими и динамическими явно устарели.

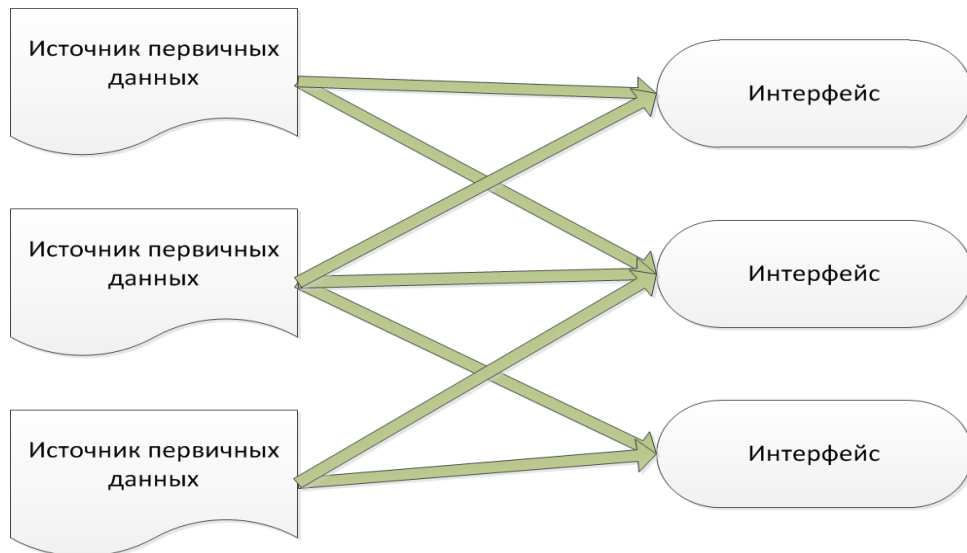
Чтобы удовлетворить современным запросам, ИПС должна обеспечить минимальный функционал, который формируется на основе цифровых функций, указанных в таблице 4.1.

Таблица 4.1- Минимальный функционал ИПС РПТ

№	Функция	Обеспечивающие АПМ
1	Информирование пользователей до и после поездки обо всех условиях перевозки, в т.ч. о маршрутах и расписаниях	Мобильные приложения на смартфоне, колл-центр, WEB- приложения и сайты, электронные СМИ, PUSH сообщения на мобильные устройства
2	Информирование пассажиров во время поездки о текущих параметрах	Мобильные приложения на смартфонах, динамические электронные табло в ТС и на остановках, PUSH сообщения на мобильные устройства
3	Планирование поездки (ок) на заданный период	Интернет сайт, мобильные приложения на смартфонах
4	Организация заказных поездок для пассажира	Мобильные приложения на смартфонах
5	Формирование реестров льготных категорий и прием заявлений на льготы от граждан	Интернет-порталы государственных и ведомственных услуг, оборудование МФЦ
6	Предоставление федеральных и региональных льгот и других привилегий и бонусов	Мобильные приложения на смартфонах, зарегистрированные мобильные телефоны, ридеры пластиковых носителей с идентификатором пассажира
7	Авторизация пассажира в транспортном средстве или в других местах во время получения услуги	Смартфон, мобильный телефон, терминал транспортного средства (кондуктора, водителя, автономный)
8	Пополнение платежных инструментов и выбор тарифного плана	Стандартные банковские мобильные и WEB-приложения, банковские терминалы, мобильные и WEB-приложения
9	Технологическая поддержка предлагаемых услуг для всех участников процесса	Серверное оборудование и ПО, виртуальный колл-центр, периферийное оборудование на транспортных средствах, остановках, пересадочных узлах и др.
10	Контроль оплаты проезда	Терминал кондуктора-контролера (на основе смартфона)

Для реализации требуемого подхода рассматриваются следующие варианты функциональной архитектуры ИПС. В варианте 1 (рисунок 4.3) источники первичных данных предоставляют информацию потребителям без посредника. Фактически, в этом случае каждый перевозчик обслуживает только своих пассажиров.

Вариант 1



Вариант 2

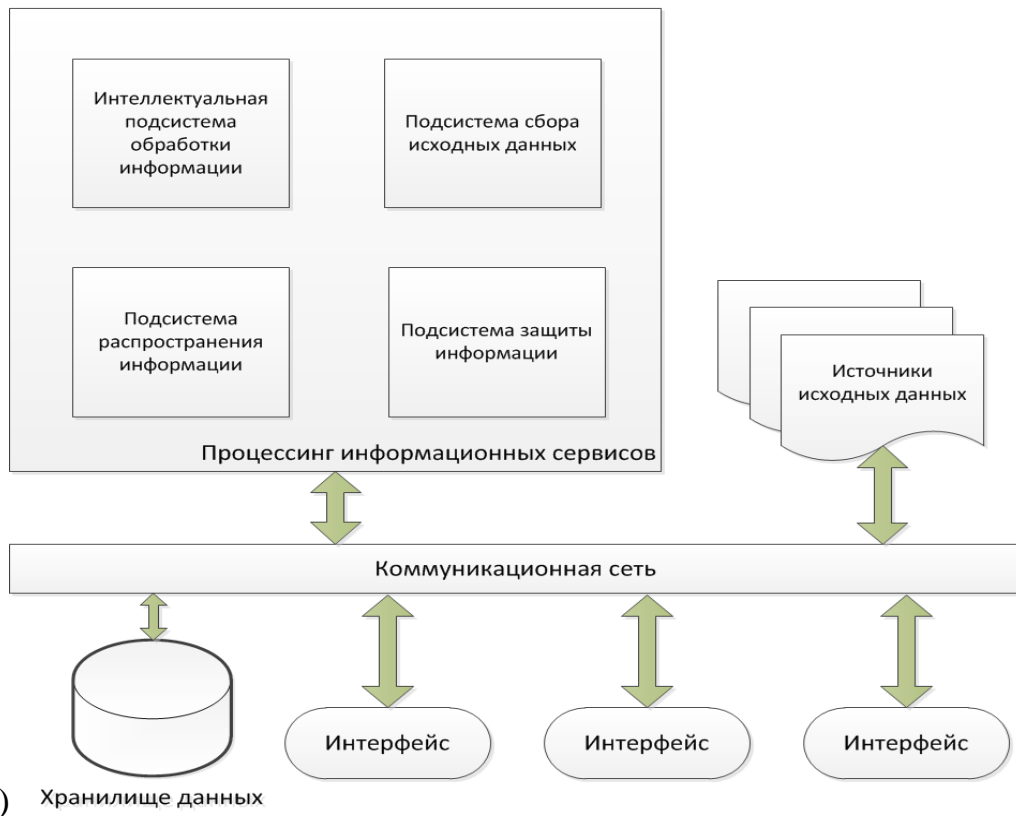


Рисунок 4.3 - Функциональная архитектура единого процессинга ИПС

В более продвинутом варианте 2 (рисунок 4.3) группа перевозчиков, обслуживающих несколько параллельных или пересекающихся маршрутов, создаёт единый центр сбора, обработки и распространения информации (транспортный процессинг). Вариант 1 более эффективен с точки зрения минимизаций затрат при предоставлении обязательной (стандартной) номенклатуры социальных сервисов на «бумажных носителях», вариант 2 – при использовании современных интернет и мобильных технологий. В варианте 2 каждый перевозчик предоставляет первичные данные в процессинг СИС, а данные с процессинга распространяются по всем доступным каналам всем пользователям данного вида ТС. Более сложные системы мульти и интермодальных сервисов чаще всего реализуются по варианту 2. При этом каждый процессинговый центр СИС того или иного вида ТС выступает в качестве источника открытых данных, которыми могут воспользоваться коммерческие компании для обеспечения информацией своей клиентской базы. Организация сбора данных и их преобразования в информационные сообщения – функция оператора цифровых сервисов. Проектируемая информационно-платежная система (ИПС) включает следующие цифровые функции:

- 1) Двухуровневая регистрация* плательщиков и обслуживающего персонала в системе по номеру SIM-карты личного коммуникатора, привязка других носителей (пластиковых банковских и предоплатных карт с NFC, QR-кодом и/или другими средствами) к номерам мобильных коммуникаторов пользователей).
- 2) Авторизация* пользователя в месте предоставления услуги (для пассажира) или в месте выполнения производственного задания (водители, кондуктора-контролеры и др.) через мобильное приложение, телефон, платежные инструменты, входящие в «связку ключей» с базовым ID (номером SIM-карты)
- 3) Информирование пользователей об услугах, способах оплаты, тарифах, льготах, бонусах и т.п., выдача документов, подтверждающих выполнение услуги и оплаты

- 4) Индивидуальное планирование поездки пассажиром: мультимодальной, интермодальной, комплексной (маршрутные и немаршрутные ТС)
- 5) Функция «личный кабинет» для всех участников (управление персональными счетами, история пользования услугами, льготы и бонусы, предварительный заказ поездок, подключение к тарифным планам и т.п.)
- 6) Выполнение расчетов для определения стоимости услуги с учетом льгот и бонусов, взаиморасчеты между поставщиками услуг (получателями платежей), покупателями услуг (плательщиками), банковскими организациями (держателями расчетных счетов), расчет субсидий и т.п.

Системная архитектура ИПС, как подсистемы ЦТЭ представлена на рисунке 4.4. Общая схема алгоритма реализации бизнес-процесса представлена на рисунке 4.5, а общая схема взаимодействия подсистем ИПС и формирования маршрутов в ЦТЭС приведена на рисунке 4.6.

