

На правах рукописи



ДРЮЧИН Дмитрий Алексеевич

**МЕТОДОЛОГИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ  
СИСТЕМЫ ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО НАЗЕМНОГО  
ТРАНСПОРТА НА ОСНОВЕ СОГЛАСОВАНИЯ  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОДСИСТЕМ**

Специальность 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание учёной степени  
доктора технических наук

Оренбург – 2024

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Оренбургский государственный университет».

Научный  
консультант:

**Якунин Николай Николаевич**

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры автомобильного транспорта ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»

Официальные  
оппоненты:

**Володькин Павел Павлович**

доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», руководитель Высшей школы транспортных систем и технологий

**Максимов Виктор Александрович**

доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», профессор кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта и автосервис»

**Фадеев Александр Иванович**

доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Сибирский федеральный университет», профессор кафедры транспорта

Ведущая организация: **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет»**

Защита состоится «27» декабря 2024 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.352.01 при ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет» по адресу: 460018, г. Оренбург, пр-кт Победы, 13, ауд. 170215.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на официальном сайте ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет» ([www.osu.ru](http://www.osu.ru)).

Автореферат разослан

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 г.

Учёный секретарь  
диссертационного совета,  
к.т.н., доцент



И.Х. Хасанов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы.

Важнейшая роль системы городского пассажирского наземного транспорта, как одного из элементов, формирующих условия комфортной городской среды, обуславливает значимость проблемы, формулируемой как несоответствие фактических показателей эффективности её функционирования целевым значениям в условиях возрастающих требований населения к качеству транспортного обслуживания. Существующая организационно-технологическая разобщённость структурных частей системы городского пассажирского наземного транспорта является одной из основных причин роста эксплуатационных затрат и неэффективного использования инвестиционных вложений.

Основные причины структурного дисбаланса: децентрализация процессов планирования и управления; отсутствие информационной и методической базы; избирательная инвестиционная поддержка планов развития и воспроизводства структурных частей; ограниченность финансовых ресурсов и норм рентабельности.

Возможное решение обозначенных проблем - разработка научных основ определения оптимальной структуры подсистем системы городского пассажирского наземного транспорта.

Результатами внедрения разработанной методологии являются: снижение совокупных затрат на осуществление транспортной деятельности; оптимизация потребления энергоресурсов; повышение доступности и привлекательности городского пассажирского транспорта общего пользования; уменьшение отрицательного экологического воздействия на окружающую среду.

Актуальность темы исследования подтверждена включением рассматриваемой тематики в перечень госбюджетных научно-исследовательских работ: «Совершенствование организации и управления перевозками грузов и пассажиров автомобильным транспортом» (№ гос. регистрации: 01200902668), «Повышение эффективности и безопасности городских пассажирских перевозок» (№ гос. регистрации: 01200902666), «Повышение эффективности работы автотранспортного комплекса на основе использования газомоторных топлив» (№ гос. регистрации: АААА-А18-118102490043-5).

**Цель диссертационной работы** - Повышение эффективности функционирования системы городского наземного пассажирского транспорта на основе единого целеполагания, определяющего направления согласованного развития и параметрической взаимосвязи структурных частей.

### **Задачи исследования:**

1. Разработать концепцию структурного построения системы городского пассажирского наземного транспорта на основе технико-экономической и экологической оценки функционирования подсистем, входящих в её состав.

2. На основе математического моделирования показателей эффективности транспортного процесса разработать методические комплексы, позволяющие определить оптимальные структурные параметры парка подвижного состава системы городского пассажирского наземного транспорта, исходя из условия минимизации

комплексных затрат, включающих в себя затраты на перевозку пассажиров и затраты на компенсацию экологического ущерба.

3. Разработать методику определения оптимальных параметров инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения системы городского пассажирского наземного транспорта с учётом структуры, интенсивности эксплуатации и территориального расположения парка подвижного состава.

4. Обосновать критерии целесообразного уровня кооперации транспортных и сервисных предприятий при организации работ по обеспечению исправного состояния подвижного состава. Разработать методику определения оптимальных структурных параметров производственно-технической базы предприятий системы городского пассажирского наземного транспорта.

5. Разработать методику решения оптимизационной задачи, обеспечивающей логическое единство разработанных моделей и методов, определяющей состояние и взаимное влияние подсистем системы городского пассажирского наземного транспорта, формирующей минимальное значение совокупных затрат на перевозку пассажиров.

**Объект исследования** - процессы функционирования системы городского пассажирского наземного транспорта, формируемые с учётом взаимосвязей подсистем на основе принципов определяющих согласованность их развития.

**Предмет исследования** - закономерности влияния состояния и функционирования подсистем на эффективность системы городского пассажирского наземного транспорта.

Содержание диссертации *соответствует направлениям исследований паспорта научной специальности 2.9.5. «Эксплуатация автомобильного транспорта»* по следующим пунктам: 2. «Совершенствование планирования, организации и управления перевозками пассажиров и грузов, технического обслуживания, ремонта и сервиса автомобилей с использованием программно-целевых и логистических принципов, методов оптимизации»; 16. «Развитие инфраструктуры перевозочного процесса, обеспечение ее физической, информационной и социально-экономической доступности, технической эксплуатации и сервиса»; 21. «Применение альтернативных топлив и источников энергии на автомобильном транспорте, их влияние на перевозочный процесс и техническую эксплуатацию».

**Положения, обладающие научной новизной, выносимые на защиту:**

- модель функционирования системы городского пассажирского наземного транспорта, отличающаяся наличием взаимосвязей подсистем, обеспечивающих согласованность их развития, оцениваемая комплексным показателем эффективности;

- модель и методика определения структуры парка транспортных средств системы городского пассажирского наземного транспорта, отличающиеся от известных тем, что базируются на совокупном учёте параметров транспортного процесса, эффективности использования не возобновляемых источников энергии различными категориями подвижного состава, организации работ по техническому обслуживанию и ремонту, инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения;

- многомерные области эффективного применения пассажирских транспортных средств с учётом их категорий и классов, годового объёма перевозок, длины

маршрута, способа энергетического обеспечения, построенные на основе значений комплексного показателя эффективности транспортного процесса;

- методика определения оптимального состояния инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения, отличающаяся учётом взаимного влияния структуры, интенсивности эксплуатации и территориального расположения парка подвижного состава, используемого вида энергоносителя, позволяющая определить количество заправочных (зарядных) станций, их производительность и территориальное расположение;

- модель и методика оптимизации структурных параметров производственно-технической базы системы городского пассажирского наземного транспорта, отличающиеся минимизацией затрат на выполнение работ по поддержанию транспортных средств в исправном состоянии, производимой исходя из результатов технико-экономического обоснования параметров кооперации транспортных и сервисных предприятий;

- условия выбора способа организации технического обслуживания и ремонта подвижного состава на базе транспортных или сервисных предприятий по видам работ в зависимости от численности и категорий подвижного состава транспортного предприятия.

**Практическая значимость** полученных результатов заключается в разработанном комплексе методик взаимодействия подсистем городского пассажирского наземного транспорта, позволяющих определить их оптимальные структурные параметры, что обеспечивает заданную эффективность перевозки пассажиров.

**Реализация работы:** Результаты выполненного исследования реализованы на практике при выполнении следующих работ:

- определение оптимальных структурных параметров системы наземного автомобильного пассажирского транспорта для разработки перспективных планов развития транспортных систем Оренбургской области и муниципальных образований на её территории в рамках творческого взаимодействия с Министерством строительства, жилищно-коммунального, дорожного хозяйства и транспорта Оренбургской области (2024 г).

- определение структуры парка подвижного состава, обслуживающего городские маршруты регулярных пассажирских перевозок, МКП «Оренбургские пассажирские перевозки» в рамках хозяйственного договора (2023 г).

- подготовка обучающихся по направлениям подготовки 23.04.01 «Технология транспортных процессов» и 23.04.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», ОГУ, г. Оренбург (2023 г).

- оценка доступности услуг по перевозке пассажиров автомобильным транспортом по внутриобластным межмуниципальным маршрутам в Оренбургской области, в рамках областного гранта в сфере научной и научно-технической деятельности Правительства Оренбургской области (2014 г).

- разработка новой маршрутно-транспортной сети города Оренбурга, в рамках муниципального контракта № 0153300066914001120-0070596-01 (2014 г).

- разработка методологии обеспечения качества эксплуатации автомобильного транспорта, в рамках гос. задания Минобрнауки РФ (2013 г).

- расчёт тарифов за проезд пассажиров по международным автобусным маршрутам в Оренбургской области в рамках хозяйственного договора с министерством экономического развития, промышленной политики и торговли правительства Оренбургской области (2012 г).

- определение структуры производственно – технической базы ООО «Урал-Авто», в рамках хозяйственного договора (2011 г).

- определение компенсационных выплат перевозчикам, осуществляющим пассажирские перевозки по садоводческим маршрутам в рамках хозяйственного договора с правительством Оренбургской области (2010 г).

**Апробация работы:** Результаты работы отражены в содержании докладов, получивших одобрение на научных конференциях:

- международных: «Наука и образование: фундаментальные основы, технологии, инновации» (Оренбург, 2010 г.); «Транспортные и транспортно-технологические системы» (Тюмень, 2010, 2017 гг.); «Проблемы функционирования систем транспорта» (Тюмень, 2010 г.); «Прогрессивные технологии в транспортных системах» (Оренбург, 2011, 2013, 2015, 2018, 2019, 2021, 2022 гг.); «Актуальные вопросы инновационного развития транспортного комплекса» (Орёл, 2014 г.); «Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации» (Омск, 2017 г.); «Вопросы современной науки: проблемы, тенденции и перспективы» (Ульяновск, 2019 г.); «Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса» (Ростов на Дону, 2019 г.); «Прогрессивные технологии в транспортных системах: Евразийское сотрудничество» (Оренбург, 2020 г.);

- национальных: «Прогрессивные технологии в транспортных системах» (Оренбург, 2007, 2009 гг.); «Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика» (Пермь, 2013 г.); «Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика» (Воронеж, 2015 г.); «Развитие теории и практики автомобильных перевозок, транспортной логистики» (Омск, 2017 г.); «Достижения вузовской науки: от теории к практике» (Оренбург, 2019 г.); «Устойчивое развитие территорий: теория и практика» (Сибай, 2019 г.); «Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры» (Оренбург, 2020 г.).

**Публикации:** По теме диссертации опубликовано 56 научных работ, в числе которых 24 статьи в журналах из перечня изданий, рекомендованных ВАК. 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

**Структура и объём работы.** Диссертация состоит из введения, пяти разделов, общих выводов и приложений. Материал изложен на 401 странице машинописного текста, включает в себя 41 рисунок и 51 таблицу. Список использованных источников включает в себя 233 наименования.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обозначены ключевые проблемы, характерные для современного состояния городских пассажирских транспортных систем, обоснована актуальность темы исследования, перечислены его основные направления, сформулированы формальные признаки диссертационной работы.

**В первом разделе** представлены результаты обзора научных и прикладных работ, затрагивающих различные аспекты структурного построения и технологического взаимодействия подсистем системы городского пассажирского транспорта. К числу рассматриваемых подсистем отнесены структурные составляющие, включающие в свой состав ключевые объекты материальной базы городского наземного транспорта.

Методы организации пассажирских перевозок и управления городским пассажирским транспортом рассмотрены в работах: Л.Л. Афанасьева, В.Н. Баскова, Г.В. Бойко, А.А. Богомолова, А.В. Вельможина, П.П. Володькина, Е.П. Володина, В.Д. Герами, А.Э. Горева, В.А. Гудкова, В.В. Дедюкина, В.В. Зырянова, И.С. Ефремова, Д.Б. Ефименко, М.Е. Корягина, В.М. Курганова, А.Е. Кравченко, О.Н. Ларина, В.С. Лукинського, Л.Б. Миротина, А.Н. Новикова, Д.М. Новосёлова, В.И. Рассохи, И.Н. Пугачева, Э.А. Сафронова, И.В. Спирина, А.И. Фадеева, С.А. Ширяева, М.Р. Якимова, Н.В. Якуниной, Н.Н. Якунина и др. Рассмотренные научные труды охватывают большинство аспектов и условий функционирования пассажирских транспортных систем. Являются научной базой решения структурных, технологических и организационных задач.

Вопросы применения различных видов энергоносителей и связанные с ними экологические аспекты эксплуатации автотранспортных средств, рассмотрены в работах: В.К. Азарова, М.А. Арсланова, Е.В. Бондаренко, А.В. Васильева, В.В. Донченко, А.А. Ипатова, Ю.И. Кунина, В.Ф. Кутенева, В.Н. Ложкина, О.В. Ложкиной, А.В. Рузского, И.Ф. Сулейманова, Ю.В. Трофименко, А.А. Филиппова, Н.А. Хрипача, В.Н. Щербакова, М.Р. Якимова и других исследователей. В рассмотренных источниках приведены результаты анализа технико-экономических и экологических параметров, определяемых применением рассматриваемых видов энергоносителей и технологий их применения.

