

На правах рукописи



Халтурин Роман Александрович

**МЕТОДОЛОГИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ В
ПАССАЖИРСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ НА
ОСНОВЕ ТЕОРИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ
НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ**

Специальность 2.9.9. «Логистические транспортные системы»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва – 2026

Работа выполнена на кафедре логистики и транспортно-технологических систем ФГБОУ ВО «Государственный университет управления»

Научный консультант: Доктор технических наук, доктор педагогических наук, профессор
Карелина Мария Юрьевна

Официальные оппоненты: Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Цифровые технологии управления транспортными процессами» ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта»
Ларин Олег Николаевич

Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры автомобильного транспорта ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»
Якунина Наталья Владимировна

Доктор технических наук, доцент, доцент кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»
Жесткова Светлана Анатольевна

Ведущая организация: **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»**

Защита состоится «15» октября 2026 года в 10:00 часов на заседании объединенного диссертационного совета 99.2.156.02 на базе ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», ФГБОУ ВО «Государственный университет управления» по адресу: 109542, Москва, Рязанский проспект, 99, корпус поточных аудиторий конференц-зал Научной библиотеки ГУУ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеках и на сайтах ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» <https://www.bstu.ru/> и ФГБОУ ВО «Государственный университет управления» <https://guu.ru/>. Объявление о защите и автореферат диссертации размещены на сайте ВАК при Минобрнауки России: <https://vak.minobrnauki.gov.ru>.

Автореферат разослан «___» июля 2026 г.

Ученый секретарь объединенного диссертационного совета



А.А. Акулов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Транспорт играет важнейшую роль в стимулировании социально-экономического, промышленного и градостроительного развития субъектов РФ, поэтому при эффективном управлении создаёт необходимые предпосылки для формирования положительных макроэкономических показателей экономики РФ в целом. Анализ структуры налоговых платежей показывает, что в совокупности транспортные предприятия обеспечивают стабильный рост поступлений налогов и сборов в бюджетную систему РФ. Особенно важна их роль при формировании доходов региональных бюджетов, в которых они формируют от 4-6 до 12-20 % от общей суммы налоговых поступлений всех субъектов экономической деятельности в зависимости от специфики региона. Учитывая его существенный вклад в формирование внутреннего валового продукта, значительный уровень обеспеченности занятости населения и объём привлекаемых инвестиций, транспортный комплекс относится к числу ведущих отраслей экономики РФ. Однако положительный эффект характерен не для всех сегментов транспортного комплекса в РФ. Анализ статистических данных по финансированию городского пассажирского транспорта за последние десятилетия показывает обратно пропорциональную зависимость между показателями объёмного роста (количество перевезённых пассажиров) и показателями отраслевого финансирования. Это позволяет институировать тезис о том, что потенциал транспортного комплекса реализуется не в полной мере ввиду локальной функциональной неэффективности. В анализе «Исследование финансового потенциала развития городского пассажирского транспорта», проведённом Российской академией транспорта (РАТ) в 2023-2024 гг., подчёркивается актуальность затронутой проблемы и её нерешённость из-за отсутствия эффективных универсальных моделей распределения ресурсов в пассажирских транспортных системах, применяемых на всей территории РФ.

Важно отметить, что финансирование программ по развитию транспортного комплекса РФ в основном осуществляется из федерального бюджета или за счёт инвестиций компаний с государственно-частным участием. Между тем, системный анализ проблемы неэффективности городского пассажирского транспорта показывает, что имеет место неэффективность системы управления, а именно – отсутствие эффективной системы распределения ресурсов, как основного инструмента достижения целей в сложных организационных системах. Поэтому неслучайно, ключевым направлением, декларируемым при реализации государственных программ и распоряжений Правительства РФ, является необходимость разработки инструментов эффективного распределения выделяемых ресурсов на их осуществление. Основные трудности создания универсальных объективных инструментов распределения ресурсов в транспортных системах определяются их сложной многоуровневой структурой, противоречивым