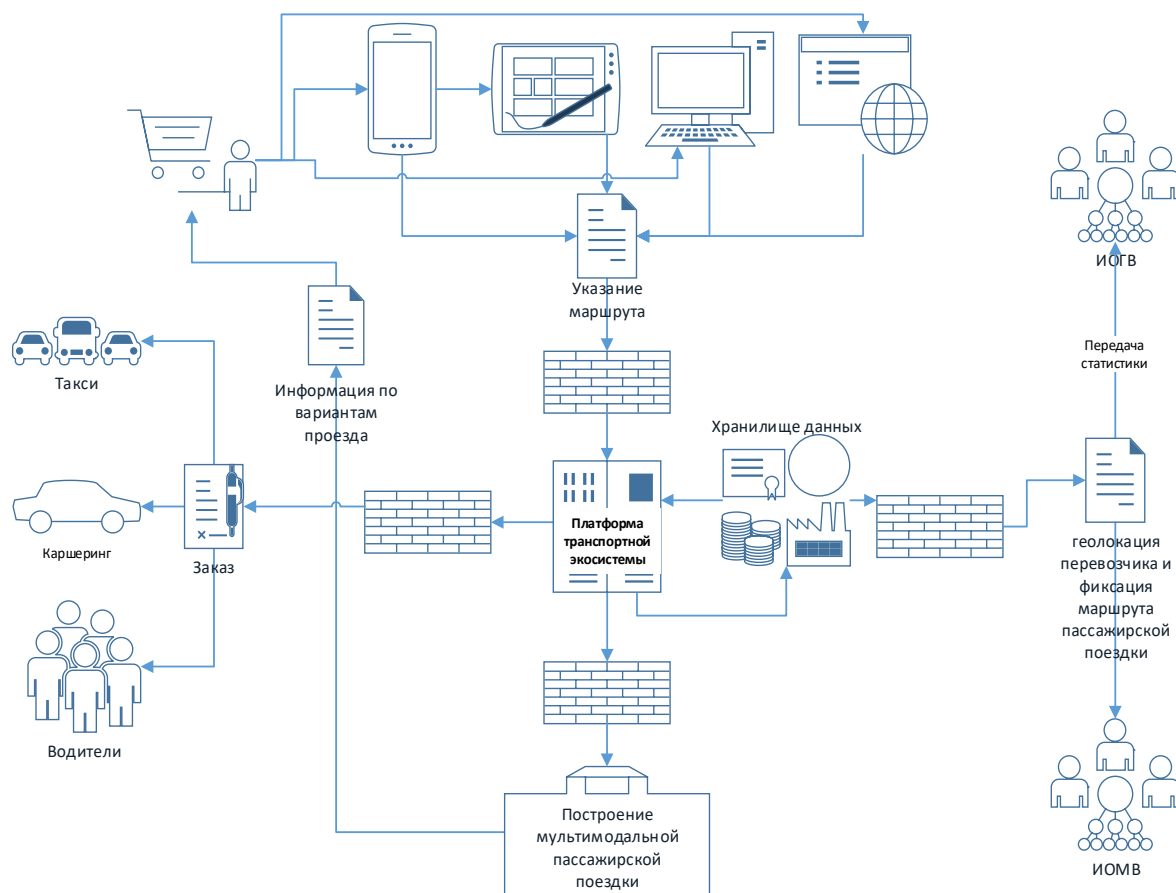


Рисунок 4.4 - Системная архитектура ИПС

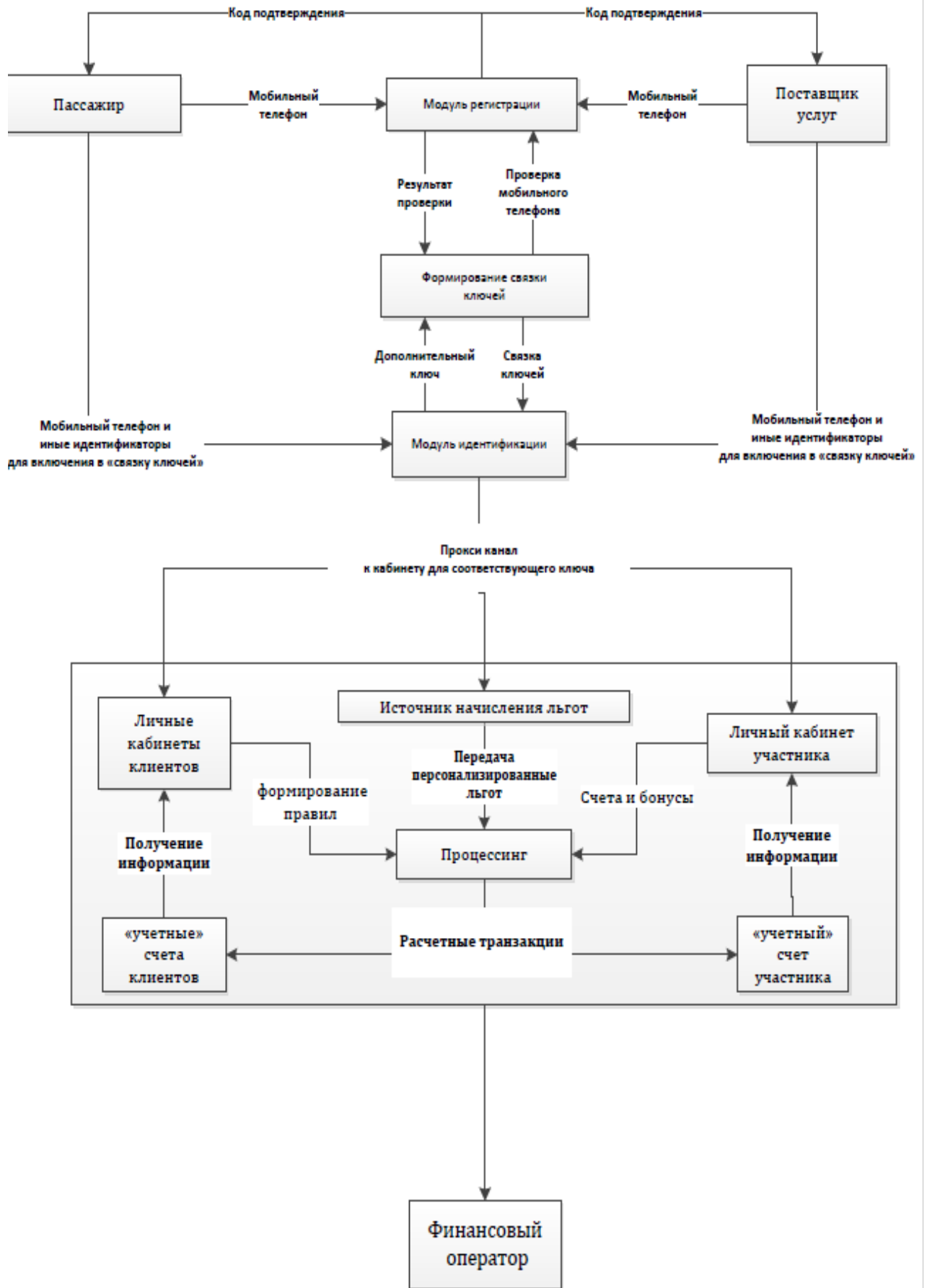


Рисунок 4.5 - Общая схема алгоритма реализации бизнес-процесса (1)



Рисунок 4.6 - Схема взаимодействия подсистем формирования маршрутов и ЦС в ИПС в ЦТЭС

4.2 Апробация методики формирования автобусных маршрутов в комплексе с информационной платежной системой

При проведении экспериментальных исследований были созданы прототипы базовых решений исследования. Каждое из решений прототипа обеспечивает совместимость с действующей системой, что было необходимо для проведения экспериментов и пилотной эксплуатации в системе перевозок. Эксперименты проводились на базе ведущего муниципального перевозчика Санкт-Петербурга СПб ГУП «ПассажирАвтоТранс».

Разработка и испытания прототипов базовых аппаратно-программных модулей (АПМ) для ЦУ РПТ проводились с целью проверки алгоритмов мониторинга пассажиропотоков и построения расписания движения автобусов [Приложение Г] и пилотных испытаниях прототипа ИПС.

Программа экспериментальной части диссертационной работы включала следующие разделы:

- 1) Разработка и реализация прототипов ЦУ и ИПС РПТ в соответствии с методологией и алгоритмами, разработанных в исследовании.
- 2) Проведение испытаний прототипов с использованием транспортных средств и оборудования в реальных условиях перевозки и на базе полигона, предоставленного перевозчиком ГУП «ПассажирАвтоТранс» (СПб).

Испытания по системе ЦУ РПТ проводились в рамках проекта, которые производились по договору с ГУП «ПассажирАвтоТранс» на базе полигона, созданного на основе маршрутных транспортных средств, предоставленных перевозчиком. Программа и методика испытаний каждой подсистемы ориентировалась на оценку соответствия программно-технических решений в целях повышению эффективности регионального и муниципального пассажирского транспорта за счет использования принципов цифровой трансформации технологических и управленческих процессов перевозки пассажиров.

В процессе испытаний оценивались работоспособность созданных решений и технико-экономические характеристики, получаемые в результате их использования, а также возможности реализации методологии последовательно-параллельной (циклической) разработки программно-аппаратных и программных модулей для базовых цифровых сервисов, объединяемых на основе единой цифровой платформы.

В качестве целей проведения исследовательских испытаний на испытательном полигоне было определено:

- проверка работоспособности программных и аппаратных средств, составляющих прототип ЦТЭС в условиях реального технологического процесса перевозки;
- проверка работоспособности прототипа и корректности разработанных алгоритмов в части решения задач оперативного цикла управления перевозками.

Испытания были проведены на испытательном полигоне, включающем определенно размещенные подсистемы прототипа (рисунок 4.7).

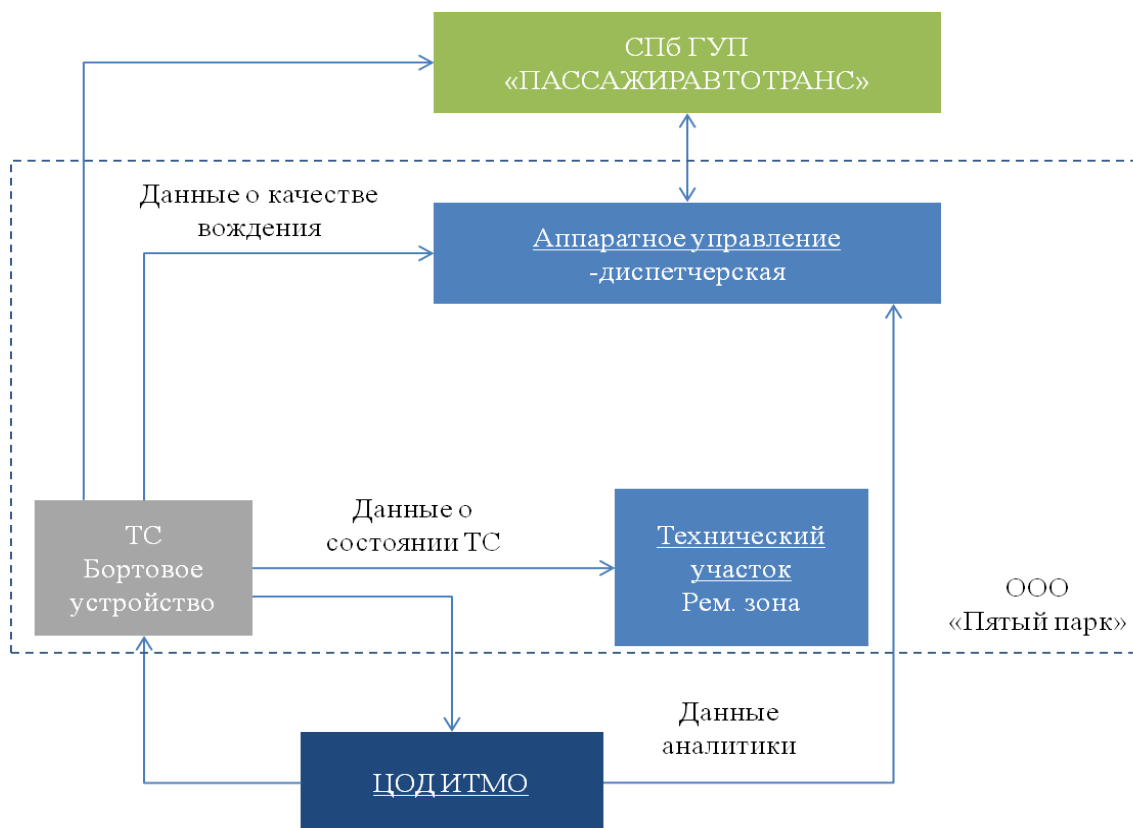


Рисунок 4.7 - Подсистемы прототипа

Местами расположения подсистем ЦТЭС во время проведения испытаний были «Автобусный парк №5» – филиал СПб ГУП «ПассажирАвтоТранс»;

Испытания прототипа проводились на базе маршрутов 7 и 20 пассажирского транспорта СПб в соответствии с разработанной Программой и Методикой испытаний [*Приложение Д*]. Результаты испытаний фиксируются в Протоколе испытаний [*Приложение Е*].

В процессе испытаний производилась оценка комплексности влияния выявленных в процессе испытания отклонения системы от ожидаемого поведения. Диапазоны балльных оценок по 10-и балльной шкале, в соответствии с которыми производилась оценка проводимых испытаний и тестов приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 - Диапазоны оценок проводимых испытаний и тестов по 10-балльной шкале

Группа оценки	Диапазон значений*	Определение
Испытание закончилось критической ошибкой	1-4	Неполадка повлияла на фактическую эффективность работоспособности таким образом, что все зафиксированные фактические значения количественных и качественных характеристик находятся за определенными допустимыми пределами.
На испытании обнаружены серьезные ошибки в работе	5-7	Неполадка повлияла на фактическую эффективность работоспособности таким образом, что часть зафиксированных фактических значений количественных и качественных характеристик находятся за определенными допустимыми пределами.
На испытании обнаружены незначительные отклонения от целевых значений	8-9	Неполадка повлияла на фактическую эффективность работоспособности таким образом, что некоторые зафиксированные фактические значения количественных и качественных характеристик имеют близкие и незначительные отклонения определенных допустимыми пределами.

* - значение 10 присваивалось результату испытания и тестирования, при единогласном отсутствии замечаний у всех членов комиссии.

Члены комиссии, принимавшие участие в испытаниях, отмечали в своих протоколах численное значение оценки отклонения с учетом ее критичности. Полученные индивидуальные протокольные оценки обсуждались на совместном собрании комиссии, на основании чего формируются окончательные – итоговые оценки, с комментариями членов комиссии (при необходимости), заносимые в окончательный протокол испытаний.

Программа испытаний была выполнена в соответствии с методиками, приведёнными в таблице 4.3. Использовалось оборудование и технические решения, предоставленные разработчиками «Университета ИТМО», ГУП «ПассажирАвтоТранс», ООО «Хит Кард», если они соответствовали методологии разрабатываемой в диссертационном исследовании.

Таблица 4.3 - Программа испытаний

Объект испытаний/ Компонент	Вид испытаний (проверок)	Показатели подлежащие оценке ¹
Система РПТ	Испытание алгоритма выявления бортовой системой критических значений движения и передачи сигнала о них в центральный процессинг	Точность срабатывания не хуже 95%
	Получение водителем на бортовое, информационно-сервисное рабочее место водителя, сообщений от диспетчера	Время передачи сообщения от диспетчера водителю – не дольше 30 с на сообщение
	Мониторинг расхода топлива	Снижение расхода топлива не менее чем на 10%, с ТС не участвующими в испытаниях
	Повышение безопасности движения, вследствие формирования рекомендуемых сигналов от диспетчера водителю, по данным мониторинга состояния дорожного покрытия на наличие дефектов и последствий погодных условий	Снижение износа ТС не менее чем на 10%, по сравнению с ТС не участвующими в испытаниях
	Оценка нарушения графиков следования на маршруте	Доля регулярного посещения не менее 95%
Подсистема диспетчеризации и оперативного реагирования	Редактирование диспетчером маршрута и расписания для транспортного средства и передача от диспетчера водителю информация об	Удобство редактора: юзабилити интерфейса и скорость отклика

Объект испытаний/ Компонент	Вид испытаний (проверок)	Показатели подлежащие оценке ¹
	изменении маршрутного задания	
	Получение водителем на бортовое, информационно-сервисное рабочее место водителя, сообщений от диспетчера с измененным маршрутом и расписанием	Время загрузки нового маршрута в информационно-сервисное рабочее место водителя не дольше 3 минут
Система аналитики	Подготовка отчетов по данным мониторинга состояния водителя и качества вождения для АРМ менеджера	Оперативный отчет за смену- по окончании смены; Аналитический – не реже 1 раза в неделю
	Подготовка отчетов по данным мониторинга технического состояния т	Сводный аналитический – не реже 1 раза в неделю
	Подготовка отчетов по данным мониторинга выполнения маршрутного задания для АРМ Диспетчера	Оперативный отчет за смену- по окончании смены
АРМ регистрация участников	Проверка механизма авторизации водителя, диспетчера, менеджера	Точность идентификации 100%
Подсистема идентификации местоположения ТС на маршруте	С использованием системы спутникового геопозиционирования	На трассе не хуже 10 метров
	С использованием комплекса позиционирования транспортного средства относительно остановочных пунктов	На остановочных пунктах – не хуже 1 м
Подсистема подсчета числа пассажиропотока в ТС	Испытание оптико-электронной системы подсчета пассажиров	Точность определения числа входящих и выходящих пассажиров на уровне не менее 95%
	Испытание системы подсчёта пассажиров на базе ИК анализатора	
Модуль акустической диагностики движения транспортного средства	Испытание системы акустической диагностики технического состояния ТС	<ol style="list-style-type: none"> 1. Пространственная чувствительности данных анализатора; 2. Формирование эталонных спектров различных механизмов; 3. Формирование эталонных спектров различных механизмов ТС.