Вопросы проектирования производственно-технической базы предприятий автомобильного транспорта рассмотрены в трудах следующих авторов: Ю.В. Андрианов, В.П. Апсин, М.Н. Бедняк, А.П. Болдин, В.П. Воронов, Л.Н. Давидович, А.В. Дехтеринский, В.А. Зенченко, В.И. Карагодин, Г.В. Крамаренк, Е.С. Кузнецов, Н.А. Ляпин, В.А. Максимов, Л.Б. Миротин, Г.М. Напольский, В.В. Тарасов, Н.Я. Говорущенко, Г.А. Шахалевич, Н.Н. Якунин. В работах данного направления проведён анализ традиционных методов проектирования производственно-технической базы транспортных предприятий, произведена оценки эффективности её функционирования.

Основные положения, описывающие общие принципы построения многоуровневых больших систем, приведены в работах: Б.А. Аникина, А.К. Антонюка, А.М. Гаджинского, М.Н. Григорьева, А.П. Долгова, И.В. Карапетянц, В.П. Мельникова, Е.И. Павловой, Т.А. Родкиной, А.Г. Схиртладзе, С.А. Уварова и многих других

авторов. Материал, представленный в трудах указанных авторов, носит фундаментальный системообразующий характер. Работы большинства указанных авторов направлены на решение ключевых вопросов, определяющих реализацию системного подхода при определении структурных параметров транспортных систем.

По результатам обзора установлены принципы функционирования и взаимодействия ключевых подсистем системы городского пассажирского наземного транспорта, сформулирована концепция её устойчивого развития, основанная на реализации логистического подхода, предполагающего согласованное развитие и параметрическую взаимосвязь структурных частей, разработку на этой основе теоретических положений, комплекса методов и средств.

Во втором разделе приведена теоретическая часть выполненного исследования. Описаны основные структурные параметры подсистем системы городского пассажирского наземного транспорта. Разработанная структурная схема представлена на рисунке 1.

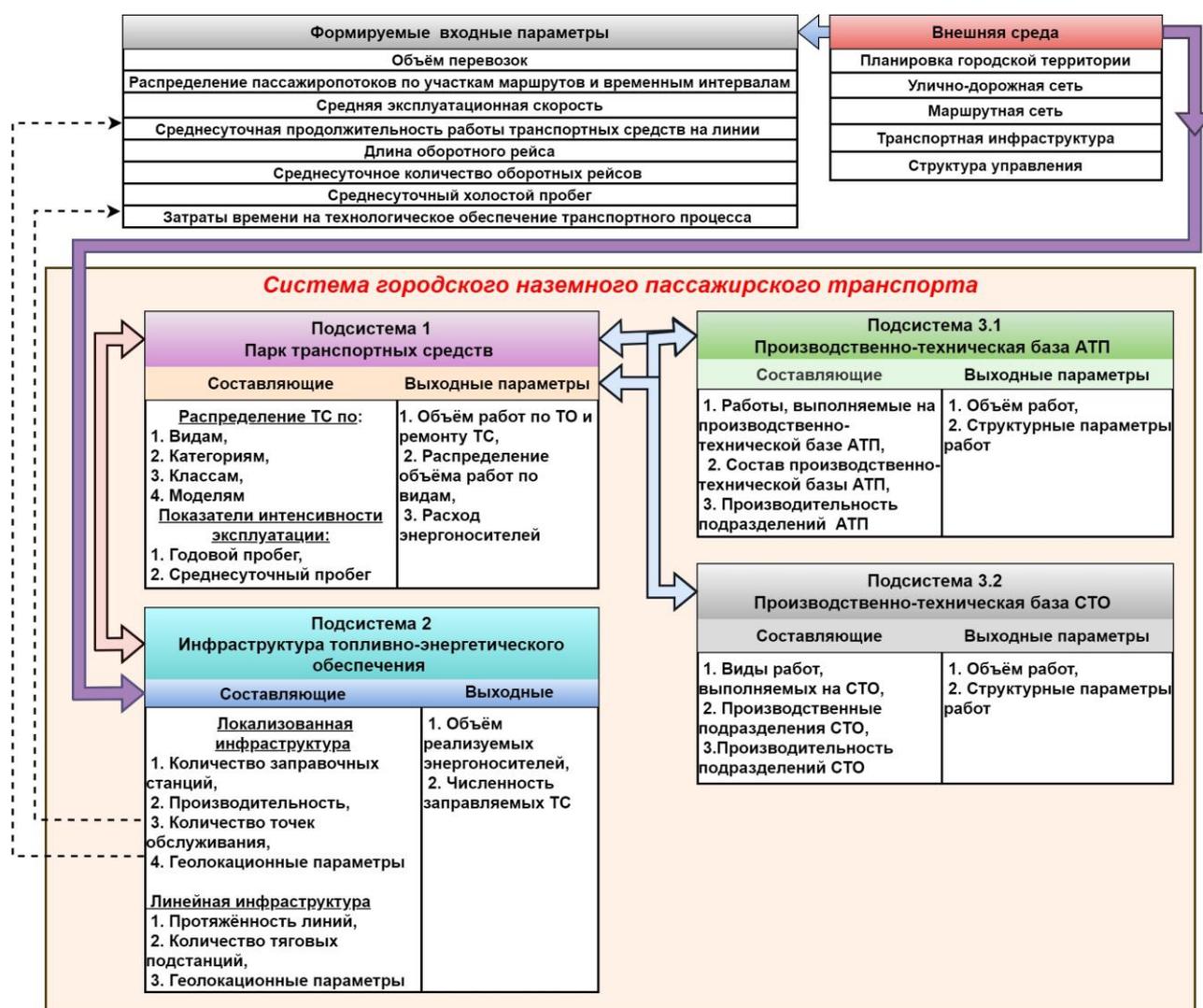


Рисунок 1 – Схема взаимодействия ключевых подсистем системы городского пассажирского наземного транспорта

В число рассматриваемых в рамках исследования подсистем системы городского пассажирского наземного транспорта включены: подвижной состав; производственно-техническая база; инфраструктура топливно-энергетического обеспечения. Структурные параметры перечисленных элементов в рамках исследования являются управляемыми переменными.

Другие подсистемы приняты в качестве условий и факторов, определяющих состояние внешней среды.

В теоретической части исследования последовательно представлены методы оптимизации структурных параметров каждой из рассматриваемых подсистем, представленных на рисунке 1.

### ***Оптимизация структурных параметров парка транспортных средств.***

В качестве оценочного критерия, определяющего эффективность функционирования системы пассажирского наземного транспорта, предложен обобщённый показатель эффективности транспортного процесса. Показатель определяется как сумма себестоимости перевозки одного пассажира и общего приведённого ущерба окружающей среде. Предложенный показатель использован в качестве целевой функции при ограничениях определяемых минимально-допустимыми значениями показателей, определяющих качества транспортного обслуживания населения (максимально-допустимого интервала, возможности вывоза всех пассажиров в часы пиковых пассажиропотоков):

$$\begin{cases} Z_{КОМ} = (CC_1 + ЭК_{\Sigma I}) \rightarrow \min \\ I \leq [I] \\ P_{\Sigma MAX} \geq Q_{МАРШ}^{MAX} \end{cases}, \quad (1)$$

где  $Z_{КОМ}$  – комплексный показатель оценки эффективности транспортного процесса, руб./пасс.;  $CC_1$  – себестоимость перевозки пассажира, руб./пасс.;  $ЭК_{\Sigma I}$  – приведённый экологический ущерб, руб./пасс.;  $I, [I]$  – расчётный и максимально-допустимый интервал движения транспортных средств;  $P_{\Sigma MAX}$  – провозная способность парка транспортных средств, работающих на маршруте, пасс/час;  $Q_{МАРШ}^{MAX}$  – максимальный пассажиропоток в часы пик на наиболее нагруженном участке маршрута, пасс/час.

Оптимальные структурные параметры парка транспортных средств определяются исходя из результатов минимизации целевой функции, производимой на основе результатов циклически выполняемых расчётов для рассматриваемой номенклатуры видов транспорта и категорий транспортных средств. Приведённый экологический ущерб определён, как суммарный ущерб от выбросов токсичных веществ, парниковых газов и использования природного ресурса:

$$\text{ЭК}_{\Sigma 1} = \frac{\sum \text{УЭ}_{ТВ} + \sum \text{УЭ}_{ПАР} + \sum \text{УЭ}_{ПР}}{\text{ОП}_T}, \quad (2)$$

где  $\Sigma \text{УЭ}_{ТВ}$  – суммарный ущерб от выброса токсичных веществ, руб.;  $\Sigma \text{УЭ}_{ПАР}$  – суммарный ущерб от выброса парниковых газов, руб.;  $\Sigma \text{УЭ}_{ПР}$  – суммарный ущерб от использования природного ресурса, руб.;  $\text{ОП}_T$  – общий объём перевозок за период времени  $T$ , пасс.

Исходя из формул 1 и 2 получено обобщённое выражение для расчёта комплексного показателя эффективности транспортного процесса:

$$Z_{\text{КОМ}} = \frac{\sum_{i=1}^n (Z_{iT}) + V_{\text{УД}} \cdot \left( \sum_{i=1}^N (m_i \cdot k_i) \right) \cdot k_{\text{Э}} + 3,17 \cdot V_{\text{CO}_2} \cdot Q_T + 3,45 \cdot Z_K \cdot Q_T \cdot K_{II}}{\text{ОП}_T}, \quad (3)$$

где  $\sum_{i=1}^n (Z_{iT})$  – суммарные эксплуатационные затраты на перевозку пассажиров, руб.;

$V_{\text{УД}}$  – удельный ущерб атмосферному воздуху от эмиссии загрязняющих веществ, руб./усл. т;  $m_i$  – фактическая масса  $i$ -го загрязняющего вещества, т;  $k_i$  – коэффициент относительной экологической опасности  $i$ -го загрязняющего вещества;  $k_{\text{Э}}$  – коэффициент экологической ситуации и значимости состояния атмосферного воздуха для региона;  $V_{\text{CO}_2}$  – удельный экологический ущерб от поступления в атмосферный воздух тонны углекислого газа, руб./т;  $Z_K$  – восстановительная стоимость свободного кислорода, руб./т;  $K_{II}$  – коэффициент индексации цен;  $Q_T$  – вес израсходованного топлива, т.

Достижение необходимых значений ключевых показателей качества транспортного обслуживания населения определяется выполнением двух условий:

- соблюдение максимально-допустимых интервалов движения транспортных средств на обслуживаемых маршрутах;
- обеспечение обслуживания всех пассажиров в часы пиковых пассажиропотоков.

Выполнение первого условия определяется численностью транспортных средств, закреплённых за каждым из городских маршрутов:

$$N_{\text{АВТ}}^{\min I} = \frac{L_{\text{МАРШ}}}{I^{\max} \cdot V_{\text{МАРШ}}^{\text{CP}}}, \quad (4)$$

где  $L_{\text{МАРШ}}$  – протяжённость трассы маршрута (длина оборотного рейса), км.;

$V_{\text{МАРШ}}^{\text{CP}}$  – средняя скорость движения транспортных средств на маршруте, км/ч;

$I^{\max}$  – заданный (максимально-допустимый) интервал движения транспортных средств на маршруте, ч.

Второе условие определяется совокупностью значений численности транспортных средств и их пассажироместимости, в совокупности формирующих общую провозную возможность подвижного состава:

$$N_{ABT}^{\min II} = \frac{Q_{МАРШ}^{MAX} \cdot L_{МАРШ}}{P \cdot V_{МАРШ}^{CP}}, \quad (5)$$

где  $Q_{МАРШ}^{MAX}$  - пассажиропоток на наиболее нагруженном участке маршрута в часы пик, пасс/час;  $P$  - пассажироместимость транспортных средств, закреплённых за маршрутом, пасс.

В качестве необходимого значения численности транспортных средств принимается большее из значений, полученных при помощи формул 4 и 5.

Условие обеспечения эффективной организации транспортного процесса определяется максимально-возможным соответствием провозной возможности парка и объёмом фактически выполняемой транспортной работы при ограничении, определяемом условием соблюдения максимально-допустимых интервалов движения.

Среднесуточная численность транспортных средств, одновременно работающих на маршруте, определённая исходя из максимально-допустимого интервала:

$$N_{ABT1}^{МАРШ} = \frac{L_{МАРШ}}{V_{МАРШ}^{CP}} \cdot \frac{\left( \frac{T_{ПИК}}{I_{max}^{ПИК}} + \frac{(T_M - T_{ПИК})}{I_{max}^{НЕПИК}} \right)}{T_M}, \quad (6)$$

где  $T_{ПИК}$  – общая продолжительность пиковых периодов в течении суток, час.;  $T_M$  – средняя продолжительность работы на маршруте единицы подвижного состава в течение суток, час.;  $I_{max}^{НЕПИК}$  - максимально-допустимый интервал в непикий период, час.