В процессе тестирования проверялись достаточность точности методов оценки на основе 3-х мерных координат и ускорений. Эти данные используются как базовые для выявления критических ситуаций, контроля объемов и качества транспортной работы, выявления скрытых нарушений отчетности по корреляциям

данных, получаемых от различных транспортных средств, водителей, при разных внешних условиях, на разных маршрутах.

Мониторинг движения транспортного средства с помощью датчиков ускорения, установленных в бортовом оборудовании ТС и/или в мобильных устройствах пассажиров является наиболее информативным источником для принятия ряда управленческих решений по управлению пассажирской транспортной системой. Сочетание данных геопозиционирования, получаемых от приборов спутниковой навигации, от дополнительных устройств, повышающих достоверность и точность координат транспортного средства, с данными, получаемыми от датчиков ускорений, позволяет создать интеллектуальную аналитику, обеспечивающую высокое качество автоматизированного управления на всех уровнях (операционное, тактическое, стратегическое). В основе этой системы алгоритмы мониторинга на основе динамики информационной энтропии, рассмотренные в главе настоящей работы. Поэтому, главной целью эксперимента была проверка гипотезы о достаточной точности и достоверности данных измеряемых в процессе мониторинга. Для этого проводились следующие эксперименты:

1. Проводился сбор данных с бортовых датчиков на 4-х автобусах маршрута 200 (СПб, ГУП «Пассажиравтотранс») в течение длительного периода (порядка 4 месяцев) с разными водителями и в разные временные интервалы. Эти данные записывались и сохранялись для последующей обработки.
2. Прототип периферийного модуля (бортового процессора) принимал предварительно полученные и записанные значения координат и ускорений по осям X, Y, Z , а также необходимую сопутствующую информацию (внешние условия, данные водителя и ТС и т.п.).
3. В испытываемом прототипе производилась обработка данных, с целью выявления стандартного и нестандартного вождения, расходов топлива, определения профиля дорожного покрытия.
4. Полученные данные сравнивались с контрольными значениями, а также между собой в разные последовательные моменты времени, что позволяло

формировать прогнозное значение интегрального показателя и сравнивать насколько текущее значение отличается от прогнозного.

5. На последнем этапе было произведено сопоставление исходной и полученной последовательности, которое показывает точность и достоверность исходных данных и оценить возможности алгоритма обработки.

В результате, путем статистической обработки данных и сопоставления их с известными заранее контрольными показателями, была получена оценка точности и достоверности выявления бортовой системой критических значений движения и передачи сигнала о них в центральный процессинг прототипа. В частности, был сделан вывод о низкой достоверности по разным причинам данных геопозиционирования, что практически очень сильно снижало возможности принятия обоснованных управленческих решений, информирования пассажиров о времени прибытия ТС на остановку, создавало проблемы для управления трафиком, создавало почву для злоупотреблений и т.п.

Поэтому проверялась гипотеза о возможности повышения точности и достоверности оценок местоположения ТС путем использования дополнительного по отношению к системе спутниковой навигации комплекса позиционирования транспортного средства относительно остановочных пунктов и/или референсных станций. Лучший результат показал оптико-электронный метод с использованием комплекса позиционирования ТС относительно остановочных пунктов. Испытание проводилось для ряда остановочных пунктов, на которых были размещены оптико-электронные комплексы идентификации прибытия ТС к остановке.

Процесс идентификации местоположения ТС сопровождался видеофиксацией и мониторингом на экране диспетчера.

Особенностью эксперимента было получение информации о месте расположения транспортного средства не из собственной системы геопозиционирования, а через уточнение (алгоритмическая обработка данных с оптико-электронных комплексов идентификации прибытия транспортного средства к остановке) положения относительно стационарного объекта.

В ходе испытания была произведена визуальная, фото и лог фиксация отражение местоположение ТС в геоинформационной системе мониторинга, в области не более 10 метров от остановочного пункта.

Также производилась параллельная визуальная, фотофиксация положения ТС геопозиционируемой точке относительно остановочного пункта, с заданной точностью. Тестирование алгоритма идентификации местоположения ТС на маршруте с использованием комплекса позиционирования транспортного средства относительно остановочных пунктов показало, что указанным способом можно периодически корректировать погрешности измерения спутниковыми навигационными средствами в моменты прохождения ТС около остановок с известными и стабильными координатами, а в промежутках между остановками, вычислять геопозицию расчетным путем по измеряемым значениям ускорений. Другая дополнительная возможность – создание индивидуального профиля маршрута для каждого водителя, построенного на комбинации данных координат, скоростей и ускорений и определить оптимальный, с точки зрения экономии топлива, безопасности, времени перевозки, вариант. Еще один важный параметр для оценки объемов транспортной работы – подсчет числа входящих и выходящих пассажиров с использованием оптико-электронной системы подсчета пассажиров и системы подсчёта пассажиров на базе ИК анализатора. Было выявлено, что более точной оценки входящего и выходящего потока пассажиров, чем 5%, добиться практически нереально из-за высокой стоимости и сложности предлагаемых разными производителями решений с использованием видеонаблюдения. Однако можно достаточно точно (с погрешностью меньше 1%) вычислить число пассажиров, побывавших в автобусе с момента отправления с начального пункта до момента прибытия на конечный с помощью тепловизионных ИК датчиков, установленных над входами-выходами. Такие датчики обеспечивают оценку общего потока перевезенных пассажиров, которая может использоваться для выявления скрытых корреляций между реальными и отчетными данными по количеству перевезенных пассажиров с достаточной точностью и достоверностью. Эксперимент проводился следующим образом.

1. На первом этапе производилась организация входа и выход заранее известного числа пассажиров.
2. Далее производилась визуальная и фото фиксация количества входящих и выходящих пассажиров.
3. После чего производилось сравнение полученных данных фиксации п.2. с данными приборной фиксации.
4. На последнем этапе испытания производилось сравнение полученной точности фиксации с заданной.

Подсчет числа пассажиров параллельно осуществлялся с использованием ИК анализатора и «ручным подсчетом» на остановочных пунктах, для чего осуществлялась визуальная и фотофиксация количества входящих и выходящих пассажиров. Производилось сравнение полученных данных фиксации с данными приборной фиксации и оценка полученной точности фиксации двумя способами.

Полная группа экспериментов проводилась в процессе пилотных испытаний прототипа ИПС, ход которых, результаты и выводы комиссии по приемке результатов отражены в Протоколе испытаний [*Приложение E*].

4.3 Экономическое обоснование эффективности внедрения методики формирования автобусных маршрутов в цифровых транспортных экосистемах

На основе изложенного подхода была спроектирована стандартная финансовая модель экосистемы ЦТЭС и проведены расчеты на исходных данных конкретного региона (Ленинградская область), в котором используется разработанная в диссертации методология, как совокупность комплекс методов формирования маршрутов автобусов и ИПС в ЦТЭС.

Представленная модель, в первую очередь, отличается от традиционных тем, что в ней рассмотрены новые источники дохода, возникающие от коммерческой реализации прямых транспортных и косвенных сопутствующих услуг. Примерами прямых услуг является предоставление услуги перевозки пассажирам, доход от которой распределяется между перевозчиками, операторами цифровых сервисов, инвесторами (государственными и/или частными) и другими участниками (например, банками, обеспечивающими пополнение платежных инструментов, микрокредитование типа отложенный платеж пассажирам и т.п.). Дополнительные информационные услуги, основанные на данных, получаемых от мониторинга (например, точное текущее геопозиционирование, матрицы пассажирских корреспонденций, данные контроля состояния дорожного покрытия и других объектов транспортной инфраструктуры в зоне движения маршрутных ТС и т.п.) представляют коммерческий интерес для сетевых пассажирских сервисов, ремонтных служб, торговых и коммерческих предприятий и др. Важным источником доходов является продажа прав (лицензий на право подключения немаршрутных средств к мультимодальной поездке, аренду мест в узлах пересадки, рекламы т др.). Также изменяется структура расходов для всех участников (перевозчиков, пассажиров, ИОГВ), что обусловлено оптимизацией траекторий поездки и использованию в качестве периферийного оборудования крупносерийных мобильных гаджетов с гарантированным внешним сервисным обслуживанием и уменьшение доли узкоспециализированных устройств. Также важным обстоятельством является сокращение штатов на обслуживание, снижение простоев по причине отказа информационных систем, за счет существенного более высокой надежности серийного оборудования и программного обеспечения, по сравнению с узкоспециальным. Возможность использования всех указанных факторов появилась, благодаря последовательно реализованной методологии разработки и внедрения на основе универсальных цифровых сервисов и стандартных программно-аппаратных и программных функциональных модулей. С точки зрения главного потребителя услуг-пассажира, также произошли существенные изменения. Основные из них сокращение затрат времени на поездку.

Экспериментальные данные для экономической модели получены в одной из типовых зон застройки СПб (район станций метро «Гражданский проспект» и «Проспект Просвещения»). От граждан собирались предварительные заказы с недельным графиком поездок, выявлялась корреляция между интересами граждан-заказчиков, формировались «гибкие» маршруты автобусов или микроавтобусов для групповой поездки до ближайшей станции метро, которые обеспечивали посадку в удобном для пассажиров месте и доставляли их за минимально возможное время до станции метро, которая была наиболее удобна для дальнейшей поездки. Пассажиры, место работы которых находилось в районе указанной станции метро, также регистрировались или собирались онлайн для групповой доставки до места работы. Показатели эффективности формирования новых автобусных маршрутов приведены в таблице 4.4. При этом, пассажиры ездили с повышенным комфортом (сидячие места), посадка и высадка обеспечивалась в наиболее удобных местах, возможность отказа или переноса поездки реализовывалась через колл-центр или приложение.

Таблица 4.4 – Показатели эффективности на сформированных маршрутах

Показатель эффективности	Значение	Δ , %
Среднее время поездки для пассажиров, с учётом сокращения времени ожидания автобуса , мин.	40	- 20...25
Комфортабельность	Только сидячие места	
Стоимость аренды ТС, руб./час	1000...14000	
Коэффициент загрузки	0,8	+10
Среднее расстояние поездки, км	5...6	+5
Стоимость разовой поездки составляла, руб.	40	-

Эти результаты очевидно показывают существенное повышение эффективности поездки для пассажиров, снижение нагрузки в часы пик на общественный маршрутный местный транспорт, что благоприятно сказывается на всех показателях эффективности. Комплексная экономическая модель при внедрении разработок исследования представлена на рисунке 4.8.

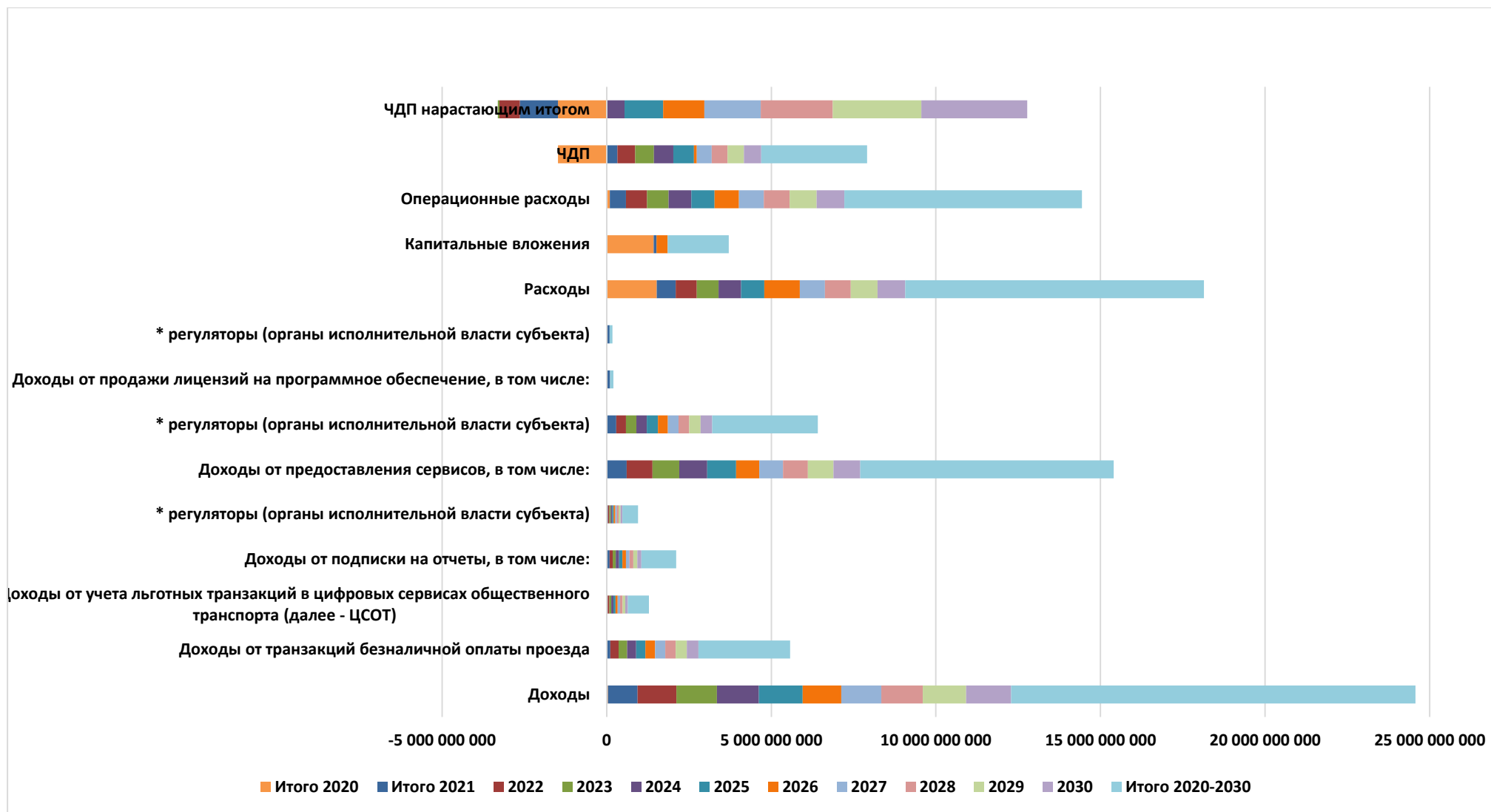


Рисунок 4.8 – Комплексная экономическая модель проекта внедрения ЦТЭС в Ленинградской области

Выводы по четвёртой главе

В четвертой главе выполнена апробация и определение эффективности применения методики формирования маршрутов в цифровых транспортных экосистемах:

1. Обоснована необходимость применения цифровых технологий в управлении сложными социально-экономическими системами и доказано, что ЦС в настоящее время является самостоятельным инновационным продуктом, способствующем повышению эффективности существующих бизнес-процессов и являющимся самостоятельной бизнес-услугой, реализуемой с использованием ИКТ.
2. Определена структура и состав сервисно-ориентированной организации пассажирской транспортной системы с при внедрении цифровых технологий.
3. Разработан классификатор поколений развития пассажирских транспортных систем, в котором отражены основные отличительные черты прошлых (поколение 1.0), существующих (2.0 и 3.0) поколений, а также будущих (4.0, 5.0) состояний.
4. Определен необходимый набор цифровых сервисов (ЦС), обеспечивающих универсальный комплексный мониторинг основных параметров технологических параметров ЦТЭС и информационно-платежных функций.
5. Приведены экспериментальные исследования и испытания прототипов базовых аппаратно-программных модулей для ЦУ ЦТЭС, производимые с целью проверки разработанных алгоритмов мониторинга пассажиропотоков и построения расписания движения автобусов и пилотных испытаниях прототипа ИПС.
6. Дано экономическое обоснование методики формирования автобусных маршрутов в комплексе с ИПС основанной цифровых сервисах в виде комплексной экономической модели внедрения разработок исследования в Ленинградской области.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе выполненных научно-методических исследований, реализованных в новых математических моделях, разработана методика формирования автобусных маршрутов в цифровых транспортных экосистемах. При создании методики формирования маршрутной сети применялись аналитические модели теории принятия решения в информационных ситуациях, характеризующихся как ситуации с неопределенным состоянием среды исследования. Эффективность разработанной методики формирования автобусных маршрутов в цифровых транспортных экосистемах достигается за счет использования современных цифровых ресурсов и алгоритмов, позволяющих производить «он-лайн» мониторинг пассажиропотоков и объективную аналитическую обработку больших объемов данных при формировании графика движения автобусов. Для достижения цели исследования решены следующие задачи:

1. Разработана концептуальная архитектура системы контроля и управления движения автобусов в ЦТЭС.
2. Разработаны аналитические модели формирования автобусных маршрутов, позволяющих учитывать неограниченное количество критериев эффективности и качества транспортных услуг.
3. Определен необходимый набор цифровых сервисов (ЦС), обеспечивающих универсальный комплексный мониторинг основных параметров технологических параметров ЦТЭС и информационно-платежных функций.
4. Разработаны алгоритмы автоматизированного построения расписания автобусов, позволяющие синхронизировать мультимодальные поездки пассажиров в сложных пассажирских системах.
5. Разработана структура сервисно-ориентированной организации пассажирской транспортной системы с элементами цифровых сервисов.

- б. Выполнена апробация и экономическое обоснование методики формирования автобусных маршрутов в комплексе с ИПС основанной цифровых сервисах.

Эффективность разработанной методики формирования автобусных маршрутов в цифровых транспортных экосистемах подтверждена апробацией её в ряде экспериментальных исследований и испытаний, показавшим улучшений важнейших качественных показателей транспортного обслуживания населения: среднее время поездки для пассажиров, с учётом сокращения времени ожидания автобуса сократилось на 20 ...25 % при повышении коэффициента наполнения автобусов на 10% при соблюдении обязательных требований комфортабельности (поездки только на сидячих местах).

Разработанный в исследовании научно-методический подход является необходимым компонентом эффективного развития НГПТ в РФ в направлении создания интеллектуальной системы управления пассажирским транспортом, посредством формирования ЦТЭС отдельных регионов с последующее интеграцией в единую систему. Поэтому разработанные в исследовании инструментов решения задач управления в ЦТЭС, а именно, методика формирования автобусных маршрутов в цифровых транспортных экосистемах является решением важной народнохозяйственной проблемы гарантированного повышения качества транспортных услуг, предоставляемых населению в РФ.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АПМ – аппаратно-программный модуль

АСУ – автоматизированные системы управления

АТП – автотранспортное предприятие

АТС – автотранспортное средство

ИКД – инфракрасный датчик

ИМ – инновационная мобильность

ИОГВ – исполнительные органы государственной власти

ИОМВ – исполнительные органы муниципальной власти

ИПС – информационная платежная система

ИТС – интеллектуальные транспортные системы

МАИ – метод анализа иерархий

МДС – мультимодальная дистрибутивная система

НГПТ – наземный городской пассажирский транспорт

ОИВ – органы исполнительной власти

ООП – объектно-ориентированный подход

ОТС – общая теория систем

ОФД – оператор фискальных данных

ПО – программное обеспечение

ПОП – предметно-ориентированный подход

СОА – сервисно-ориентированная архитектура

ТПН – транспортная подвижность населения

ТСС – теория сложных систем

ЦС – цифровой сервис

ЦСОТ – цифровые системы общественного транспорта

ЦТ – цифровая технология

ЦТЭС – цифровая транспортная экосистема

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Терентьев, А.В. Объектно-ориентированные модели управления - основа цифровой транспортной логистики/ А.В. Терентьев., С.С. Евтюков, Е.А. Карелина, В.А Терентьева// Грузовик. 2019. № 8. М., Изд-во «Инновационное машиностроение» С. 32-35.
2. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2018: статистический сборник (официальное издание) / Росстат. - М.: 2016. 284 с.
3. Транспорт в России. 2018. Статистический сборник (официальное издание)/ - М.: Росстат., 2018 г. -101 с.
4. Транспорт и связь в России: Статистический сборник (официальное издание)/ - М.: Росстат., 2018 г. С 52.
5. «Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года» (утверждена распоряжение Правительства Российской Федерации от 22 ноября 2008 года №1734-р)/ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mintrans.gov.ru/documents/2/1009>. Дата обращения: 11.08. 2018 г.
6. Стратегия развития транспортной системы Санкт-Петербурга и Ленинградской области на период до 2030 года. Том 1. Пояснительная записка. Санкт-Петербург: ООО «Транспортная интеграция» 2016 г.
7. Урманцев, Ю.А. Начала общей теории систем / Ю.А. Урманцев//в кн. Системный анализ и научное знание. - М.: Наука. 1978 г. -С. 7 – 41/
8. Месарович, М. Общая теория систем: математические основы / М. Месаревич, Н. Такахара — М.: Мир, 1978 -311 с.
9. Монахов, С.В. Методология анализа и проектирования сложных информационных систем/С.В. Монахов, В.П. Савиных, В.Я. Цветков. -М.: Просвещение, 2005. -264с.
10. Луман, Н. Введение в системную теорию/ Н. Луман// — Из-во «Логос», 2007. - 360 с.

11. Кудж, С.А. Многоаспектность рассмотрения сложных систем/ С.А. Кудж // Перспективы науки и образования. 2014, №1. – С. 38-43
12. Бышов, Н.В. Экономическая эффективность, оценка качества и совершенствование управления пассажирскими перевозками в регионе. Экономические основы функционирования предприятий автомобильного транспорта: Учебное пособие / Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, А.Б. Мартынушкин, А.В. Шемякин, К.П. Андреев, В.В. Терентьев. - Рязань: РГАТУ, 2019. - 326 с.
13. Экономическое обоснование эффективности и качества пассажирских перевозок автомобильным транспортом: Монография / К.П. Андреев, Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, И.Н. Горячкина, Н.А. Коньчева, А.Б. Мартынушкин, Т.В. Мелькумова, В.В. Терентьев, А.В. Шемякин, И.В. Федоскина. - Курск: ЗАО «Университетская книга», 2019. - 129 с.
14. Бышов, Н.В. Экономическая эффективность деятельности автодорожного комплекса Рязанской области / Н.В. Бышов, Е.В. Лунин, Е.А. Межорин, А.Б. Мартынушкин, Н.А. Коньчева, И.В. Федоскина // Экономика и оценка эффективности и качества пассажирских перевозок в автотранспортном предприятии. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Департамент научнотехнологической политики и образования. – Рязань, 2014. – 371 с.
15. Коньчева, Н.А. Управление эффективностью и качеством пассажирских автоперевозок в регионе: дисс ... канд экон. наук / Н.А. Коньчева. – Тамбов, 2005. – 171 с.
16. Андреев, К.П. Проведение мероприятий для повышения качества обслуживания пассажиров / К.П. Андреев, В.В. Терентьев, А.В. Шемякин // В сб.: Поколение будущего: Взгляд молодых ученых - 2017 Сборник научных статей 6-й Международной молодежной научной конференции. - 2017. - С. 33-35.
17. Киселев, В.А. Оптимизация транспортной инфраструктуры городов/ В.А. Киселев, А.В. Шемякин, С.Д. Полищук, В.В. Терентьев, К.П. Андреев, Д.Г. Чурилов // Транспортное дело России. - 2018. - № 5. - С. 138-140.

18. Коньчева, Н.А. Методика оценки уровня качества автотранспортного обслуживания / Н.А. Коньчева, А.Б. Мартынушкин, К.П. Андреев, В.В. Терентьев // Бюллетень транспортной информации. - 2019. - № 6 (288). - С. 22-26.
19. Аникин, Н.В. Анализ методик оценки социально-экономического эффекта пассажирских перевозок автомобильным транспортом / Н.В. Аникин, И.Н. Горячкина, А.Б. Мартынушкин, А.В. Подъяблонский, В.В. Терентьев // Транспортное дело России. - 2019. - № 4. - С. 66-70.
20. Чеканов, О.С. Экономическая оценка выполнения перевозок пассажиров / О.С. Чеканов, А.Б. Мартынушкин // Сб.: Актуальные вопросы применения инженерной науки: Материалы международной студенческой научно-практической конференции. - Рязань: РГАТУ, 2019. - С. 306-312.
21. Мартынушкин, А.Б. Методика расчета интегрального показателя качества обслуживания населения автомобильным пассажирским транспортом / А.Б. Мартынушкин // В сборнике: Современные автомобильные материалы и технологии (САМИТ - 2019) сборник статей XI Международной научно-технической конференции. - Курск - 2019. - С. 199-203.
22. Терентьев, А.С. Метод экономической оценки качества обслуживания населения пассажирским транспортом / А.С. Терентьев, Г.К. Рембалович, А.В. Шемякин, А.Б. Мартынушкин, Е.А. Матюнина, К.С. Алексахина / TRANSPORT BUSINESS IN RUSSIA. №5, 2019. С 111-113.
23. Саати Томас Л. Многокритериальная оптимизация: теория, вычисления, приложения / Т. Саати, Р. Штойер. - М.: Наука, 1982, – С.14-29
24. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий /Т.Саати//. - М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.
25. Подиновский, В.В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач / В.В. Подиновский, В.Д. Ногин. - М.: Наука, 1982. - С.9-64.
26. Подиновский, В.В. и др. О некорректности метода анализа иерархий //Проблемы управления. – 2011. – №. 1

27. Прудовский, Б.Д. Количественные методы управления автомобильным транспортом/ Б.Д. Прудовский. – М.: Транспорт, 1976. – 88 с.
28. Прудовский, Б.Д. Управление технической эксплуатацией автомобилей по нормативным показателям / Б.Д. Прудовский, В.Б. Ухарский. –М.: Транспорт, 1990 г. – 239 с
29. Терентьев, А.В. Аналитические методы снятия неопределённости – основа цифровизации автотранспортного производства / А.В. Терентьев, С.С. Евтюков, Е.А. Карелина, Е.В. Куракина - СПб: Издательский дом «Петрополис», 2018 г. - 210 с.
30. Пассажирские перевозки: учебник для вузов /В.А. Гудков [и др.]. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006.
31. Спирин, И.В. Организация и управление пассажирскими перевозками: учебник/ И.В. Спирин. - М.: Академия, 2010.
32. Пассажирские автомобильные перевозки: учебник / В.Л. Гудков, Л.Б. Миротин, А.В. Вельможи, С.А. Ширяев под ред. В.А. Гудкова. М.: Горячая линия — Телеком, 2004. С. 79.
33. Организация перевозок и безопасность движения: учебник/ А.С. Афанасьев и др.// электронное издание на CD-R. № государственной регистрации электронного издания – 0321800366. -СПб: ФГБОУ «Санкт-Петербургский горный университет», 2017 г.
34. Гудков В.А. Технология, организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками: учеб. для вузов / В.А. Гудков, Л.Б. Миротин; под ред. Л.Б. Миротина. – М.: Транспорт, 1997. – 254 с.
35. Вильсон, Д. Энтропийные методы моделирования сложных систем / Д. Вильсон. – М.: Наука, 1987. – 248 с/
36. Володин, Е.П. – Организация и планирование перевозок пассажиров автомобильным транспортом / Е.П. Володин, Н.Н. Громов. – М.: «Транспорт», 1982. – 224 с.
37. Варелопуло, Г.А. Организация движения и перевозок на городском пассажирском транспорте / Г.А. Варелопуло – М.: Транспорт, 1990. – 208 с.