Средняя численность транспортных средств, определённая исходя из необходимой провозной способности парка:

$$N_{ABT2}^{МАРШ} = \frac{T_M}{(T_M - T_{ПИК})} \cdot \frac{Q_{ГОД} \cdot K_H^{НЕД} \cdot K_H^{СУТ} \cdot L_{МАРШ}}{T_M \cdot D_{ГОД} \cdot P_{Aem} \cdot V_{МАРШ}^{CP}} \left( 1 - \frac{K_H^{ЧАС} \cdot T_{ПИК}}{T_M} \right), \quad (7)$$

где  $K_H^{НЕД}$ ,  $K_H^{СУТ}$ ,  $K_H^{ЧАС}$  - коэффициенты неравномерности распределения пассажиропотоков по рассматриваемым временным периодам (неделя, день недели, время суток).

При выполнении условия  $N_{ABT1}^{МАРШ} < N_{ABT2}^{МАРШ}$ , численность транспортных средств, одновременно работающих на маршруте, определяется по формуле:

$$N_{ABT}^{МАРШ} = \frac{Q_{ГОД} \cdot L_{МАРШ}}{P_{Авн} \cdot V_{МАРШ}^{CP} \cdot T_M \cdot D_{ГОД}}, \quad (8)$$

При невыполнении неравенства  $N_{ABT1}^{МАРШ} < N_{ABT2}^{МАРШ}$  :

$$N_{ABT}^{МАРШ} = \frac{N_{ABT}^{\min II} \cdot T_{ПШК} + N_{ABT1}^{МАРШ} \cdot (T_M - T_{ПШК})}{T_M}, \quad (9)$$

Последовательной подстановкой расчётных выражений получено итоговое выражение для оценки обобщённого эффекта, определяемого внедрением альтернативной технологии топливно-энергетического обеспечения:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_i = N_A \cdot \left( \frac{12}{НПИ} + E_H \right) \cdot \left( C_{B0} \cdot \frac{1}{\alpha_{B0}} - C_{Bi} \cdot \frac{1}{\alpha_{Bi}} \right) + 0,01 \cdot S \cdot k_H \cdot (q_0 \cdot C_0 - q_i \cdot C_i) - \\ + S \cdot \frac{C_{НЧ}}{1000} \cdot \left( \left( \sum_{k=1}^m (t_{k0}^{CK}) - \sum_{k=1}^m (t_{ki}^{CK}) \right) + (t_{TP0} - t_{TPi}) \right) + S \cdot \left( (z_{TO0}^{Mam} - z_{TOi}^{Mam}) + (z_{TP0}^{3Ч} - z_{TPi}^{3Ч}) \right) + \\ S \cdot (z_{ЭК0} - z_{ЭKi}) + (z_{ПТБ0} - z_{ПТБи}) - (K_{ПТБ} + K_{ПЕРС}^{VЧ}) \cdot E_H, \quad (10) \end{aligned}$$

где  $N_A$  – численность транспортных средств, ед.;  $НПИ$  – нормативный срок полезного использования транспортных средств, лет;  $E_H$  – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений;  $C_{B0}$ ,  $C_{Bi}$  – стоимость транспортных средств, руб.;  $\alpha_{B0}$ ,  $\alpha_{Bi}$  – коэффициент выпуска;  $S$  – общий годовой пробег транспортных средств, км;  $k_H$  – коэффициент суммарных надбавок к базовой норме расхода топлива;  $q_0$ ,  $q_i$  – базовая норма расхода топлива (энергонапителя), ед./км;  $C_0$ ,  $C_i$  – стоимость учётной единицы топлива (энергонапителя), руб.;  $C_{НЧ}$  – стоимость нормочаса работ по техническому обслуживанию и текущему ремонту транспортных средств, руб.;  $t_k^{CK}$  – удельная трудоёмкость  $k$ -го вида технического обслуживания, чел.-ч/1000 км;  $t_{TP0}$ ,  $t_{TPi}$  – удельная трудоёмкость текущего ремонта, чел.-ч/1000 км;  $z_{TO0}^{Mam}$ ,  $z_{TOi}^{Mam}$  – удельные затраты на материалы, при ТО транспортных средств, руб./1000 км;  $z_{TP0}^{3Ч}$ ,  $z_{TPi}^{3Ч}$  – удельные затраты на запчасти, используемые при ремонте транспортных средств, руб./1000 км;  $z_{ЭК0}$ ,  $z_{ЭKi}$  – удельный экологический ущерб при эксплуатации транспортных средств, руб./1000 км;  $z_{ПТБ0}$ ,  $z_{ПТБи}$  – дополнительные затраты на содержание производственно-технической базы, руб.;  $K_{ПТБ}$  – инвестиции в перевооружение производственно-технической базы, руб.;  $K_{ПЕРС}^{VЧ}$  – инвестиции в обучение персонала, руб.

Разработанная методика предполагает разделение технологий топливно-энергетического обеспечения на два вида с мобильной и стационарной энергетической установкой. Для схем с мобильной энергетической установкой экологический ущерб определяется исходя из пробега и величины пробеговых выбросов транспортного средства. Энергоэффективность технологической схемы со стационарным источником определяется исходя из величины суммарного КПД процессов произ-

водства и передачи энергии к транспортному средству, исходя из параметров ездового цикла и доли энергии, генерируемой тепловыми энергетическими установками:

$$E_{\text{ТЕПЛ}} = \frac{F_{KI} \cdot S_P + F_{KII} \cdot S_{a=0} - 0,3 \cdot F_{KIII} \cdot S_T}{S_{OCT}} \cdot \frac{L_{\text{ГОД}} \cdot \Pi_{\text{ТЕПЛ}}}{KПД_{CT}}, \quad (11)$$

где  $F_{KI}$  – тяговая сила на ведущих колёсах в режиме разгона, Н;  $S_P$  – расстояние, преодолеваемое в режиме разгона, м;  $F_{KII}$  – тяговая сила на ведущих колёсах в режиме равномерного движения, Н;  $S_{a=0}$  – расстояние, преодолеваемое в режиме равномерного движения, м;  $F_{KIII}$  – тяговая сила на ведущих колёсах в режиме торможения, Н;  $S_T$  – расстояние, преодолеваемое в режиме торможения, м;  $S_{OCT}$  – длина перегона между остановочными пунктами, км.;  $\Pi_{\text{ТЕПЛ}}$  – доля энергии, генерируемая тепловыми энергетическими установками, в рамках энергетической сети, ед.;  $KПД_{CT}$  – суммарный коэффициент полезного действия процессов трансформации и передачи энергии.

Расчёт экологического ущерба производится на основе данных об удельном расходе топлива и удельных выбросах токсичных веществ, производимых тепловыми энергетическими установками. Алгоритм, реализующий методику определения оптимальных структурных параметров парка транспортных средств представлен на рисунке 2.

Первым этапом определения оптимальных структурных параметров инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения является расчёт максимальной годовой производительности заправочной (зарядной) станции, измеренной в количестве производимых заправок:

$$\Pi_{\text{АЗС1}}^{\text{MAX}} = \frac{ДР_{\text{ГОД}} \cdot T_{\text{СУТ}} \cdot e}{(\bar{t}_1 + t_{\text{ПЗ1}}) \cdot k_{\text{НС}}}, \quad (12)$$

где  $ДР_{\text{ГОД}}$  – количество рабочих дней в году, ед.;  $T_{\text{СУТ}}$  – суточная продолжительность работы заправочного пункта, ч;  $e$  – количество точек обслуживания, ед.;  $k_{\text{НС}}$  – коэффициент неравномерности поступления транспортных средств в течение суток, ед.;  $\bar{t}_1$  – средняя продолжительность одной заправки (зарядки), ч;  $t_{\text{ПЗ1}}$  – подготовительно-заключительное время одной заправки, ч.

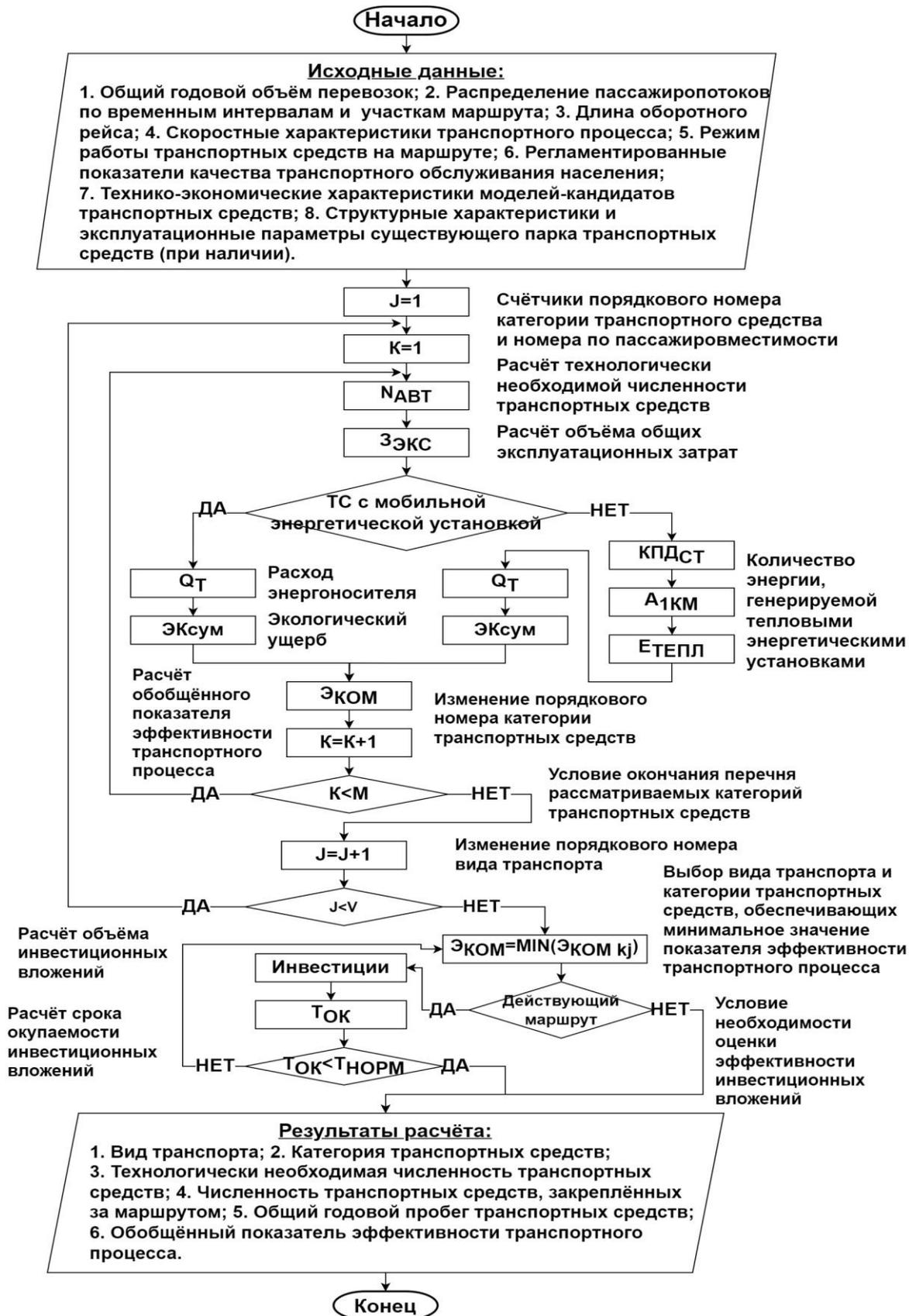


Рисунок 2 – Алгоритм, реализующий методику определения оптимальных структурных параметров парка транспортных средств, обслуживающих регулярный городской пассажирский маршрут

Максимально-возможный объём энергоносителя, реализуемого одной заправочной (зарядной) станцией:

$$V_{АЗС1}^{MAX} = \Pi_{АЗС}^{MAX} \cdot \bar{V}_1 = \frac{ДР_{ГОД} \cdot T_{СВТ} \cdot e}{(t_1 + t_{ПЗ1}) \cdot k_{НС}} \cdot \frac{\sum_{j=1}^m (V_{1j} \cdot N_{Aj})}{N_A}, \quad (13)$$

где  $\bar{V}_1$  - средний объём энергоносителя, заправляемого за одну заправку, ед.;  $V_{1j}$  - заправляемый объём транспортного средства j-ой категории, ед.;  $N_{Aj}$  - количество транспортных средств j-ой категории, ед.;  $N_A$  - общее количество транспортных средств – потребителей энергоресурса, ед.

Годовое количество обслуживаний:

$$\Pi_{АЗС}^{ФАКТ} = \sum_{j=1}^m \left( \frac{0,01 \cdot \sum_{i=1}^n (N_{Aji} \cdot r_{ij} \cdot S_{Обi} + S_{0i}) \cdot H_{Bj} \cdot k}{V_{1j}} \right), \quad (14)$$

где  $S_{0i}$  – общий нулевой пробег транспортных средств i-го маршрута, км.

Необходимая численность заправочных станций:

$$\left\{ \begin{array}{l} n_{АЗС, V} \geq \frac{V_{ФАКТ}}{V_{АЗС}^{MAX}} \\ n_{АЗС, \Pi} \geq \frac{\Pi_{АЗС}^{ФАКТ}}{\Pi_{АЗС}^{MAX}} \end{array} \right., \quad (15)$$

Итоговое выражение для определения численности заправочных (зарядных) станций:

$$n_{АЗС} \geq \frac{N_A \cdot k_{НС} \cdot k \cdot \left( v \cdot \frac{1}{N_A} \cdot \sum_{j=1}^m (V_{1j} \cdot N_{Aj}) + t_{ПЗ1} \right) \cdot \sum_{j=1}^m \left( 0,01 \cdot \sum_{i=1}^n \left( r_{ij} \cdot S_{Обi} \cdot \frac{1}{\beta_i} \right) \cdot H_{Bj} \right)}{ДР_{ГОД} \cdot T_{СВТ} \cdot e \cdot \sum_{j=1}^m (V_{1j} \cdot N_{Aj})}, \quad (16)$$

При отсутствии ограничений на количество реализуемого энергоносителя, количество постов обслуживания и количество обслуживаемых транспортных средств, весь необходимый объём энергоносителя может быть реализован при помощи одной заправочной станции. При этом расчёт количества постов обслуживания данной заправочной станции производится по формуле:

$$e = \frac{N_A \cdot k_{HC} \cdot k \cdot \left( v \cdot \frac{1}{N_A} \cdot \sum_{j=1}^m (V_{1j} \cdot N_{Aj}) + t_{ПЗ1} \right) \cdot \sum_{j=1}^m \left( 0,01 \cdot \sum_{i=1}^n \left( r_{ij} \cdot S_{Обi} \cdot \frac{1}{\beta_i} \right) \cdot H_{Бj} \right)}{ДР_{ГОД} \cdot T_{СУТ} \cdot \sum_{j=1}^m (V_{1j} \cdot N_{Aj})}, \quad (17)$$

Минимально-допустимый объём реализуемого энергоносителя, определяющий целесообразность строительства заправочной (зарядной) станции:

$$V_{MIN}^{ГОД} = \frac{K}{\Delta Ц \cdot [T_{ОК}] \cdot (1 - 0,01 \cdot H_{П})} + \frac{З_{Э}}{\Delta Ц}, \quad (18)$$

где  $\Delta Ц$  – разница между закупочной и розничной ценой энергоносителя, руб.;  $[T_{ОК}]$  – принятый допустимый срок окупаемости инвестиций, лет.

Численность транспортных средств, формирующая данный объём:

$$N_{Aj}^{MIN} = \frac{K + З_{Э} \cdot (1 - 0,01 \cdot H_{П})}{0,01 \cdot \Delta Ц \cdot S_{ГОД1} \cdot H_{Бj} \cdot k \cdot [T_{ОК}] \cdot (1 - 0,01 \cdot H_{П})}, \quad (19)$$

Годовое количество обслуживаний:

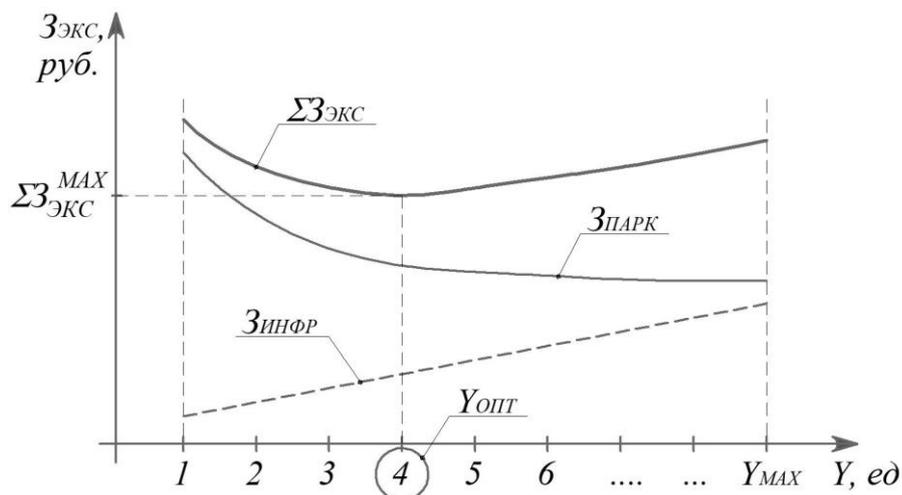
$$\Pi_{MIN}^{ГОД} = \frac{K + З_{Э} \cdot \Delta Ц \cdot [T_{ОК}] \cdot (1 - 0,01 \cdot H_{П})}{\Delta Ц \cdot [T_{ОК}] \cdot (1 - 0,01 \cdot H_{П}) \cdot \bar{V}_1}, \quad (20)$$

где  $\bar{V}_1$  – средний объём одной заправки, ед.

Следовательно, сеть инфраструктурных объектов ограничена их численностью в интервале от единицы до  $Y_{МАХ}$ . Величина  $Y_{МАХ}$  – отношение годового объёма энергоносителя к минимально-допустимому объёму, реализуемому одной заправочной (зарядной) станцией.

Затраты на формирование и эксплуатацию инфраструктуры возрастают с увеличением количества заправочных (зарядных) станций. Но увеличение разветвлённости сети способствует повышению эффективности эксплуатации транспортных средств за счёт сокращения нулевых пробегов и увеличения времени полезного использования.

В соответствии с системным подходом целесообразно произвести суммирование эксплуатационных затрат на содержание зарядно-заправочной инфраструктуры и эксплуатационные затраты на выполнение транспортной работы (рисунок 3).



$Z_{ИНФР}$  – общие затраты на эксплуатацию инфраструктуры;  $Z_{ПАРК}$  – общие затраты на эксплуатацию парка транспортных средств;  $\Sigma Z_{ЭКС}$  – суммарные затраты.

Рисунок 3 – Суммарные затраты, определяющие количество зарядных (заправочных) станций

Отдельными задачами, решаемыми в процессе формирования инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения, является группировка мест концентрации ключевых потребителей и определение мест оптимального расположения заправочных (зарядных) станций.

Последовательность операций, выполняемых для группировки мест концентрации транспортных средств (ТС): построение матрицы расстояний; определение наиболее взаимоудалённых мест концентрации ТС (центров формирования групп); последовательное определение мест концентрации ТС, наиболее приближённых к выявленным центрам формирования групп; расчёт объёма потребляемого энергоносителя.

Для определения мест расположения заправочных станций внутри каждой сформированной группы использован метод центра масс. Сущность метода отражена на схеме, представленной на рисунке 4. Вес каждого  $i$ -го элемента системы с учётом частоты посещения инфраструктурного объекта и удельных затрат на совершение нулевого пробега:

$$m_{Ni} = \sum_{j=1}^n \left( \frac{N_{Aj} \cdot Z_{1KMj}}{S_{13j}} \right), \quad (21)$$

где  $N_{Aj}$  – количество транспортных средств  $j$ -ой категории, ед.;  $Z_{1KMj}$  – удельные затраты на один километр пробега транспортного средства  $j$ -ой категории, руб./км;  $S_{13j}$  – запас хода на одной заправке  $j$ -ой категории транспортных средств, км.;  $n$  – количество категорий транспортных средств, ед.

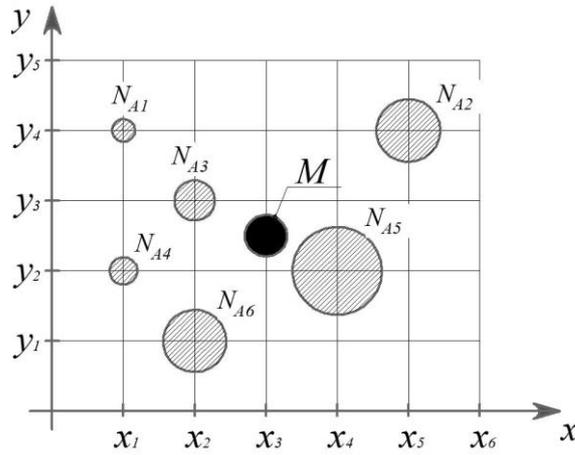


Рисунок 4 – Определение расположения инфраструктурного объекта методом центра масс

Координаты «центра масс» ( $X_C$ ) рассматриваемой системы:

$$X_C = \frac{\sum_{i=1}^k (m_{Ni} \cdot X_i)}{\sum_{i=1}^k (m_{Ni})} = \frac{\sum_{i=1}^k \left( \sum_{j=1}^n \left( \frac{N_{Aj} \cdot 3_{1KMj}}{S_{13j}} \right) \cdot X_i \right)}{\sum_{i=1}^k \left( \sum_{j=1}^n \left( \frac{N_{Aj} \cdot 3_{1KMj}}{S_{13j}} \right) \right)}, \quad (22)$$

где  $X_i$  – координата  $i$ -го элемента рассматриваемой системы, км.

Значение нулевого пробега:

$$S_0 = \sum_{j=1}^m (\overline{s_{01j}} \cdot \Pi_j^{ГОД}) = \sum_{j=1}^m \left( \frac{\sum_{i=1}^n s_{01i} \cdot N_{Aji}}{\sum_{i=1}^n N_{Aji}} \cdot \frac{0,01 \cdot \sum_{i=1}^n (N_{Aji} \cdot r_{ij} \cdot S_{0Bi}) \cdot H_{Bj} \cdot k}{V_{ДВj}} \right), \quad (23)$$

где  $\overline{s_{01j}}$  – среднее расстояние от места стоянки до заправочного пункта для  $j$ -ой категории транспортных средств, км.;  $\Pi_j^{ГОД}$  – общее годовое количество заправок, совершаемых транспортными средствами  $j$ -ой категории, ед.;  $s_{01i}$  – расстояние от места стоянки транспортных средств, обслуживающих  $i$ -ый маршрут до заправочного пункта, км.;  $N_{Aji}$  – количество транспортных средств  $j$ -ой категории, обслуживающих  $i$ -ый маршрут, ед.

Общие потери рабочего времени на совершение нулевого пробега:

$$\Sigma t_{0j} = t_3 + t_{ПЗ} + t_{ДВ} = 0,01 \cdot v \cdot H_{Bj} \cdot k \cdot \sum_{i=1}^n (N_{Aji} \cdot r_{ij} \cdot S_{0Bi}) + t_{ПЗ1} \cdot \Pi_j^{ГОД} + \frac{S_{0j}}{V_{ДВj}}, \quad (24)$$

где  $t_{ПЗ1}$  – время подготовительно-заключительных операций, ч.;  $\overline{V_{ДВj}}$  – средняя скорость движения транспортных средств  $j$ -ой категории вне маршрута, км/ч.



Ключевым фактором, определяющим структурные параметры производственно-технической базы системы городского пассажирского наземного транспорта, является распределение транспортных средств по предприятиям-перевозчикам. Пример такого распределения с учётом класса транспортных средств представлен на рисунке 5. На этом же рисунке приведены условия, определяющие процесс формирования структуры производственно-технической базы.

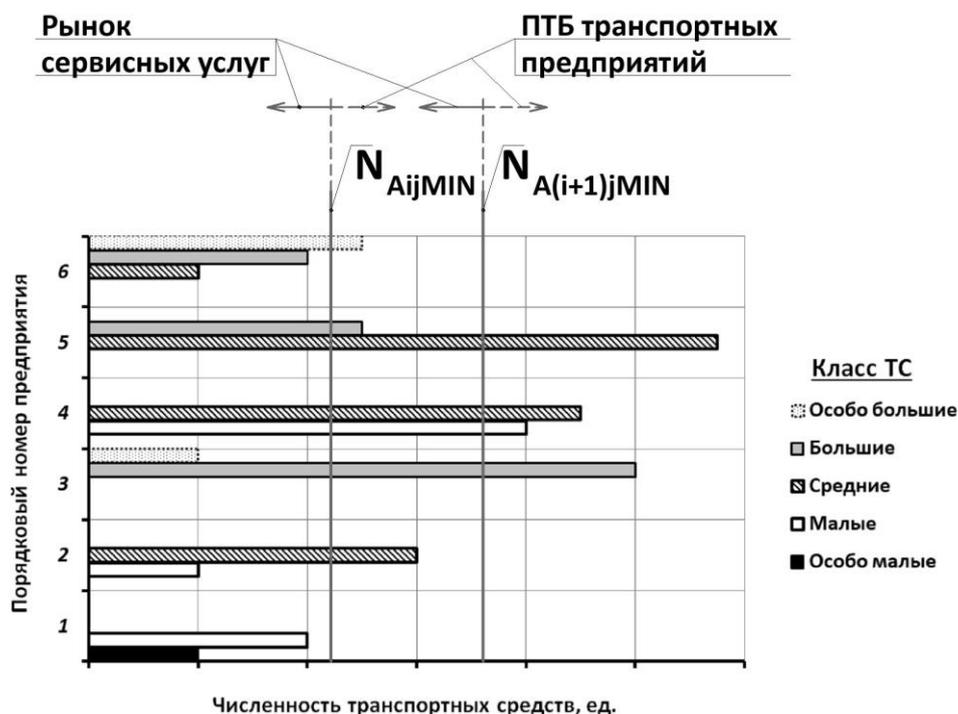


Рисунок 5 – Диаграмма, определяющая условия формирования производственно-технической базы

На рисунке поведены вертикальные линии, соответствующие минимальной численности транспортных средств  $j$ -ой модели, определяющие целесообразность включения в состав производственно-технической базы транспортного предприятия  $i$ -го производственного подразделения. Различия значений минимальной численности транспортных средств для каждого из рассматриваемых подразделений обусловлены распределением общего объёма выполняемых работ по видам, капиталоемкостью и ресурсоемкостью данных подразделений.