38. Глик, Ф.Г. Обследование транспортных потоков и прогнозирование нагрузки сети городских улиц и дорог / Ф.Г. Глик // Социальноэкономические проблемы развития транспортных систем городов: материалы четвертой Междунар. (седьмой екатеринбургской) науч.-практ. конф. – Екатеринбург: Комвакс, 1998. – С. 59–61.
39. ГОСТ Р 54723-2011 «Глобальная навигационная спутниковая система диспетчерского управления городским пассажирским транспортом. Назначение, состав и характеристики решаемых задач подсистемы анализа пассажиропотоков».
40. Samuil Gorelik, Vitaly Lyaper. Breaking the Barriers of e-Participation: The Experience of Russian Digital Office Development [Электронный ресурс] // URL: http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-10178-1_14
41. Arbib, J, Seba, T., Kok, I., Zou, Y. S., Gordon, J., Mercer, B. (2017). Rethinking Transportation 2020 -2030: The Disruption of Transportation and the Collapse of the Internal-Combustion Vehicle and Oil Industries. San Francisco, USA: Rethink X, https://static1.squarespace.com/static/585c3439be65942f022bbf9b/t/591a2e4be6f2e1c13df930c5/1494888038959/RethinkX+Report_051517.pdf
42. Transportation Technology and Social Trends Are Creating a New Business Ecosystem. New York, USA: Deloitte University Press, Technology Solutions, Cummins Website, <http://investor.cummins.com/phoenix.zhtml?c=112916&p=irol-newsArticle&ID=2297183>
43. Freese, C., Schönberg, A. T., Horstkötter, D. (2014). Shared Mobility: How new businesses are rewriting the rules of the private transportation game. Roland Berger Strategy München, http://www.rolandberger.de/media/pdf/Roland_Berger_TAB_Shared_Mobility_20140716.pdf
44. Штефан Кнупфер, Вадим Покотило, Джонатан Вотцель. Транспортные системы 24 городов мира: составляющие успеха. Urban-transportation-systems_rus_e-version.ashx. Июнь 2018. Электронный ресурс:

- https://www.mckinsey.com/ru/~ /media/McKinsey/Business%20Functions/Sustainability/Our%20Insights/Elements%20of%20success%20Urban%20transportation%20systems%20of%2024%20global%20cities/Urban-transportation-systems_rus_e-version.ashx.
45. Tucker, I. (2018). Air taxis: we have lift – off. The Guardian International Edition, <https://www.theguardian.com/technology/2018/mar/04/air-taxis-we-have-lift-off-airbus-vahana-ehang-volocopter-uber-elevate-lilium>
 46. Review of Future Transportation Concepts and Technologies: The Future of Transportation Executive Briefing 2018. UKi Media & Events, <http://viewer.zmags.com/publication/5c1843a2#/5c1843a2/1>
 47. Mobility of the Future – Examining future changes in the transportation sector. MIT Energy Initiative, <http://energy.mit.edu/research/mobility-future-study/> accessed online 06/05/2018
 48. Hiroki Sayama. Introduction to the Modeling and Analysis of Complex Systems. — Open SUNY Textbooks, Milne Library. State University of New York at Geneseo, 2015. - 498p.
 49. Цветков, В.Я. Эмерджентизм /В.Я. Цветков // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – № 2-1. – С. 137-138.
 50. Эшби, У.Р. Принципы самоорганизации/У.Р. Эшби — М.: Мир, 1966. 332с.
 51. Динер, И.Я. Районирование множества векторов состояния природы и задача выбора решения/И.Я. Динер //В кн.: Исследование операций. М.: Наука, 1972. С. 43-62.
 52. Simon, H.A. “The architecture of complexity” Proceedings of the American Philosophical Society, vol. 106, no. 6, pp. 467–482, 1962 год.
 53. Матрусова, Т.Н. Организация как социотехническая система и управление персоналом в японской фирме/Т.Н. Матрусова //Труд за рубежом.- М.: НИИ труда. – 1999. – №. 4. – С. 77-93
 54. Корнаков, А.Н. Модель сложной организационно-технической системы // Перспективы науки и образования/А.Н.Корнаков — 2015. — №2. – с.44-50.

55. Парсонс, Т. Социальные системы/Т. Парсонс //Личность. Культура. Общество. – 2003. – Т. 5. – №. 1-2. – С. 169-203.
56. Цветков, В.Я. Систематика сложных систем/ В.Я Цветков//Современные технологии управления. №7 (79). Номер статьи: 7903. Дата публикации: 31.07.2017-07-3. Режим доступа: <https://sovman.ru/article/7903/>.
57. Tsvetkov V.Ya., Lobanov A.A. Big Data as Information Barrier // European researcher, Series A. 2014, Vol.(78), № 7-1, p. 1237-1242.
58. Цыганов, В.В. Интеллектуальное предприятие.: механизмы овладения капиталом и властью (теория и практика управления эволюцией организации) / В.В. Цыганов, В.А. Бородин, Г.Б. Шишкин — М.: Университетская книга, 2004. — 768 с.
59. US Public Law 102-240, Intermodal Surface Transportation Efficiency Act of 1991.
60. US Public Law 105-178 Transportation Equity Act for the 21st Century (TEA-21), 1998.
61. History of Intelligent Transportation Systems // U.S. department of transportation, report FHWA-JPO-16-329, 2016.
62. Synthesis of Active Traffic Management Experiences in Europe and the United States // FHWA, 2010.
63. Active Traffic Management for Arterials // National Cooperative Highway Research Program, 2013.
64. Романов, Б.Л., Слободецкий Д.Я. Взаимодействие объектов в объектно-ориентированной среде/ Л.Б. Романов, Д.Я. Слободецкий /Труды ИСА РАН. Институт системного анализа РАН. Т.45 – 2009 г. – С 59-67.
65. MaaS4EU - End-to-End Approach for Mobility-as-a-Service tools, business models, enabling framework and evidence for European seamless mobility. Innovation and Networks Executive Agency - European Commission [Электронный ресурс] // URL: <https://ec.europa.eu/inea/en/horizon-2020/projects/h2020-transport/intelligent-transport-systems/maas4eu> (дата обращения: 05.02.2019).
66. MaaS4EU - Mobility as a Service for European Union. MaaS4EU [Электронный ресурс] // URL: <http://www.maas4eu.eu/> (дата обращения: 05.02.2019)
67. Козырев, А.Н. Цифровая экономика и цифровизация в исторической ретроспективе /А.Н. Козырев// [Электронный ресурс]. URL:

- <http://Medium.com>СЕМІ-RAS, Ноябрь, № 11, 2017 г. (дата обращения: 10.05.2018).
68. Negroponte N. Being Digital / N. Negroponte. — NY : Knopf, 1995 [Электронный ресурс]. URL: <http://inance.ru/2017/09/cifrovaya-ekonomika/> (дата обращения: 11.05.2019).
69. Розина И.Н. Цифровизация образования [Электронный ресурс]. URL: <http://ito.lgb.ru/tezises/1027.doc> (дата обращения: 17.03.2019).
70. В.Г. Халин. Цифровизация и её влияние на российскую экономику и общество: преимущества, вызовы, угрозы и риски/ В.Г. Халин, Г.В. Чернова//Власть и экономика: управление и риски. №10, 2018 г. С. 46-63
71. «Глобальный отчет по информационным технологиям» (The Global Information Technology Report) / [Электронный ресурс]. URL: <http://gtmarket.ru/ratings/networked-readiness-index/networkedreadiness-index-info> (дата обращения: 19.12.2018).
72. Пегат, А. Нечеткое моделирование и управление / А. Пегат: пер. с англ. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. -798 с.
73. Прудовский, Б.Д. Методы решения многокритериальных автотранспортных задач / Б.Д. Прудовский // Вестник гражданских инженеров. – СПб: СПбГАСУ, 2015. –2(49), -С.154-159/
74. Черноруцкий, И.Г. Методы принятия решений / И.Г. Черноруцкий. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.
75. Терентьев, А.В. Аналитическое определение весовых коэффициентов при многокритериальной оценке эффективности автотранспортных средств /М.Ю. Карелина, И.В. Арифиллин, А.В. Терентьев//Вестник МАДИ. - 2018. № 1 (52) С.3-9
76. ГОСТ Р 51004-96 Услуги транспортные. Пассажирские перевозки. Номенклатура показателей качества. Электронный фонд правовой и научно-технической информации [Электронный ресурс] // URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-51004-96> (дата обращения: 28.08.2020).

77. Федеральный закон от 27 июня 2011 г. N 161-ФЗ «О национальной платежной системе» [Электронный ресурс] // URL: <http://docs.cntd.ru/document/902286143> (дата обращения: 28.02.2020).
78. Третье поколение территориальных пассажирских транспортных систем. С.Л. Горелик, И.А. Иванов, В.В. Лещинский, А.А. Малахов/ Региональная информатика (РИ-2016). Юбилейная XV Санкт-Петербургская международная конференция «Региональная информатика (РИ-2016)». Санкт-Петербург, 26-28 октября 2016 г.: Секция 10: Вычислительная техника. Информационные системы и технологии
79. Доклад Правительству Российской Федерации о ходе реализации программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы/ Президент РАН, академик А.М. Сергеев, член-корреспондент В.В. Иванов, Российская Академия Наук, Москва. 2020 г. – 1107 с.
80. Асеев, С.М. Принцип максимума Понтрягина и задачи оптимального экономического роста/ С.М. Асеев, А.В. Кряжимский //Труды Математического института имени В. А. Стеклова. Издательство. МИРОС - МАИК "Наука / Интерпериодика". 2007
81. Терентьев, А.В. Научно-методический подход к многокритериальной оценке срока эксплуатации автомобиля/ Терентьев Алексей Вячеславович. //автореферат диссертации на соискание степени доктора технических наук по науч. спец 05.22.10. [http://dis.spbgasu.ru/specialtys/personal/terentev-aleksey-vyacheslavovich /Lfnf_gjcklytuj_j,hfotybz](http://dis.spbgasu.ru/specialtys/personal/terentev-aleksey-vyacheslavovich/Lfnf_gjcklytuj_j,hfotybz) 17/09/2019/
82. Демин, В.А. Методика достижения динамического баланса между величинами пропускных способностей транспортно-складских комплексов и грузопотоков в логистических системах /В.А. Демин, М.Ю. Карелина, А.В. Терентьев //Логистика. – М.: Агенство Маркет Гайд, 2018. №2 (135). С. 32-36.
83. Пассажирские автомобильные перевозки: Учебник для студентов ВУЗов, обучающихся по специальности «Эксплуатация автомобильного транспорта» /Л. Л. Афанасьев, А. И. Воркут, А. Б. Дьяков, Л. Б. Миротин, Н. Б. Островский; под ред. Н. Б. Островского. — М.: Транспорт, 1986. - 220 с.

84. Блатнов, М.Д. Пассажи́рские автомоби́льные перево́зки/М.Д. Блатнов. - М.: Транспорт, 1981. - 224 с.
85. Варелопуло, Г.А. Организация движения и перевозок на городском пассажирском транспорте/ Г.А. Варелуполо Г.А. - М.: Транспорт, 1981, - 200 с.
86. Володин, Е.П. Организация и планирование перевозок пассажиров автомобильным транспортом/ Е.П. Володин, Н.Н. Громов, - М.: Транспорт, 1981. - 224 с.
87. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации/ Электронный ресурс. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200009796>. Дата обращения 02.12.2019 г.
88. Нургалиев, Е.Р. Логистические подходы к городским автобусным перевозкам по предварительным заявкам/Е.Р. Нургалиев, М.С Турпищева// Вестник АГТУ. 2015. №2 (60). С. 41-45.
89. Турпищева, М.С. Управление транспортной системой на основе моделирования взаимоувязанного движения автотранспортных и пассажирских потоков / М. С. Турпищева, Е. Р. Нургалиев // Инновационные технологии в машиностроении: проблемы, задачи, решения: сб. науч. тр. Орск: Изд-во Орск. гуманитар.- технолог. ин-та (филиала) ОГУ, 2012. С. 210–215.
90. Турпищева, М.С. Математическое моделирование пассажиропотоков на автомобильном транспорте/М.С. Турпищева, Е.Р. Нургалиев// Интерстроймех-2011: материалы Междунар. науч.-техн. конф. Могилев: Белорус. -Рос. ун-т, 2011. С. 311–315.
91. Гудков, В.А. Математическое моделирование муниципальных автотранспортных пассажирских перевозок / В. А. Гудков, М. С. Турпищева, Е. Р. Нургалиев // Автотранспортное предприятие. 2010. № 4. С. 35–37.
92. Турпищева, М.С. Методика оценки качества системы пассажирских автоперевозок / М. С. Турпищева, Е. Р. Нургалиев // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. 2014. № 1 (57). С. 42–46.