Реализуемый **системный подход** предполагает функциональное объединение структурных частей, формирующих материальную основу системы городского пассажирского наземного транспорта. Схема взаимодействия подсистем системы городского пассажирского наземного транспорта представлена на рисунке 6.

Объединение приведённых выше методов оптимизации структурных параметров ключевых подсистем системы городского наземного пассажирского транспорта произведено в соответствии со схемой, представленной на рисунке 6.

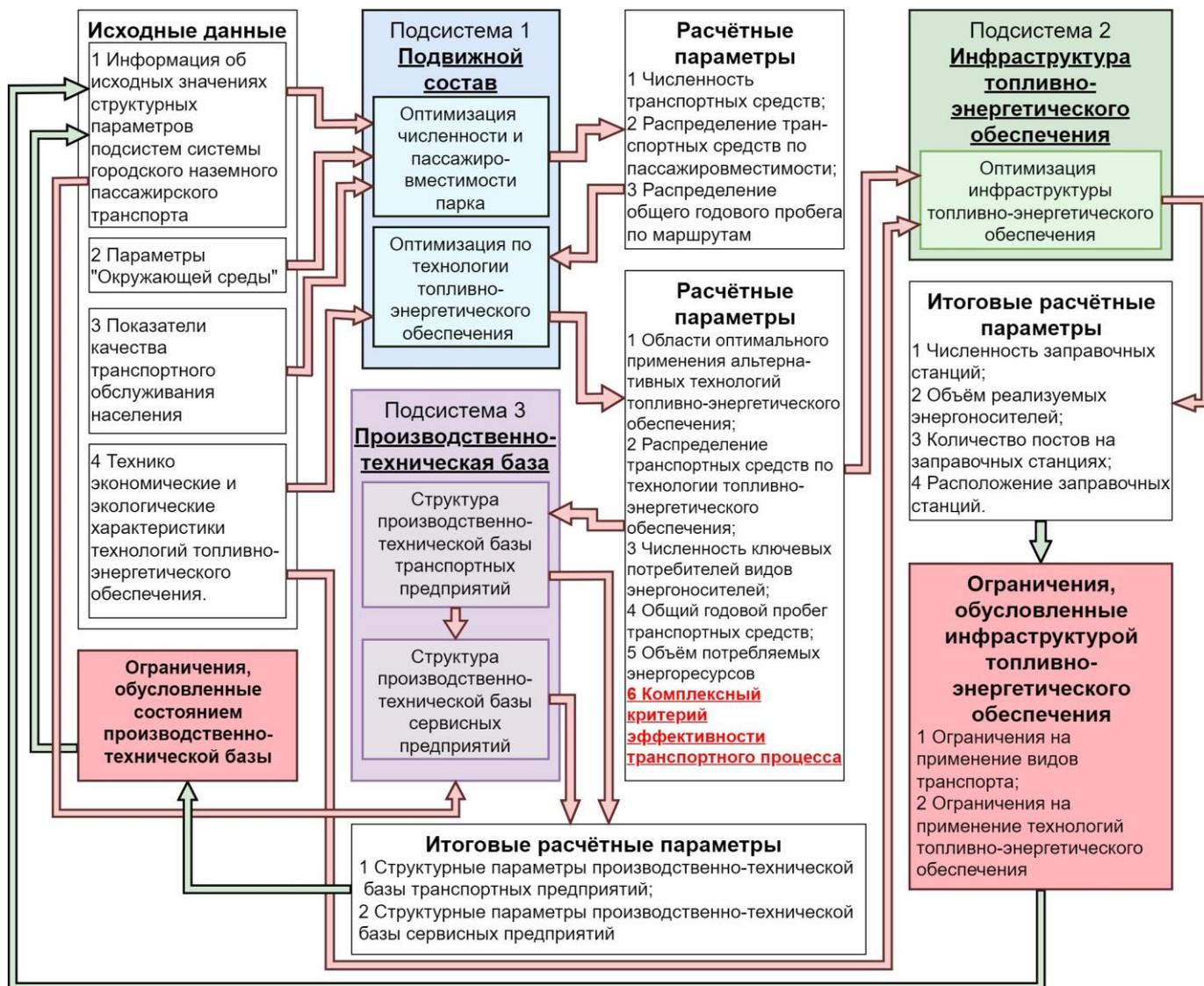


Рисунок 6 – Схема взаимодействия подсистем системы городского пассажирского наземного транспорта

В третьем разделе приведено описание методов, реализуемых в исследовательской части работы, которые включают в себя: аналитические исследования, сбор статистических данных и проведение натурного эксперимента.

Основными факторами внешней среды, формирующими структурные параметры системы городского пассажирского наземного транспорта, являются параметры пассажиропотоков городских маршрутов. В работе предложена методика определения данных параметров на основе анализа информации, полученной из различных, не зависящих друг от друга источников: результатов натурного обследования; сводных данных о транзакциях (электронных платежах); информации о доходах, получаемых по результатам транспортного обслуживания населения.

Натурное обследование пассажиропотоков проведено на выборке транспортных средств, обслуживающих исследуемые маршруты, путём учёта количества пассажиров, находящихся в салоне транспортных средств на перегонах между остановочными пунктами.

Метод обследования пассажиропотоков, исходя из данных об электронных платежах, основан на сопоставлении данных о фактических пассажиропотоках с количеством транзакций, выполненных за тот же период. В результате такого сопоставления для каждого интервала рабочего времени получены переводные коэффициенты, характеризующие кратность превышения фактических пассажиропотоков относительно количества транзакций. Наличие указанных коэффициентов и данных о количестве транзакций позволяет определить пассажиропотоки на городских маршрутах в периоды, не совпадающие с периодами проведения натуральных обследований. Для исследования пассажиропотоков за продолжительные периоды времени использованы данные, полученные на основании анализа объёмов выручки.

Расчётные составляющие, используемые для практического применения разработанных методов, можно разделить на две категории. Первая категория – данные, полученные из литературных источников и от предприятий системы городского пассажирского транспорта. Вторая категория – данные, определяемые по результатам аналитических исследований. К первой категории отнесены: стоимость подвижного состава; стоимость зданий и сооружений; стоимость технологического оборудования и производственного инвентаря; стоимость электроэнергии и энергоносителей; базовые нормы расхода энергоносителей; нормативные параметры технологического обеспечения технической эксплуатации транспортных средств и другие.

Ко второй категории отнесены: объём инвестиций, необходимых для модернизации производственно-технической базы; затраты на обслуживание и ремонт технологического оборудования; удельный расход электроэнергии и энергоносителей и другие.

Для проведения натуральных исследований сформированы репрезентативные выборки исследуемых объектов, состав и численность которых обеспечивают достоверность полученных данных. Расчёт объёма выборки, обеспечивающего получение достоверной информации, произведён в соответствии с методами, изложенными в работах А.Б. Гусынина, В.Г. Минашкина, Т.М. Сизовой, и других авторов.

По каждому из исследуемых параметров проведена статистическая оценка достоверности значений исследуемых величин.

**В четвёртом разделе** представлены закономерности, определяющие формирование составляющих структурных частей системы городского пассажирского наземного транспорта.

Для определения оптимальных структурных параметров парка транспортных средств, обслуживающих городские маршруты, определены области эффективного применения транспортных средств заданной пассажироместимости. Ранжирование факторов, определяющих структурные параметры парка транспортных средств, обслуживающих городские пассажирские маршруты, позволило определить наиболее значимые из них: удельная стоимость энергоносителя; годовой объём перевозок; протяжённость оборотного рейса и т.д. На основании результатов ранжирования определена размерность области эффективного применения транспортных средств различной пассажироместимости. Область ограничена трёхмерной поверхностью,

построенной в системе координат «Себестоимость перевозки одного пассажира» - «Объём перевозок» - «Протяжённость оборотного рейса».

Взаимное расположение указанных трёхмерных поверхностей, может быть проиллюстрировано серией графиков (срезов), построенных в одной координатной плоскости для транспортных средств, обслуживающих маршруты заданной протяжённости. В качестве примера на рисунке 7 приведена совокупность таких графиков, построенных для маршрута с протяжённостью оборотного рейса 20 км.

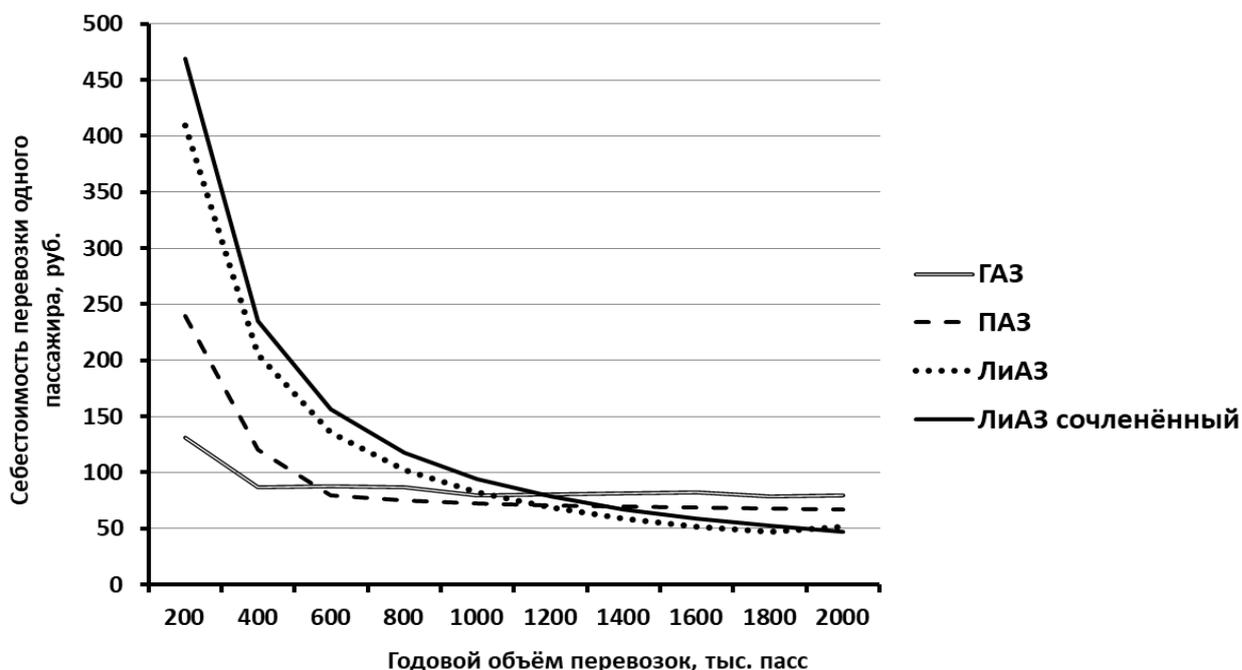
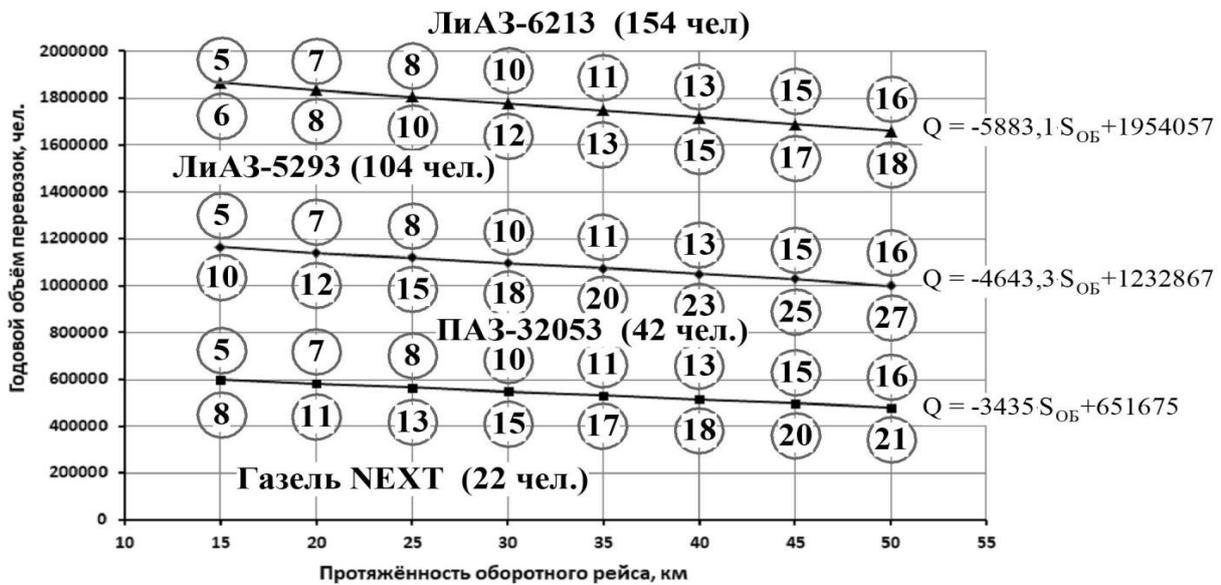


Рисунок 7 - Зависимости себестоимости перевозки одного пассажира транспортными средствами различной пассажироместимости от годового объёма перевозок для маршрута с протяжённостью оборотного рейса 20 км.