93. Нургалиев, Е.Р. Логистические модели пассажирских транспортных комплексов / М. С. Турпищева, Е. Р. Нургалиев // Сб. науч. тр. № 5 по направлению «Технология, организация и управление автомобильными перевозками. Теория и практика» Всерос. 66-й науч.-практ. конф. на базе ФГБОУ ВПО СибАДИ. Омск: СибАДИ, 2012. С. 115–121.
94. Турпищева, М. С. Моделирование системы логистических операций методами теории массового обслуживания / М. С. Турпищева, Е. Р. Нургалиев / Евразийский союз ученых. 2014. № 9 (17). Ч. 2 .С.42–45.
95. Нургалиев, Е.Р. Математическое моделирование автотранспортных пассажирских перевозок / Е. Р. Нургалиев: моногр. / LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. 122 с.
96. Индекс цифровизации экономики и общества DESI (Digital Economy and Society Index) [Электронный ресурс]. URL: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/desi> (дата обращения: 10.05.2018)
97. «Стратегия развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы», утверждена Указом Президента РФ от 9 мая 2017 г. № 2032/ [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/docs/all/112831/> (дата обращения: 11.05.2019)
98. «Цифровая экономика Российской Федерации», Государственная программа, принята распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 г. № 1632-р/ [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/docs/all/112831/> (дата обращения: 23.10.2019).
99. Grönroos, C. On Value and Value Creation in Service: A Management Perspective [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/2394964317727196> (дата обращения: 30.08.2019)
100. Chu Z, Wang Q., Lado A. Customer orientation, relationship quality, and performance: The third-party logistics provider's perspective. The International Journal of Logistics Management, 2016, I. 27 (sn3), pp. 738-754.

101. Green Carmichael, S. The Flash Report: The Global Digital Economy. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://hbr.org/2016/04/the-flash-report-the-global-digital-economy> (дата обращения: 22.08.2019).
102. Heinonen, K. Reconceptualizing customer value: The value of time and place. *Managing Service Quality*, 2004, I. 14 (sn2-3), pp. 205-215.
103. ITIL «Service Strategy». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.smlogic.ru/g-it-s/itil/s-strat/> (дата обращения 25.12.2019).
104. Зараменских, Е.П. Цифровые сервисы: их атрибуты и связь с архитектурой предприятия/ Е.П. Зараменских//Стратегии и инновации. Вестник финансового университета при Правительстве РФ. №10, 2018 г. – С.36-42.
105. Schrage, M. Rethinking the Value of Customers in a Digital Economy. April, 11, 2016. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sloanreview.mit.edu/article/rethinking-the-value-of-customers-in-a-digital-economy/> (дата обращения 15.12.2019).
106. Vargo S. L., Maglio P. P., & Akaka M. A. On value and value creation: a service systems and service logic perspective // *European Management Journal*. – 2008. – I. 26(sn3). – Pp. 145-152.
107. Wessel, M. Creating Value in a digital economy. 2017 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://hbr.org/webinar/2017/01/creating-value-in-a-digital-economy> (дата обращения: 15.08.2018).
108. Engelsman, W., Iacob, M. E., Franken, H. M. Architecture-driven requirements engineering, in *Proceedings of the 2009 ACM Symposium on Applied Computing (SAC '09)*. – Honolulu, Hawaii, 2009. – Pp. 285-286.
109. Скэнтлбери, С. Проектирование цифровых организаций [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.bcg.com/ru-ru/about/bcg-review/design-of-digital-organizations.aspx> (дата обращения: 24.11.2019).

ПРИЛОЖЕНИЯ

Показатели, характеризующие парк эксплуатационных автобусов в РФ
(на конец 2018 года; в процентах к итогу)

	2005	2010	2015	2016	2017
Эксплуатационные автобусы, находящиеся на балансе организаций – всего	100	100	100	100	100
в том числе находящиеся в эксплуатации, лет:					
до 5	31	42	36	38	37
5,1 – 10	24	29	41	38	38
свыше 10	45	29	23	24	25
в том числе имеющие возможность использовать в качестве моторного топлива:					
только бензин	...	60	47	11	10
только дизтопливо	...	36	46	77	76
природный газ в качестве моторного топлива	6	10	12
прочие виды топлива	...	4	1	2	2

Объем перевозки пассажиров и пассажирооборот автобусов общего пользования по видам сообщения в РФ

	2005	2010	2015	2016	2017
Перевезено пассажиров автобусами – всего, млн. человек	11297,1	7600,7	6059,8	6330,5	6585,5
в том числе по видам сообщения:					
городское	9276,0	5919,9	5019,4	5157,7	5425,2
пригородное	1855,2	1494,9	937,7	1057,4	1047,0
междугородное	164,2	184,4	101,1	114,0	111,7
международное	1,7	1,5	1,6	1,4	1,6
Пассажирооборот автобусов – всего, млрд. пассажиро-км	96284,2	86108,6	62717,7	68000,3	69120,9
в том числе по видам сообщения:					
городское	48856,6	39069,5	32344,8	34705,5	35937,8
пригородное	30332,8	26134,8	18090,9	19663,1	19621,3
междугородное	16721,1	20542,0	11928,7	13261,2	13122,8
международное	373,7	362,3	353,3	370,5	439,0

Пассажирооборот автомобильного транспорта
(млрд. пасс-км)

	2005	2010	2014	2015	2016
Россия²⁾	142,4	140,9	127,4	126,6	124,7
Азербайджан	10,9	16,6	23,0	23,8	24,4
Армения	2,1	2,5	2,5	2,4	2,4
Беларусь	9,3	10,3	10,1	9,7	10,2
Бельгия	120,3	126,8	123,5	121,4	119,7
Болгария	48,8	57,5	65,4	69,4	68,8
Венгрия	67,2	69,1	70,4	72,4	74,5
Германия	923,9	948,8	978,6	992,0	1011
Италия	778,0	800,6	745,7	779,0	807,6
Казахстан	91,7	126,2	217,1	222,7	237,2
Киргизия	5,7	7,1	8,5	8,9	9,4
Китай	929,2	1502	1100	1074	1023
Нидерланды	153,6	149,0	149,5	144,4	145,8
Норвегия	58,3	63,3	67,3	68,8	69,3
Польша	201,5	230,5	236,2	238,2	240,6
Республика Молдова	2,1	2,5	2,8	2,9	3,1
Румыния	72,8	91,3	103,5	107,4	114,3
Соединенное Королевство (Великобритания)	711,1	690,9	695,5	696,0	703,4
США	7402	6337	6552	6715	6874
Таджикистан	5,0	6,6	6,8	6,9	6,6
Турция	195,0	226,9	276,1	290,7	300,9
Узбекистан	38,6	67,2	88,9	95,0	99,7
Украина ³⁾	52,5	52,0	42,6	34,6	34,6
Франция	761,1	764,6	784,1	801,6	823,6
Швеция	117,2	117,4	120,0	121,7	124,4
Япония	933,0

¹⁾ Включая такси.

²⁾ 2017 г. - 123,9 млрд. пассажиро-км.

³⁾ Без учета такси.

Классификатор поколений развития пассажирских транспортных систем

	1,0	2,0	3,0 «цифровизация»	4,0 «комфорт + безопасность»	5,0 «комфорт»+безопасность+ интеграция в ИСО
Уровень комфорта во время поездки	Высокая загруженность автобуса. Поручни для пассажиров, без сидячих мест. Отсутствие ремней безопасности.	Высокая загруженность автобуса, поручни для пассажиров без сидячих мест, отсутствие ремней безопасности.	Информационное сопровождение пассажиров во время и до начала поездки, точность выполнения расписания, минимальные затраты времени на ожидание, планирование поездки онлайн	Автоматическое сопровождение от точки (А) (дом, работа и др.) до точки (В) с посадкой в удобных для пассажира местах. Только сидячие места. Ремни безопасности. WiKFi, видео, персональное информирование.	Автоматическое определение оптимальных траекторий и времени перемещения (А→В) с учётом взаимодействия различных видов транспорта, характера элементов (магистраль др. участки инфраструктуры) и загруженности УДС, желаемого уровня комфорта.
Оплата проезда	Бумажные разовые билеты. Месячные карты на предъявителя, документы на льготы	Транспортные карты типа MiFare, разовые бумажные билеты.	Электронная безналичная оплата с использованием универсальных платежных и банковских технологий, мобильных коммуникаторов и приложений.	Автоматическая оплата с банковского счета по тарифным планам и с учетом персональных льгот и тарифных планов. Без кондуктора и контролера. Автоматическая фиксация пребывания в транспортном средстве.	Автоматическая оплата проезда и услуг с банковского счета по тарифным планам и с учетом персональных льгот и тарифных планов. Автоматическая фиксация пребывания в различных транспортных средствах, пересадочных узлах т.е. на всём маршруте движения.
Мультимо дальние поездки с пересадкой	Практическое отсутствие возможности планирования	Предварительное планирование поездки с помощью мобильных и интернет приложений.	Единая система предварительного планирования для пассажира, согласование расписаний, Персональное информирование пассажиров во время поездки. Онлайн планирование маршрута	Сочетание магистральных и «заказных» маршрутов. Пересадки на магистральный транспорт по согласованному расписанию. Использование личного транспорта для попутных пассажиров, электронная регистрация попутчиков и предоставлением им выделенных полос для	Сочетание альтернативных маршрутов и видов транспорта по траектории движения, пересадки на магистральный и др. виды транспорта по «он-лайн» траектории движения. Движение в однонаправленных потоках движения по выделенным участкам УДС. Оперативное взаимодействие с такси, метрополитеном и др. видами пассажирского транспорта

	1,0	2,0	3,0 «цифровизация»	4,0 «комфорт + безопасность»	5,0 «комфорт»+безопасность+ интеграция в ИСО
				движения. Оперативное взаимодействие с такси.	
Диспетчеризация	Голосовая связь с водителем	Геопозиционирование Автоматический контроль объемов транспортной работы. Оперативная связь с водителем. 1 диспетчер – не более 40 ТС	Геопозиционирование, Автоматический контроль объемов и качества транспортной работы, Оперативная связь с водителем 1 диспетчер – более 70 ТС	Автоматизированное управление движением транспорта «Он-лайн взаимодействие с пассажирами. 1 диспетчер – более 100 ТС	Автоматическое управление движения всеми видами пассажирского транспорта на основании совокупности траекторий движения пассажиров. 1 диспетчер - участок магистрали или УДС.
Управление	Бумажная отчетность, Выездные проверки	Регулярная автоматизированная отчетность. Принятие управленческих решений на основании экспертных предложений (оценок)	Автоматизированная аналитика с высокой достоверностью, автоматизированная подготовка управленческих решений. Использование элементов интеллектуальных алгоритмов, формирование базы знаний, прогнозы через моделирование развития ситуаций базы данных.	Автоматическое формирование матрицы корреспонденций и оптимизация маршрутов. Разделение функций перевозчика и оператора перевозок. Регулярная обратная связь от пассажира. Использование «полубеспилотных» и беспилотных транспортных средств на магистральных маршрутах.	Система управления пассажирскими перевозками, как подсистема интеллектуальной транспортной системы (ИТС) мегаполиса. Максимальное использование беспилотных транспортных средств на маршрутах.