В результате последовательного перебора данных, формирующих область оптимального применения транспортных средств различной пассажироместимости, получен массив данных, формирующих структурные параметры парка транспортных средств, обслуживающих маршруты городского наземного пассажирского транспортного комплекса. Диаграмма, иллюстрирующая полученные данные, представлены на рисунке 8.



⑦ - расчётная численность транспортных средств, закреплённых за маршрутом.

Q - годовой объём перевозок, пасс.;

S<sub>ОБ</sub> - протяжённость оборотного рейса, км.

Рисунок 8 – Области эффективного применения транспортных средств заданной пассажироместности

Исходя из полученных данных определены неравенства, формирующие условия применения транспортных средств различной пассажироместности:

Газель NEXT (22 чел):  $Q < -3435 \cdot S_{ОБ} + 651675$  ;

ПА3-32053 (42 чел):  $-4643,3 \cdot S_{ОБ} + 1232867 > Q > -3435 \cdot S_{ОБ} + 651675$  ;

ЛиАЗ-5393 (104 чел):  $-5883,1 \cdot S_{ОБ} + 1954057 > Q > -4643,3 \cdot S_{ОБ} + 1232867$  ;

ЛиАЗ-6213 (154 чел):  $Q > -5883,1 \cdot S_{ОБ} + 1954057$  ;

где Q – годовой объём перевозок, пасс;

S<sub>ОБ</sub> – протяжённость оборотного рейса, км.

Для оценки экологического ущерба проведён анализ информации, содержащейся в открытых источниках, о параметрах энергоэффективности различных технологий топливно-энергетического обеспечения транспортного процесса. Полученные результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Сравнительный анализ энергоэффективности технологий топливно-энергетического обеспечения транспортного процесса

Звенья энергетической цепи	Стационарная энергетическая установка		Мобильная энергетическая установка
	Непрерывная передача энергии	Дискретная передача энергии	
КПД преобразования энергии, %	38,4	38,4	32,5
КПД передаточной сети, %	59,2	67,4	83,7
Суммарный КПД, %	22,9	25,7	27,2

При помощи уравнений мощностного баланса, полученных в отношении транспортных средств, движущихся по типовому ездовому циклу городского пассажирского маршрута, определены показатели энергопотребления электротранспортных транспортных средств заданной пассажироместности. Результаты исследования представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Показатели энергопотребления электротранспортных средств различной пассажироместности

Категория транспортного средства	Пассажироместность, чел.	Энергопотребление, кВт·ч/км	Энергия, генерируемая тепловыми электростанциями, кВт·ч/км
Электробус	22	0,593	0,36
	100	1,563	0,949
	150	2,224	1,351
Троллейбус	100	1,781	1,082
	150	2,532	1,538
Трамвай	150	1,282	0,779
	175	1,605	0,975
	200	1,927	1,17
	250	2,508	1,523

На основе данных об удельных выбросах тепловых электростанций определены условные пробеговые выбросы электротранспортных средств. (таблица 3).

Таблица 3 - Удельные выбросы токсичных веществ, производимых тепловой электростанцией при выработке электроэнергии для совершения одного километра пробега электротранспортными средствами

Вид выбросов / объём израсходованного топлива	Удельный выброс на 1 кВт·ч, г	Удельный выброс на 1 км пробега, г								
		Электробус			Троллейбус		Трамвай			
		22 чел	100 чел	150 чел	100 чел	150 чел	150 чел	175 чел	200 чел	250 чел
Объём топлива (метан)	0,221 м <sup>3</sup>	0,131 м <sup>3</sup> /км	0,3454 м <sup>3</sup> /км	0,4915 м <sup>3</sup> /км	0,393 м <sup>3</sup> /км	0,5596 м <sup>3</sup> /км	0,283 м <sup>3</sup> /км	0,3516 м <sup>3</sup> /км	0,4259 м <sup>3</sup> /км	0,5543 м <sup>3</sup> /км
Сернистые газы (SO <sub>x</sub> )	0,0014	0,0008	0,0022	0,0031	0,0025	0,0035	0,0018	0,0022	0,0027	0,0035
Оксиды азота (NO <sub>x</sub> )	1,4	0,830	2,1882	3,1136	2,4934	3,5448	1,7948	2,2278	2,6978	3,5112
Твердые частицы (сажа)	0,0524	0,031	0,0819	0,1165	0,0933	0,1327	0,0672	0,0834	0,1010	0,1314
Диоксид углерода (CO <sub>2</sub> )	443	262,7	692,4	985,2	789,0	1121,7	567,9	704,9	853,7	1111,0

На основе полученных данных определены значения экологического ущерба и области эффективного применения рассматриваемых категорий транспортных средств. Фрагменты массива полученных данных для маршрута с длиной обратного рейса 30 км представлены на рисунках 9 и 10.

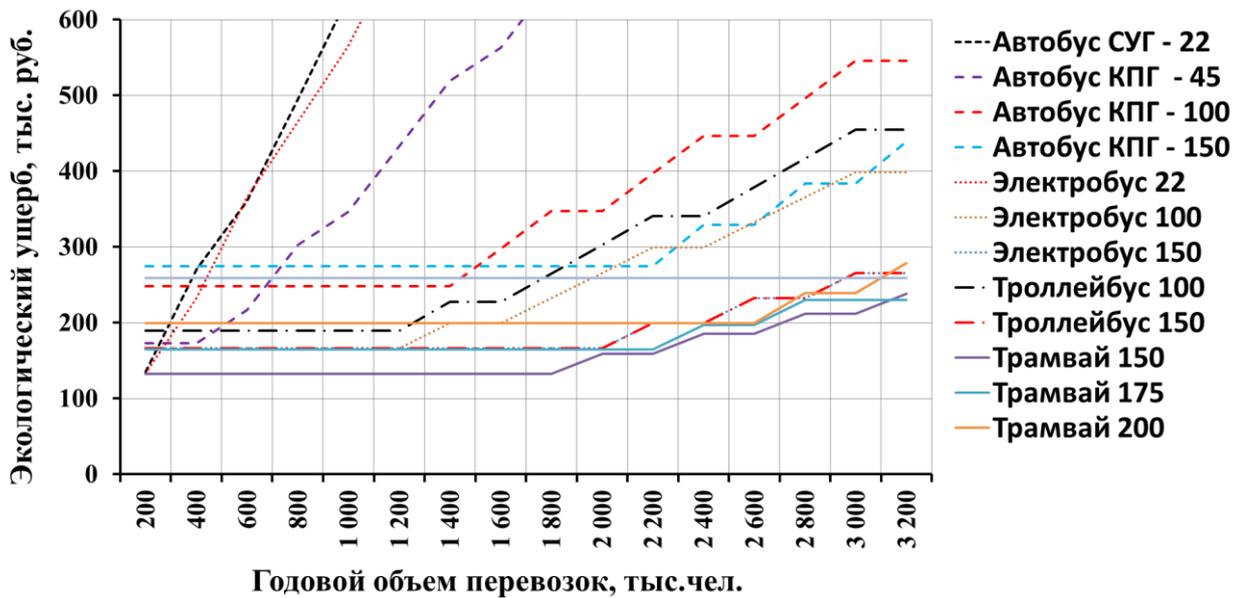


Рисунок 9 - Зависимости экологического ущерба при эксплуатации транспортных средств системы городского пассажирского наземного транспорта от годового объема перевозок

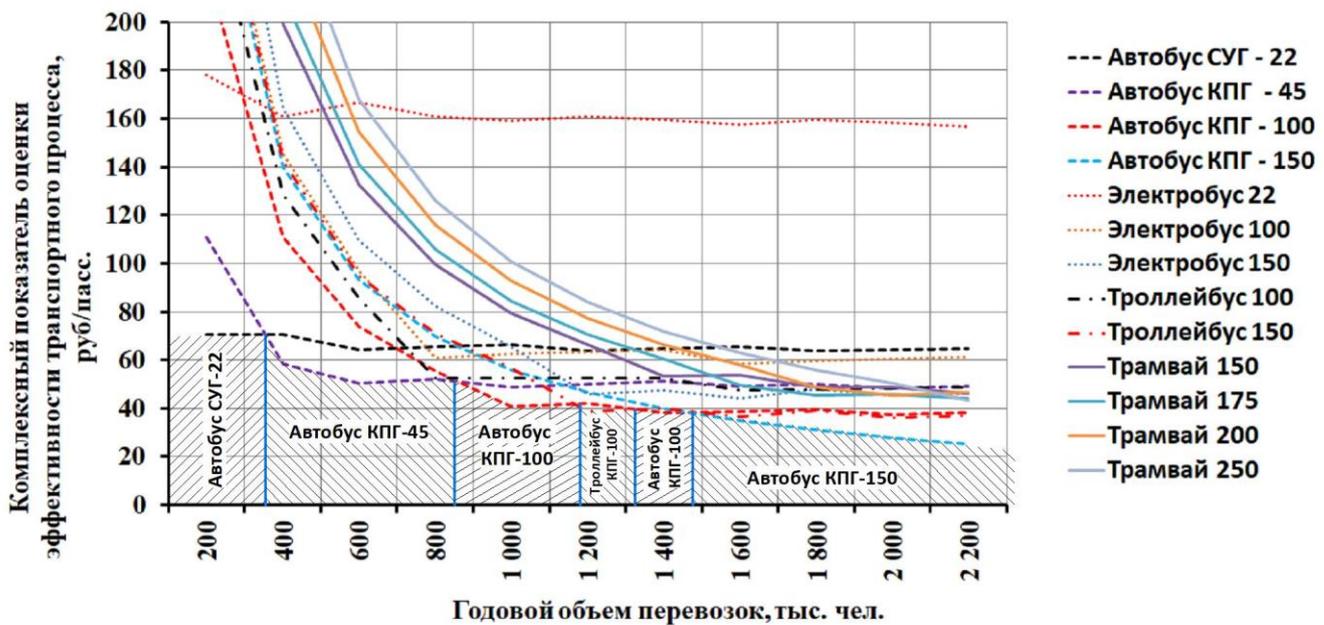


Рисунок 10 - Области эффективного применения различных категорий транспортных средств ГНПТК

По результатам аналитического исследования определены данные, необходимые для оптимизации **инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения**.

Итоговые математические выражения, характеризующие зависимость объёма инвестиционных вложений от технологических параметров заправочных (зарядных) станций:

- жидкое топливо:  $K = 525 \cdot R + 50 \cdot e + 11112,5$ ;
- сжиженный углеводородный газ:  $K = 750 \cdot R + 85 \cdot e + 12156$ ;
- компримированный природный газ:  $K = 20 \cdot e + 30682,5$ ;
- сжиженный природный газ:  $K = 2000 \cdot e + 92290$ ;
- электроэнергия:  $K = 2000 \cdot e + 2725$ ;

где  $R$  – количество накопителей энергоносителя, ед.;

$e$  – количество точек обслуживания ед.

На основе выражений, используемых при расчёте затратных статей на содержание различных видов заправочных (зарядных) станций, получены итоговые выражения, представленные в таблице 4.