РАСЧЕТА ГРАФИКА ДВИЖЕНИЯ АВТОБУСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМА «ИНТЕРВАЛ»

Расписание движения автобусов на проектируемом маршруту:

Начало движения из КП и 7.00 ($\gamma=0420$)Начало движения из НП и 7.00 ($\alpha=0420$) $I = 13, t_{\text{ко1}}^1 = t_{\text{ко2}}^1 = 3,$ $t_{\text{с1}}^1 = t_{\text{с2}}^1 = 25$ $t_{\text{п1}}^1 = t_{\text{п2}}^1 = 28$

№	НП прибытие	$t_{\text{ко1}}^1$	НП оправление	КП прибытие	$t_{\text{ко2}}^1$	КП (02) отправление	НП прибытие
			прямой			обратный	
1	$c = \alpha = 6:29$ $c = c - t_{\text{с1}}^1 - t_{\text{ко2}}^1 - t_{\text{ко1}}^1$ 0389:01:0000:00	3 (1)	$c = c - t_{\text{с1}}^1 - t_{\text{ко2}}^1$ 0392(0394):01:0000:00	$c = c - t_{\text{ко2}}^1$ 0000:01:0419(0418):02	3 (1)	$c = \gamma = 7:00$ - 0420:02:0000:00:	$c = \alpha = 7:25$ $c = c + t_{\text{с2}}^1$ 0000:00:0445:01
			0392 (0394):01 – 0417(0418):02			0420:02 - 0445:01	
2	$c = \alpha = 6:42$ $c = c + I$ 0402:01:0000:00	3 (1)	$c = c - t_{\text{с1}}^1 - t_{\text{ко2}}^1$ 0405 (0407):01:0000:00	$c = c - t_{\text{ко2}}^1$ 0000:00:0430(0432):02	3 (1)	$c = \gamma = 7:13$ $c = c + I$ 0433:02:0000:00	$c = \alpha = 7:38$ $c = c + t_{\text{с2}}^1$ 0000:00:0458:01
			0405(0407):01- 0430(0432):02			0433:02 - 0458:01	
3	$c = \alpha = 6:55$ $c = c + I$ 0415:01:0000:00	3	$c = 6:58$ $c = c - t_{\text{с1}}^1 - t_{\text{ко2}}^1$ ($c = \alpha = 7:00$) 0418:01:0000:00 (0420:01:0000:00)	$c = 7:23$ $c = c - t_{\text{ко2}}^1$ ($c = \gamma = 7:25$) 0000:00:0443:02 (0000:00:0445:02)	1	$c = \gamma = 7:26$ $c = c + t_{\text{ко2}}^1$ 0446:02:0000:00	$c = \alpha = 7:51$ $c = c + t_{\text{с2}}^1$ 0000:00:0471:01
			0418:01 - 0443:02 0420:01- 0445:02			0446:02-0471:01	
4			$c = \alpha = 7:13$ $c = c + t_{\text{ко1}}^1$ 0433:01:0000:00	$c = \gamma = 7:38$ $c = c + t_{\text{с1}}^1$ 000:00:0458:02	1	$c = \gamma = 7:39$ $c = c + t_{\text{ко2}}^1$ 0459:02:0000:00:	$c = \alpha = 8:04$ $c = c + t_{\text{с2}}^1$ 0000:00:0484:01
			0433:01 - 0458:02			0459:02-0484:01	
1	$c = \alpha = 7:25$ 0445:01: 0000:00	1	$c = \alpha = 7:26$ $c = c + t_{\text{с2}}^1$ 0446:01:0000:00	$c = \gamma = 7:51$ $c = c + t_{\text{с1}}^1$ 0000:00:0471:02	1	$c = \gamma = 7:52$ $c = c + t_{\text{ко2}}^1$ 0472:02:0000:00	$c = \alpha = 8:17$ $c = c + t_{\text{с2}}^1$ 0000:00:0497:01
			0446:01-0469:02			0497:02- 0497:01	
2	$c = \alpha = 7:38$ 0458:01: 0000:00:	1	$c = \alpha = 7:39$ 0459:01:0000:00	$c = \gamma = 8:04$ 0000:00-0484:02	1	$c = \gamma = 8:05$ 0485:02:0000:00	$c = \alpha = 8:30$ 0000:00:0510:01
			0459:01- 0484:02			0485:02- 0510:01	
3	$c = \alpha = 7:51$ 0471:01: 0000:00	1	$c = \alpha = 7:52$ 0472:01: 0000:00:	$c = \gamma = 8:17$ 0000:00:0497:02	1	$c = \gamma = 8:18$ 0498:02:0000:00	$c = \alpha = 8:43$ 0000:00:0523:01
			0472:01-0497:02			0498:02-0523:01	

№	НП прибытие	$t_{\text{ко1}}^1$	НП оправление	КП прибытие	$t_{\text{ко2}}^1$	КП (02) отправление	НП прибытие	
4	$c = \alpha = 8:04$ 0484:01:0000:00	1	$c = \alpha = 8:05$ 0485:01:0000:00	$c = \alpha = 8:30$ 0000:00:0510:02	1	$c = \gamma = 8:11$ 0511:02:0000:00	$c = \alpha = 8:46$ 0000:00:0536:01	
	0485:01-0510:02			0511:02-0536:01				
прямой			обратный					
1	$c = \alpha = 8:17$ 0497:01:0000:00	50(52)	$c = \alpha = 9:07$ 0547:01:0000:00					ОБЕД: 1. Соб. < Тоб 2. Тоб < Соб. < N*И
5	$c = \alpha = 8:17$ 0497:01:0000:00	1	$c = \alpha = 8:18$ 0498:01:0000:00	$c = \gamma = 8:43$ 0000:00:0523:02	1	$c = \gamma = 8:44$ 0524:02:0000:00	$c = \alpha = 9:09$ 0000:00:0549:01	
	0498:01-0523:02			0524:02- 0549:01				
2	$c = \alpha = 8:30$ 0510:01:0000:00	1	$c = \alpha = 8:31$ 0511:01:0000:00	$c = \gamma = 8:56$ 0000:00:0536:02	1	$c = \gamma = 8:57$ 0537:02:0000:00	$c = \alpha = 9:22$ 0000:00:0562:01	
	0459:01- 0484:02			0485:02- 0510:01				
3	$c = \alpha = 8:43$ 0523:01:0000:00	1	$c = \alpha = 8:44$ 0524:01:0000:00:	$c = \gamma = 9:09$ 0000:00:0549:02	1	$c = \gamma = 9:10$ 0550:02:0000:00	$c = \alpha = 9:35$ 0000:00:0575:01	
	0524:01-0549:02			0550:02-0575:01				
4	$c = \alpha = 8:46$ 0536:01:0000:00	1	$c = \alpha = 8:47$ 0537:01:0000:00	$c = \gamma = 9:22$ 0000:00:0562:02	1	$c = \gamma = 9:23$ 0563:02:0000:00	$c = \alpha = 9:48$ 0000:00:0588:01	
	0537:01-0562:02			0563:02-0588:01				
1	$c = \alpha = 9:09$ 0549:01:0000:00	1	$c = \alpha = 9:10$ 0550:01:0000:00	$c = \gamma = 9:35$ 0000:00:0575:02	1	$c = \gamma = 9:36$ 0576:02:0000:00	$c = \alpha = 10:01$ 0000:00:0601:01	
	0550:01- 0575:02			0576:02-0601:01				
2	$c = \alpha = 9:22$ 0562:01:0000:00	1	$c = \alpha = 9:23$ 0563:01:0000:00	$c = \gamma = 9:48$ 0000:00:0588:02	1	$c = \gamma = 9:49$ 0589:02:0000:00	$c = \alpha = 10:14$ 0000:00:0614:01	
	0563:01- 0588:02			0589:02-0614:01				
3	$c = \alpha = 9:35$ 0575:01:0000:00	1	$c = \alpha = 9:36$ 0576:01:0000:00	$c = \gamma = 10:01$ 0000:00:0601:02	1	$c = \gamma = 10:02$ 0602:02:0000:00	$c = \alpha = 10:27$ 0000:00:0627:01	
	0576:01-0601:02			0602:02-0627:01				
4	$c = \alpha = 9:48$ 0588:01:0000:00	1	$c = \alpha = 9:49$ 0589:01:0000:00	$c = \gamma = 10:14$ 0000:00:0614:02	1	$c = \gamma = 10:15$ 0615:02:0000:00	$c = \alpha = 10:30$ 0000:00:0630:01	
	0589:01-0614:02			0615:02- 0630:01				
1	$c = \alpha = 10:01$ 0601:01:0000:00	2	$c = \alpha = 10:03$ 0603:01:0000:00	$c = \gamma = 10:28$ 0000:00:0628:02	2	$c = \gamma = 10:30$ 0630:02:0000:00	$c = \alpha = 10:55$ 0000:00:0655:01	1. И=18 увеличение 2. И=8 уменьшение
	0603:01-0628:02			0630:02-0655:01				
2	$c = \alpha = 10:14$ 0614:01:0000:00:	7	$c = \alpha = 10:21$ 0621:01:0000:00	$c = \gamma = 10:46$ 0000:00:0646:02	2	$c = \gamma = 10:48$ 0648:02:0000:00	$c = \alpha = 11:13$ 0000:00:0673:01	
	0621:01-0646:02			0648:02: 0673:01				
3	$c = \alpha = 10:27$ 0627:01:0000:00	12	$c = \alpha = 10:39$ 0639:01:0000:00	$c = \gamma = 11:04$ 0000:00:0664:02	2	$c = \gamma = 11:06$ 0666:02:0000:00	$c = \alpha = 10:31$ 0000:00-0691:01	
	0639:01-0664:02			0666:02- 0691:02				

№	НП прибытие	$t_{\text{ко1}}^1$	НП отправление	КП прибытие	$t_{\text{ко2}}^1$	КП (02) отправление	НП прибытие	
1	$c = \alpha = 10:55$ 0655:01:0000:00	2	$c = \alpha = 10:57$ 0657:02:0000:00	$c = \gamma = 11:22$ 0000:00:0682:02	2	$c = \gamma = 11:24$ 0684:02:0000:00	$c = \alpha = 10:49$ 0000:00-0709:02	
			0657:02-0682:02			0684:02-0709:02		
2	$c = \alpha = 11:13$ 0673:01:0000:00	2	$c = \alpha = 11:15$ 0675:02:0000:00					

РАСПИСАНИЕ ДВИЖЕНИЯ АВТОБУСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМА «ИНТЕРВАЛ»

7:00:00	16:19:00
7:13:00	16:32:00
7:26:00	16:45:00
7:39:00	16:58:00
7:52:00	17:11:00
8:05:00	17:24:00
8:18:00	17:37:00
8:31:00	17:50:00
8:44:00	18:03:00
8:57:00	18:16:00
9:10:00	18:29:00
9:23:00	18:42:00
9:36:00	18:55:00
9:49:00	19:08:00
10:02:00	19:21:00
10:15:00	19:34:00
10:28:00	19:47:00
10:41:00	20:00:00
10:54:00	20:13:00
11:07:00	20:26:00
11:20:00	20:39:00
11:33:00	20:52:00
11:46:00	21:05:00
11:59:00	21:18:00
12:12:00	21:31:00
12:25:00	21:44:00
12:38:00	21:57:00
12:51:00	22:10:00
13:04:00	22:23:00
13:17:00	22:36:00
13:30:00	22:49:00
13:43:00	23:02:00
13:56:00	23:15:00
14:09:00	23:28:00
14:22:00	
14:35:00	
14:48:00	
15:01:00	
15:14:00	
15:27:00	
15:40:00	
15:53:00	
16:06:00	

ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ

Информационно-платежная система для наземного пассажирского транспорта.

(Соглашение о сотрудничестве и совместной деятельности по реализации проекта 12-08 от 01 августа 2019 года между Университетом ИТМО, ООО «Хит Кард», ГУП «ПассажирАвтоТранс»)

1. **Назначение:** Настоящий документ содержит перечень испытываемых функций, сроки испытаний, методику оценки результатов по пилотному проекту Информационно-платежная система (в части оплаты проезда и смежных услуг), далее - ИПС).

2. **Используемые документы:** Документ разработан в соответствии с следующими документами:

- протокол совещания от 25.06.2019 № УИС-П001/19;
- РД 50-34.698-90 «Методические указания. Информационная технология. Комплекс стандартов и руководящих документов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Требования к содержанию документов»;
- ГОСТ 34.603-92 «Информационная технология. Виды испытаний автоматизированных систем».

3. **Функции, обеспечиваемые ИПС**

- 3.1. Регистрация пользователя, управление профилем
- 3.2. Авторизация пользователя в транспортном средстве
- 3.3. Взаиморасчеты между пассажиром, оператором ИПС, перевозчиком и ОРГП для простых и мультимодальных поездок
- 3.4. Формирование финансовых и аналитических отчетов для всех участников (в том числе, электронного документа для пассажира, подтверждающего выполнение услуги перевозки, акты взаиморасчетов, фискальные чеки и др.)
- 3.5. Контроль авторизации в транспортном средстве кондуктором-контролером.
- 3.6. Выбор маршрута поездки
- 3.7. Информирование о месте и времени посадки
- 3.8. Пополнение текущего счета (электронного кошелька пользователя)
- 3.9. Хранение и Просмотр истории поездок
- 3.10. Регистрация и Авторизация кондуктора-контролера
- 3.11. Оперативный просмотр сведений об авторизации (оплате) кондуктором-контролером (подтверждение оплаты для учета и контроля)

3.12. Расчет стоимости мультимодального маршрута, бонусов, льгот

4. **Используемое в процессе испытаний оборудование**

- 4.1 Состав оборудования:
 - смартфоны пассажиров (iOS, OS Андроид 6.0+),
 - терминал кондуктора-контролера (смартфон ОС Андроид 6.0+, единый корпус 5.0+ дюймов, автономность – не менее 20 часов, NFC связь, 3G/4G, GPRS, Wi-Fi b/g/n, Wi-Fi Direct, Bluetooth 5.0, GPS, A-GP)
 - зарядное устройство АКБ смартфона (220 вольт).
- 4.2 Назначение оборудования – авторизация пользователей, передача и подпись транзакций (подтверждений) на сервер информационно-платежной системы (функции, пункты: 3.2, 3.3, 3.5, 3.10, 3.11).
- 4.3. Место размещения оборудования - борт транспортного средства и территория перевозчика (для зарядки АКБ смартфона).

4.4. Информационные материалы (инструкции) для кондуктора и пассажиров.

5. **Цель и задачи испытаний**

5.1. Цель: Подтверждение корректности выполнения функций по п.3 в рамках существующих организационно-технологических схем по перевозке пассажиров в СПб (СЭКОП) и выявление соответствия действующим НПА.