Таблица 4 – Итоговые выражения для расчёта годовых эксплуатационных затрат на содержание инфраструктурного объекта

Вид энергоносителя	Итоговое выражение для расчёта годовых эксплуатационных затрат
Дизельное топливо	$\Sigma Z_{ЭК} = 161200 \cdot R + 29300 \cdot e + 15,186 \cdot V_{ГОД} + 7086708$
Сжиженный углеводородный газ	$\Sigma Z_{ЭК} = 173075 \cdot R + 35900 \cdot e + 12,154 \cdot V_{ГОД} + 8688334$
Компримированный природный газ	$\Sigma Z_{ЭК} = 16780 \cdot e + 3,46 \cdot V_{ГОД} + 11064664$
Сжиженный природный газ	$\Sigma Z_{ЭК} = 352100 \cdot e + 5,105 \cdot V_{ГОД} + 17065734$
Электроэнергия	$\Sigma Z_{ЭК} = 80300 \cdot e + 1,595 \cdot V_{ГОД} + 7448011$

По итогам моделирования установлены значения минимального объёма энергоносителя, определяющего целесообразность строительства заправочной станции. Определена минимальная численность транспортных средств, формирующая заданный уровень энергопотребления. Графики, иллюстрирующие данные, полученные в отношении жидких топлив, приведены на рисунках 11 и 12.

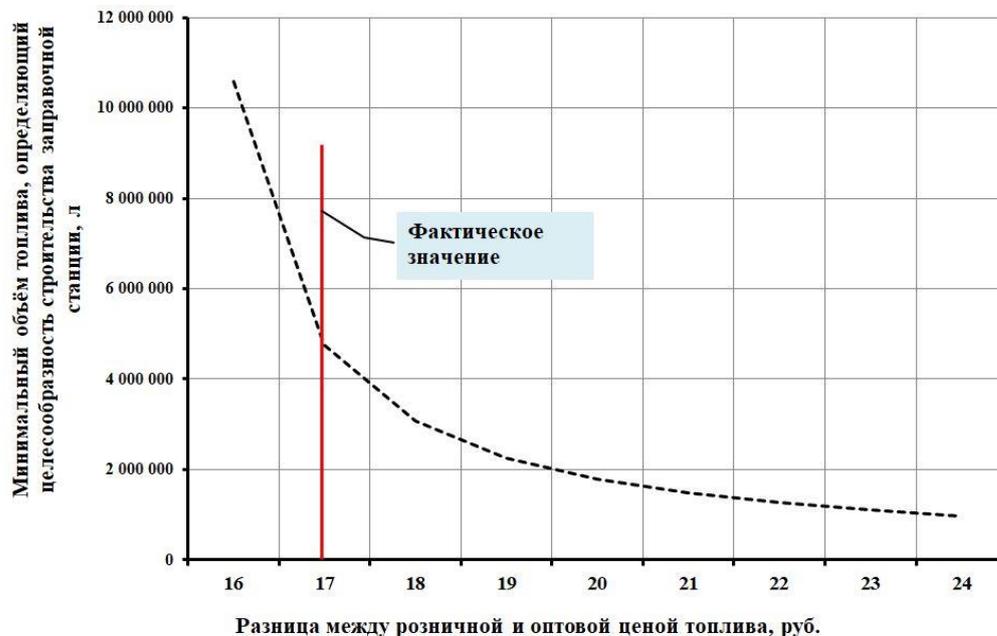


Рисунок 11 - Минимальный объём жидкого топлива, определяющий целесообразность создания заправочной станции

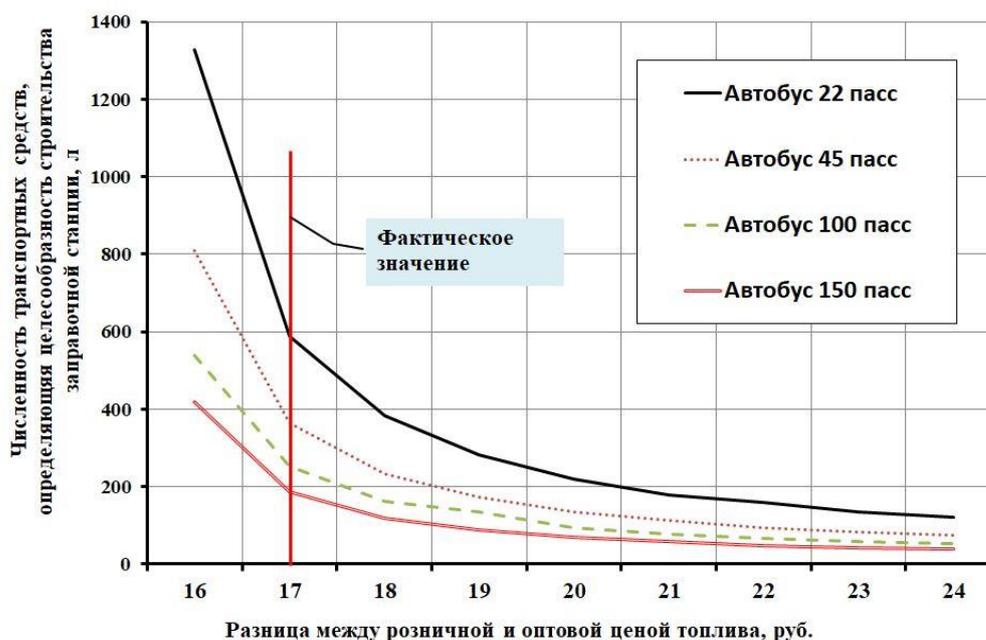


Рисунок 12 - Минимальная численность транспортных средств, определяющая заданный уровень энергопотребления

Для определения *оптимальной структуры производственно-технической базы*, обеспечивающей выполнение работ по поддержанию эксплуатируемых транспортных средств в исправном состоянии, определены данные, характеризующие уровень постоянных и переменных затрат для различных производственных подразделений.

По результатам расчётов, выполненных в соответствии с разработанной мето-

дикой, определены минимальные значения численности транспортных средств исходя из условия формирования граничных объёмов работ, определяющих целесообразность организации их выполнения на производственно-технической базе автотранспортного предприятия. На рисунке 20 представлена диаграмма, отражающая данные значения, установленные для различных подразделений производственно-технической базы автотранспортного предприятия.

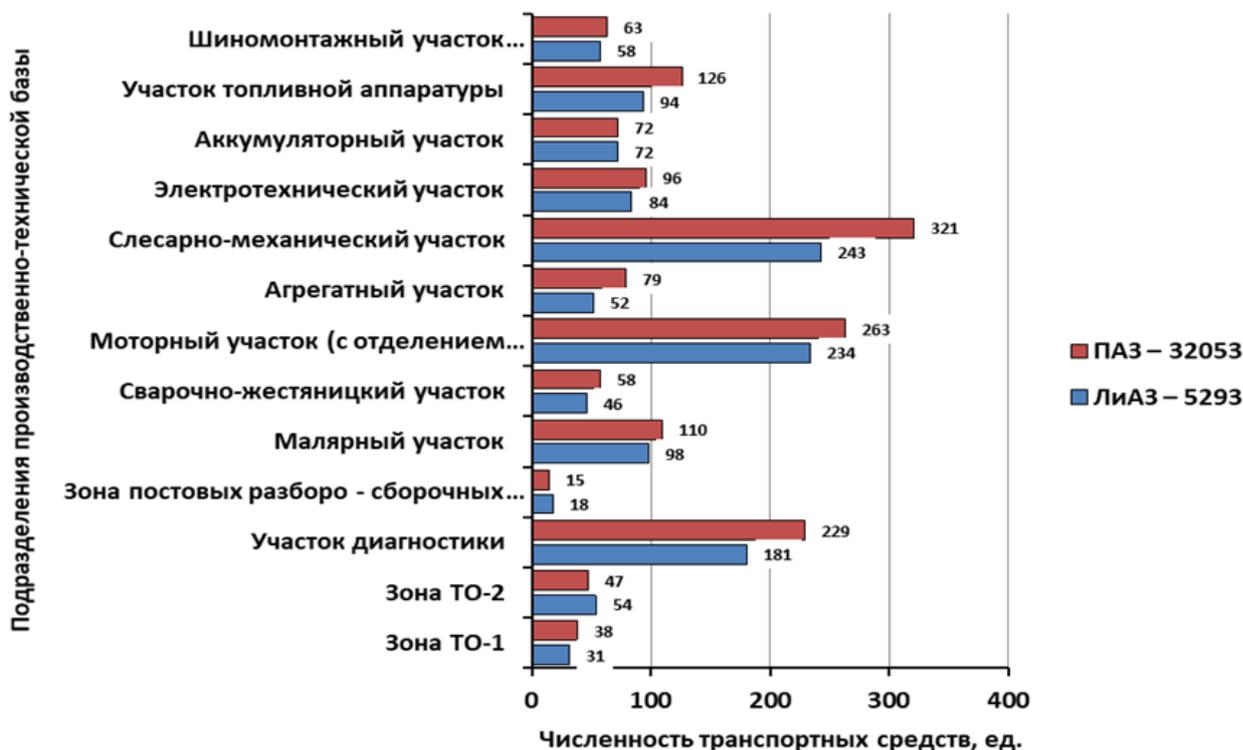


Рисунок 20 - Минимальные значения численности транспортных средств, обеспечивающие формирование объёмов работ, определяющих целесообразность включения производственных подразделений в состав производственно-технической базы предприятия

**В пятом разделе** представлены результаты практической реализации методики в отношении системы городского пассажирского наземного транспорта города Оренбурга. В соответствии с описанной последовательностью применения разработанных методов произведена циклическая итерационная оптимизация структурных параметров парка транспортных средств, инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения и структуры производственно-технической базы транспортных и сервисных предприятий. В заключительной части работы выполнен сравнительный расчёт технико-экономических показателей функционирования системы городского пассажирского наземного транспорта г. Оренбурга. Результаты расчёта приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Техничко-экономические показатели функционирования системы городского пассажирского наземного транспорта г. Оренбурга

Показатель	ДО	ПОСЛЕ
Количество обслуживаемых маршрутов, ед.	46	
Годовой объём перевозок, пасс.	103 871 100	
Численность ТС, ед.	920	595
Общий годовой пробег, тыс. км	52 587	28 861
Общие годовые затраты, тыс. руб.	2 914 500	2 549 270
Экологический ущерб, тыс. руб.	19 674	14 053
Суммарные затраты с учётом экологического ущерба, тыс. руб.	2 934 175	2 563 323
Удельные затраты на 1 км пробега, руб./км	55,8	88,8
Удельный экологический ущерб на одного пассажира, руб./чел.	0,189	0,135
Обобщённый показатель эффективности транспортного процесса, руб./чел.	28,25	24,68
Общий годовой экономический эффект от реализации проектных решений, тыс. руб.	386 400	

Исходя из полученных результатов, сформулирован вывод о том, что комплексная реструктуризация основных подсистем системы городского пассажирского транспорта, выполненная в соответствии с разработанными методами, приводит к одновременному повышению показателей экономической эффективности и снижению отрицательного воздействия на окружающую среду.

Результаты выполненного научного исследования могут быть масштабированы в отношении региональных автотранспортных комплексов, включающих в свой состав пассажирские и грузовые внутриобластные транспортные системы. Перспективными объектами практического применения предложенного концептуального подхода являются системы ведомственного транспорта и специализированные (отраслевые) транспортно-технологические комплексы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итогом проведённых научных исследований является методология оптимизации структурных параметров системы городского пассажирского наземного транспорта на основе согласования взаимосвязей ключевых подсистем. Полученные автором результаты позволяют решить важную народно-хозяйственную задачу повышения эффективности перевозок пассажиров в условиях обеспечения привлекательности транспорта общего пользования на основе развития производственно-технической базы и инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения при одновременном снижении отрицательного воздействия на окружающую среду.

Основные выводы по результатам исследований:

1. На основе результатов анализа принципов функционирования транспортных и логистических систем сформулирована концепция устойчивого развития системы городского пассажирского наземного транспорта, реализующая условие согласованного формирования структурных параметров подсистем, исходя из значений комплексного показателя эффективности, включающего технико-эксплуатационные и

экологические характеристики. В рамках концепции разработана модель функционирования системы, обеспечивающая возможность определения оптимальных структурных параметров и взаимосвязей ключевых подсистем, составляющих её материальную основу.

2. В качестве составной части концептуального подхода разработаны модель и методика определения оптимальной структуры парка транспортных средств, обеспечивающие учёт параметров транспортного процесса, эффективности использования не возобновляемых источников энергии, организации работ по техническому обслуживанию и ремонту подвижного состава и состояния инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения. В качестве критерия оптимизации использована величина суммарных затрат на перевозку пассажиров и затрат на компенсацию экологического ущерба.

3. На основе результатов аналитических и натурных исследований определены многомерные области эффективного применения пассажирских транспортных средств различных категорий и классов. Размерность области сформирована наиболее значимыми факторами: годовой объём перевозок, длина маршрута, способ энергетического обеспечения с учётом эффективности расходования не возобновляемых источников энергии. Получена система неравенств, определяющая области эффективного применения подвижного состава различной пассажироместимости. Применение автобусов, оснащённых двигателями внутреннего сгорания, обеспечивает максимальную эффективность использования не возобновляемых энергоресурсов (суммарный КПД 27,2 %) и минимальные значения суммарных затрат на перевозку одного пассажира от 60 до 25 руб. при использовании транспортных средств пассажироместимостью от 22 до 150 чел., определяемой исходя из величины годового объёма перевозок.