5.2. Решаемые задачи:

- 5.2.1. Оценка потенциального спроса пользователей на предлагаемые услуги
- 5.2.2. Оценка совместимости ИПС с действующими и проектируемыми системами управления перевозками (СЭКОП)
- 5.2.3. Выработка рекомендаций по использованию

5.2.4. Отработка алгоритмов взаимодействия пассажиров, кондукторов, обслуживающего персонала автопредприятия, внешних партнеров при безналичной оплате проезда на городском пассажирском наземном транспорте

6. Место и время проведения испытаний

6.1. Место проведения испытаний – транспортные средства ГУП ПАТ и других перевозчиков (по договоренности)

6.2. Для проведения испытаний ГУП ПАТ выделяет транспортные средства, соответствующие поставленным целям и задачам (п.5)

6.3. Время проведения испытаний: в соответствии с графиком (согласовывается дополнительно ГУП ПАТ и ООО «Хит Кард»)

7. Порядок проведения работ

7.1. Для контроля хода испытаний создается Рабочая группа из представителей Комитета по транспорту, СПб ГКУ «Организатор перевозок», СПб ГУП «ПассажирАвтоТранс», ООО «Хит Кард», «Университета ИТМО»

7.2. Перечень испытываемых функций

Тестируемая функция (п.3)	Проверяемый результат
3.1. Регистрация пользователя, управление профилем 3.2. Авторизация пользователя в транспортном средстве 3.3. Взаиморасчеты между пассажиром, оператором ИПС, перевозчиком и ОРГП для простых и мультимодальных поездок 3.4. Формирование финансовых и аналитических отчетов для всех участников (в том числе, электронного документа для пассажира, подтверждающего выполнение услуги перевозки, акты взаиморасчетов, фискальные чеки и др.) 3.5. Контроль авторизации пассажира в транспортном средстве кондуктором-контролером для разных типов маршрутов. 3.6. Выбор маршрута поездки 3.7. Информирование о месте и времени посадки 3.8. Пополнение текущего счета (электронного кошелька пользователя) 3.9. Хранение и Просмотр истории поездок 3.10. Регистрация и Авторизация кондуктора-контролера. Управление профилем. Личный кабинет. 3.11. Оперативный просмотр сведений об авторизации (оплате) кондуктором-контролером (подтверждение оплаты для учета и контроля) 3.12. Расчет стоимости мультимодального, многозонального маршрута, бонусов, льгот	Регистрация пользователя. Личный кабинет (функции по ТО). Авторизация в транспортном средстве разными способами в реальном процессе перевозки. Проверка взаиморасчетов по различным схемам в соответствии с типом поездки Отчетные документы Отражение операции в отчетных документах и на терминале кондуктора-контролера Демонстрация в реальном процессе Демонстрация в реальном процессе Демонстрация в реальном процессе с отражением в отчетных документах Демонстрация по запросу Демонстрация в реальном технологическом процессе Тестирование в реальном технологическом процессе перевозки Демонстрация в реальном процессе перевозки

7.3. Порядок демонстраций (решаемые задачи) в реальном технологическом процессе производится в соответствии с Протоколом испытаний Результаты испытаний фиксируются в Протоколе испытаний.

8. Условия и порядок проведения испытаний

8.1. Испытания проводятся в ТС выделяемых перевозчиком с обеспечением технических условий соответствующих требованиям используемого оборудования.

8.2. В период проведения испытаний должны выполняться правила техники безопасности в соответствии с действующими правилами и положениями.

8.3. Испытания проводятся в соответствии с методикой, изложенной в настоящем документе.

8.4. Условия начала и завершения отдельных этапов испытаний

Испытания проводятся в несколько этапов, начало которых определяется технической готовностью оборудования, а завершение – выполнением всех проверок, изложенных в методике проведения испытаний.

8.5. Требования к техническому обслуживанию системы

Система в период проведения испытаний должна обслуживаться техническим персоналом, имеющим соответствующую техническую подготовку и прошедшим обучение для ее эксплуатации. Предусматривается соответствующее обучение персонала перевозчика.

8.6. Меры, обеспечивающие безопасность и безаварийность проведения испытаний, должны соответствовать правилам техники безопасности в соответствии с действующими у Перевозчика правилами и положениями.

8.7. Во время проведения испытаний должны быть обеспечены следующие требования электробезопасности (ГОСТ 12.2.007.0 – 75 «Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности»).

8.8. Персонал, проводящий предварительные испытания обязан соблюдать правила техники электробезопасности, пожаробезопасности и руководствоваться.

8.9 ПОТ Р М-016-2001, РД 153-34.0-03.150-00 Межотраслевые правила по охране труда (Правила безопасности) при эксплуатации электроустановок.

8.10. ППБ 01-03 Правила пожарной безопасности в Российской Федерации.

9. Порядок взаимодействия организаций, участвующих в испытаниях

Для проведения испытаний создается Рабочая группа. В состав Рабочей группы входят представители участников настоящего Договора.

10. Материально-техническое обеспечение испытаний

Оборудованные для проведения испытаний, транспортные средства перевозчика на маршрутах регулярного их следования.

11. Отчетность

При завершении испытаний составляется Протокол испытаний и аналитический отчет, в котором должны быть отражены полученные результаты и рекомендации (в соответствии с п.7.4.).

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

прототипа Информационно-Платежной системы для городского пассажирского транспорта по договору № 12-08 от 01 августа 2019 года

1. Место проведения испытаний: ГУП «ПассажирАвтоТранс (СПб), маршруты № 7, 20
2. Время проведения испытаний: 05-16 августа 2019 г.
3. Испытания проводились в соответствии с Программой и Методикой испытаний к Договору №12-08 от 01 августа 2019 года

Испытание №1 – Проверка функции «Регистрация и Авторизация» в подсистеме «Портал»

№	Задача	Методика проведения испытаний	Результат
1	Регистрация пользователя	Регистрация пользователя	Пользователь зарегистрирован
2	Авторизация в системе	Авторизация в системе	Пользователь авторизован

Испытание №2 – Проверка функции «Пополнение и покупка ПД» в подсистеме «Портал»

№	Задача	Методика проведения испытаний	Результат
1	Изменение личных данных	Изменение личных данных	Данные изменены
2	Изменение пароля	Изменение пароля	Пароль изменен
3	Выход из личного кабинета	Выход из личного кабинета	Пользователь вышел из личного кабинета
4	Пополнение электронного кошелька	Пополнение электронного кошелька	Кошелек пополнен
5	Пополнение транспортной карты через портал с банковской карты	Пополнение транспортной карты через портал с банковской карты	Транспортная карта пополнена с банковской карты
6	Пополнение транспортной карты через портал с электронного кошелька	Пополнение транспортной карты через портал с электронного кошелька	Транспортная карта пополнена с электронного кошелька
7	Пополнение транспортной карты посредством звонка	Пополнение транспортной карты посредством звонка	Транспортная карта пополнена звонком

Испытание №3 – Проверка функции «Работа с Транспортной картой» в подсистеме «Портал»

№	Задача	Методика проведения испытаний	Результат
1	Добавление транспортной карты	Добавление транспортной карты	Транспортная карта добавлена
2	Просмотр списка транспортных карт	Просмотр списка транспортных карт	Транспортные карты просмотрены
3	Удаление транспортной карты	Удаление транспортной карты	Транспортная карта удалена

Испытание №4 – Проверка функции «Работа с Проездными билетами» в подсистеме «Портал»

№	Задача	Методика проведения испытаний	Результат
1	Просмотр проездных билет	Просмотр проездных	Проездные билеты

		испытаний	
1	Просмотр баланса электронного кошелька	Просмотр баланса электронного кошелька	Баланс отображен
2	Добавление транспортной карты	Добавление транспортной карты	Транспортная карта добавлена/удалена
3	Удаление транспортной карты	удаление транспортных карт	Транспортная карта удалена
4	Добавление банковской карты	Добавление банковской карты	Банковская карта добавлена
5	Удаление банковской карты	Удаление банковской карты	Банковская карта удалена
6	Пополнение ПБ	Пополнение ПБ	ПБ пополнен
7	Просмотр истории операций	Просмотр истории операций	История операций отображена

Испытание №5 – Проверка функции «Работа с Проездными билетами» в подсистеме «Мобильное приложение пассажира»

№	Задача	Методика проведения испытаний	Результат
1	Просмотр купленных проездных билетов	Просмотр купленных проездных билетов	Приобретенные проездные билеты отображены

Испытание №6 – Проверка функции «Просмотр Истории операций» в подсистеме «Мобильное приложение пассажира»

№	Задача	Методика проведения испытаний	Результат
1	Просмотр истории пополнений	Просмотр истории пополнений	История пополнений отображена
2	Просмотр истории оплаты проезда	Просмотр истории оплаты проезда	История оплаты проезда отображена

Испытание №7 – Проверка функции «Просмотр Истории поездок» в подсистеме «Мобильное приложение пассажира»

№	Задача	Методика проведения испытаний	Результат
1	Просмотр истории	Просмотр истории пополнений	История поездок отображена
2	Просмотр сведений о поездке	Просмотр истории оплаты проезда	История оплаты проезда отображена

Испытание №8 – Проверка функции «Управление профилем пользователя» в подсистеме «Мобильное приложение пассажира»

№	Задача	Методика проведения испытаний	Результат
1	Просмотр профиля пользователя	Просмотр профиля пользователя	Профиль пассажира отображен
2	Изменение профиля пользователя	Изменение профиля пользователя	Профиль пользователя изменен
3	Изменение пароля	Изменение пароля	Пароль изменен
4	Выход из приложения	Выход из приложения	Пользователь вышел из приложения

Испытание №9 – Проверка функции «Просмотр сведений о приложении» в подсистеме «Мобильное приложение пассажира»

№	Задача	Методика проведения испытаний	Результат
---	--------	-------------------------------	-----------

1	2	3	4
1	Просмотр Контактов	Просмотр Контактов	Контакты отображены
2	Просмотр oferty	Просмотр oferty	Оферта отображена
3	Просмотр сведений о приложении	Просмотр сведений о приложении	Сведения о приложении отображены

Подсистема «Мобильное приложение кондуктора (Android)»

Испытание №1 – Проверка функции «Регистрация и Авторизация» в подсистеме «Мобильное приложение кондуктора»

№	Задача	Методика проведения испытаний	Результат
1	Регистрация пользователя	Регистрация пользователя	Пользователь зарегистрирован
2	Авторизация в системе	Авторизация в системе	Пользователь авторизован

Испытание №2 – Проверка функции «Просмотр сведений об оплате» в подсистеме «Мобильное приложение кондуктора»

№	Задача	Методика проведения испытаний	Результат
1	Просмотр списка оплат	Просмотр списка оплат	Список оплат отображен
2	Просмотр сведений об оплате	Просмотр сведений об оплате	Сведения об оплатах отображены

Испытание №3 – Проверка функции «Просмотр Маршрута» в подсистеме «Мобильное приложение кондуктора»

№	Задача	Методика проведения испытаний	Результат
1	Просмотр сведений о маршруте	Просмотр сведений о маршруте	Сведения о маршруте отображены
2	Смена маршрута	Смена маршрута	Маршрут сменен
3	Просмотр профиля	Просмотр профиля	Профиль отображен
4	Изменение сведений профиля	Изменение сведений профиля	Профиль изменен
5	Изменение привязки к транспортному средству	Изменение привязки к транспортному средству	Привязка к транспортному средству изменена

Испытание №4 – Проверка функции «Проверка билета» в подсистеме «Мобильное приложение кондуктора»

№	Задача	Методика проведения испытаний	Результат
1	Проверка билета с QR кодом	Проверка билета с QR кодом	Билет с QR-кодом проверен

Испытание №5 – Проверка совместности с действующими системами оплаты в подсистеме «Мобильное приложение кондуктора»




№	Задача	Методика проведения испытаний	Результат
1	Оплата по БСК Подорожник	Оплата по БСК Подорожник	Оплата произведена

Общее заключение:

Проведенные испытания подтвердили соответствие результатов поставленной задаче, а именно:

1. Прототип Информационно-платежной системы обеспечил выполнение всех требуемых операций в условиях реальной эксплуатации транспортного средства параллельно с действующей системой оплаты СЭКОП.
2. В процессе испытаний было проведено 984 операций оплаты проезда. Большинство операции (кроме 2-х) были правильно отражены в отчетных документах. Причины неправильного отражения-сбои в системе связи.
3. Мнение пассажиров, воспользовавшихся услугой (опрошено волонтерами, выполнявшими роль кондукторов – дублеров всего 79 человек, случайная выборка на рейсах выходного дня) в основном положительное: 51 человек сказали, что будут пользоваться такой системой обязательно, 20 человек – сказали, что будут пользоваться в зависимости от того, можно ли будет учитывать их персональные льготы, 8 человек отметили проблемы со скачиванием приложения и высказали сомнения, что предлагаемая им система оплаты удобнее транспортной карты «Подорожник».

Комиссия:

1	С.Л. Горелик Председатель комиссии	Генеральный директор ООО «Хит Кард» Профессор «Университета ИТМО»	
2	В.А.Грудинин Член комиссии	Доцент, зам.декана, Университет ИТМО	
3	В.Б. Лернер Член комиссии	Начальник управления ГУП «ПассажирАвтоТранс»	

18 августа 2019 г. Санкт Петербург.