4. В соответствии с принципами системного подхода разработана методика определения оптимальных структурных параметров инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения системы городского пассажирского наземного транспорта, учитывающая влияние структуры, интенсивности эксплуатации, используемых видов энергоносителей и территориального расположения парка подвижного состава на количество заправочных (зарядных) станций, их производительность и территориальное расположение. Исходя из результатов моделирования, подтверждена возможность вычисления минимальных объёмов реализуемых энергоносителей, определяющих целесообразность строительства заправочных станций. Для жидких топлив при минимально-допустимом уровне рентабельности данный объём равен 4 260 000 литров в год. Определена численность транспортных средств, потребляющих данный объём: 590 ед. автобусов пассажироместимостью 22 чел.; 380 автобусов пассажироместимостью 45 чел.; 260 автобусов пассажироместимостью 100 чел.; 190 автобусов пассажироместимостью 150 чел.

5. Разработана методика оптимизации состава производственно-технической базы системы городского пассажирского наземного транспорта, как одной из подсистем. В качестве критерия оптимального состояния используется величина совокупных затрат, включающих в затраты на перевозку пассажиров и затраты на компенсацию экологического ущерба от транспортного процесса. Методика основана на сравнении затрат по видам работ на базе транспортного или сервисного предприя-

тий, учитывает структурные параметры парка и его распределение по транспортным предприятиям. Определены условия для кооперации транспортных и сервисных предприятий, являющиеся методической базой для формирования структуры совокупной производственно-технической базы системы городского пассажирского наземного транспорта. Установлено, что обоснованными условиями формирования комплексного АТП, обслуживающего городские маршруты, является наличие парка транспортных средств численностью более 243 ед. автобусов пассажироместимостью 100 чел. или более 321 ед. автобусов пассажироместимостью 45 чел.

6. Единство разработанных моделей и методов обеспечено разработанной методикой решения оптимизационной задачи, предполагающей выполнение многошагового итерационного расчёта, по результатам которого определяется состояние и взаимное влияние составляющих структурных частей, формирующее минимальные совокупные затраты на перевозку пассажиров и компенсацию экологического ущерба.

7. Техничко-экономическая оценка результатов применения разработанных методов в отношении системы городского пассажирского наземного транспорта города Оренбурга позволила установить, что оптимизация структурных параметров входящих в её состав подсистем сокращает совокупные затраты на перевозку пассажиров на 12,6 %, при снижении экологического ущерба на 28,6 %, что позволяет обеспечить снижение себестоимости перевозки одного пассажира (с учётом экологического ущерба) с 28,5 руб. до 24,68 руб. Итоговое значение общего годового экономического эффекта от реализации предложенных мероприятий составляет 386 млн. 400 тыс. руб.

## **ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОТРАЖЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:**

*- в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК:*

1. Дрючин, Д.А. Оценка экологической безопасности и энергетической эффективности транспортных средств, обслуживающих маршруты городского наземного транспортного комплекса / Д. А. Дрючин., Н.Н. Якунин, Н.В. Якунина // Интеллект. Инновации. Инвестиции. - 2024. - № 2. - С. 43-55 (К2).

2. Дрючин, Д.А. Совершенствование структуры городского пассажирского наземного транспортного комплекса на основе согласованного развития подсистем / Д. А. Дрючин // Вестник СиБАДИ. - 2024. - Том 21. - № 1 (95). - С. 74-87 (К2).

3. Дрючин, Д.А. Оптимизация инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения системы городского наземного пассажирского транспорта / Д. А. Дрючин // Вестник СиБАДИ. - 2023. - Том 20. - № 6 (94). - С. 718-727 (К2).

4. Рассоха, В.И. Оптимизация структуры парка безрельсовых транспортных средств, обслуживающих городские пассажирские маршруты, на основе результатов математического моделирования / В.И. Рассоха, Д.А. Дрючин, С.Л. Надирян // International Journal of Advanced Studies. - 2023. - Том 13. - № 3. - С. 180-202 (К2).

5. Дрючин, Д.А. Технико-экономический анализ применения сжиженного природного газа на автомобильном транспорте / Д. А. Дрючин., С.В. Горбачёв // Интеллект. Инновации. Инвестиции. - 2022. - № 4. - С. 116-127 (К2).

6. Дрючин, Д.А. Повышение эффективности эксплуатации парка автомобилей на газомоторном топливе на основе структурно-ориентированного моделирования / Н. Н. Якунин, Н. В. Якунина, Д. А. Дрючин, А. С. Тищенко // Автомобильная промышленность. - 2018. - № 2. - С. 21-24 (Входил в перечень ВАК на момент публикации).

7. Якунина, Н.В. Моделирование провозной способности городского пассажирского транспорта с учётом возможности улично-дорожной сети / Н. В. Якунина, Н. Н. Якунин, Д. А. Дрючин, С. В. Легашев // Автомобильная промышленность. - 2018. - № 3. - С. 27-31 (Входил в перечень ВАК на момент публикации).

8. Дрючин, Д.А. Оценка влияния технологических параметров и эксплуатационных факторов на эффективность применения компримированного природного газа на автомобильном транспорте / Д. А. Дрючин, А. С. Тищенко // Интеллект. Инновации. Инвестиции. - 2017. - № 11. - С. 16-19 (К2).

9. Дрючин, Д.А. Повышение эффективности технической эксплуатации автомобилей на основе кооперации автотранспортных и сервисных предприятий / Н. Н. Якунин, Н. В. Якунина, Д. А. Дрючин // Автомобильная промышленность. - 2017. - № 12. - С. 14-17 (Входил в перечень ВАК на момент публикации).

10. Дрючин, Д.А. Организация движения информационных и финансовых потоков в системе городского пассажирского общественного транспорта / Д. А. Дрючин // Интеллект. Инновации. Инвестиции. - 2016. - № 3. - С. 129-134 (К2).

11. Дрючин, Д.А. Анализ скоростных режимов работы транспортных средств на регулярных автобусных маршрутах / Д. А. Дрючин, А. Ф. Фаттахова, С. В. Балловнев // Интеллект. Инновации. Инвестиции. - 2016. - № 8. - С. 95-98 (К2).

12. Дрючин, Д.А. Обоснование области применения газового топлива на автомобилях с бензиновыми двигателями / Д. А. Дрючин, А. Ф. Фаттахова, М. Р. Янучков // Вестник Оренбургского государственного университета. - 2015. - № 4 (179). - С. 119-125 (К2).

13. Дрючин, Д.А. Основные направления повышения качества транспортного обслуживания населения городским пассажирским транспортом по регулярным маршрутам / Д. А. Дрючин, М. А. Майоров // Вестник Оренбургского государственного университета. - 2015. - № 4 (179). - С. 30-36 (К2).

14. Дрючин, Д.А. Постановка задачи структурно-ориентированного моделирования работы городского пассажирского транспортного комплекса / Д. А. Дрючин // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. - 2015. Т. 3. - № 4-1 (15-1). - С. 303-307 (К2).

15. Дрючин, Д.А. Технико-экономический анализ применения газового топлива на автомобилях с дизельными двигателями / Д. А. Дрючин, А. Ф. Фаттахова // Вестник Оренбургского государственного университета. - 2014. - № 10 - С. 60-65 (К2).

16. Дрючин, Д.А. Методика оптимизации структуры автобусного парка садоводческих маршрутов на основе комплексного обследования пассажиропотоков / Дрючин Д.А., Фаттахова А.Ф. // Вестник Иркутского государственного техническо-

го университета. - 2011. - № 3 (50). - С. 49-54 (Входил в перечень ВАК на момент публикации).

17. Дрючин, Д.А. Оптимизация структуры производственно технической базы комплексного автотранспортного предприятия / Д. А. Дрючин // Вестник Оренбургского государственного университета. - 2011. - № 10 (129). - С. 108-114 (К2).

18. Фаттахова, А.Ф. Методика оптимизации структуры и расписания работы автобусного парка на пригородных сезонных маршрутах по технико-экономическим критериям / Д. А. Дрючин, А. Ф. Фаттахова // Мир транспорта и технологических машин. - 2011. - № 2 (33). - С. 120-127 (К2).

*- свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ:*

19. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024660023. Программа расчета численности транспортных средств, обслуживающих регулярный маршрут городского пассажирского транспорта при обеспечении оптимальной наполняемости салона / С.Л. Надирян, Д.А. Дрючин, В.И. Рассоха, А.А. Изюмский; заявитель и правообладатель Гос. образоват. учреждение Кубанский гос. технолог. ун-т. – Заявка № 2024618300; зарег. 02.05.2024.

20. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024619554. Программа расчета технико-экономических показателей работы автобусов на регулярном маршруте городского пассажирского транспорта при обеспечении оптимальной наполняемости салона / С.Л. Надирян, Д.А. Дрючин, В.И. Рассоха, А.А. Изюмский; заявитель и правообладатель Гос. образоват. учреждение Кубанский гос. технолог. ун-т. – Заявка № 2024618325; зарег. 24.04.2024.

21. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023668943. Программа расчёта себестоимости перевозки пассажиров по муниципальным маршрутам регулярных перевозок / С.Л. Надирян, Д.А. Дрючин, В.И. Рассоха; заявитель и правообладатель Гос. образоват. учреждение Кубанский гос. технолог. ун-т. – Заявка № 2023667650; зарег. 06.09.2023.

*- в прочих изданиях:*

22. Оптимизация численности автотранспортных средств, обслуживающих регулярные маршруты городских агломераций : монография / Д. А. Дрючин [и др.]. - Краснодар : КубГТУ, 2024. - 178 с.

23. К вопросу о развитии автомобильной газозаправочной сети / А. А. Филиппов, Д. А. Дрючин, С. В. Горбачев, Е. В. Бондаренко, С. А. Федоров // Прогрессивные технологии в транспортных системах : материалы XVII междунар. науч.-практ. конф., Оренбург, 17-18 нояб. 2022 г. / отв. ред. В. И. Рассоха. - Оренбург : ОГУ, 2022. - С. 578-583. - 6 с.

24. Дрючин, Д. А. Совершенствование методики проектирования производственно-технической базы АТП на основе сравнительной оценки эффективности производственной деятельности / Д. А. Дрючин // Прогрессивные технологии в транспортных системах : материалы XVI Междунар. науч.-практ. конф., 11-13 нояб. 2021 г., Оренбург / М-во науки и высш. образования Рос. Федерации [и др.] ; отв.

ред. В. И. Рассоха, И. Х. Хасанов. - Электрон. дан. - Оренбург : ОГУ, 2021. - С. 215-221. - 7 с.

25. Дрючин, Д. А. Повышение эффективности эксплуатации автотранспортных средств на основе реализации альтернативных топливно-энергетических схем / Д. А. Дрючин, В. И. Рассоха, Р. С. Фаскиев // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : материалы Всерос. науч.-метод. конф. (с междунар. участием), 23-25 янв. 2020 г., Оренбург / М-во науки и высш. образования рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования «Оренбург. гос. ун-т». - Электрон. дан. - Оренбург : ОГУ, 2020. - С. 1213-1217. - 5 с.

26. Тищенко, А.С. Повышение эффективности функционирования автотранспортного комплекса региона на основе применения альтернативных схем топливно-энергетического обеспечения / А.С. Тищенко, Д.А. Дрючин, А.А. Филиппов, Р.Т. Шайлин // Газовая промышленность. - 2020. - № 1 (795). - С. 740-80.

27. Дрючин, Д. А. Структурное моделирование, как инструмент повышения эффективности городского общественного транспорта / Д. А. Дрючин // Прогрессивные технологии в транспортных системах : сб. материалов XIV Междунар. науч.-практ. конф., 20-22 нояб. 2019 г., Оренбург / М-во науки и высш. образования Рос. Федерации [и др.]; отв. ред. В. И. Рассоха. - Электрон. дан. - Оренбург : ОГУ, 2019. - С. 259-266. - 8 с.

28. Дрючин, Д.А. Распределение транспортных корреспонденций городского населения по видам общественного транспорта на примере города Оренбурга / Д.А. Дрючин, Н. Н. Якунин, Д.Г. Неволин // Инновационный транспорт. - 2016. - № 1(19). - С. 70-73. - 4 с.

29. Дрючин, Д.А. Оптимизация структуры парка подвижного состава, эксплуатируемого на городских маршрутах по технико-экономическим показателям эксплуатационного цикла / Д.А. Дрючин, Н.Н. Якунин, А.В. Артамкин // Автотранспортное предприятие. - 2011. - № 8. - С. 50-54. - 5 с.

Подписано в печать 20.09.2024 г. Формат 60 х 90 / 16

Тираж 120 экз.

Отпечатано в печатном салоне «Призма»

г. Оренбург, ул. Терешковой, 10/3