целеполаганием и наличием высокой степени неопределённости вследствие активного влияния внутреннего и внешнего факторного пространства. В сложной многоуровневой иерархической системе управления транспортным комплексом при решении задачи распределения ресурсов основным элементом является модель получения транспортно-экономического баланса. В общей структуре функционала системы транспортного планирования в РФ, разработанной в Минтрансе РФ, модель транспортно-экономического баланса (ТЭБ) и модель баланса пассажирских перевозок (БПП) расположены на одном иерархическом уровне, что закономерно, так как эффективное сочетание (баланс) данных подсистем является обязательным условием функционирования всей системы управления транспортным комплексом (ТК РФ). Важно отметить, что ТЭБ и БПП являются подсистемами, основным функционалом которых является обработка данных, полученных из подсистем загрузки транспортной сети, аналитическое моделирование исследуемых процессов и выработка объективных рекомендаций для подсистем финансово-экономического моделирования, межотраслевого планирования и контроля.

Поэтому в целях эффективной реализации национальных программ по развитию транспортного комплекса РФ важнейшим направлением является разработка методологии управления, направленной на преобразование системы транспортного планирования, использующей научно-обоснованные модели распределения ресурсов в транспортных системах. Подтверждением тому является констатация необходимости её разработки в «Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года» (далее Транспортной стратегии). В Транспортной стратегии указано, что приоритетным направлением развития ТК РФ является создание эффективных моделей управления пассажирскими транспортными системами.

Степень разработанности проблемы. Основоположниками научных исследований в области процессов эффективности и разработки прикладных математических методов управления в сложных системах являются математики-экономисты Л.В. Канторович (лауреат Нобелевской премии) и С.С. Шаталин. Их исследования применялись при разработке методов стратегического планирования в СССР. В последующие годы на основе исследований Л.В. Канторовича и С.С. Шаталина в области методов программно-целевого стратегического планирования для комплекса межотраслевых задач планирования была разработана концепция координационного взаимодействия при организации межотраслевого управления в условиях плановой системы народного хозяйства. В 70-80-х прошлого века методы стратегического планирования в сфере межотраслевого взаимодействия совершенствовались отечественными учёными В.М. Архиповым, В.В. Леонтьевым, Ю.В. Яременко, А.И. Анчишкиным и др., которые исследовали и разрабатывали модели сбалансированного межотраслевого развития на основе общей теории систем. Системные научные разработки применительно к методам совершенствования структур управления в контексте стратегической эффективности экономики

проводились в 70-80-е годы прошлого века и другими учеными-приверженцами фундаментальной теории общих систем, такими как, как Б.З. Мильнер, В.С. Рапопорт, О.С. Виханский и др.

На современном этапе характерной особенностью развития теории эффективностей является переход от понятия «эффективность», как синонима экономической результативности производства, к понятию «эффективность», как синонима результативности управления (эффективность управления), под эффективностью понимают соотношение между результатом деятельности и некой характеристикой (ресурсом), необходимой для достижения требуемого результата. Понятие эффективность уже не ассоциируется только с набором финансовых показателей, но является совокупным результатом, требующим учёта как финансовых, так и не финансовых показателей. Данная концепция была разработана Р.С. Капланом и Д.П. Нортон, получила наименование «balanced scorecard» и была признана в качестве мирового стандарта. Согласно «balanced scorecard» выбор стратегии осуществляется как решение многокритериальной задачи в целях проактивного управления. Методы решения задач в многокритериальных информационных ситуациях рассматривались еще в XIX веке Ф. Эджуортом и В. Парето. Они определяли искомым эффективным состоянием такое состояние (распределение товаров между потребителями), которое не может быть улучшено путём перераспределения товаров ни для одного участника без «ущемления интересов» некоторых других участников. Такие состояния были названы С. Смейлом критическими точками Парето. Методы получения Парето-оптимальных решений активно исследовались и разрабатывались отечественными и зарубежными учёными Подиновским В.В., Ногиним В.Д., Бусленко Н.П., Черноруцким И.Г., Эрроу К. Дж. и другими, доказавшими, что свойства множества эффективных решений имеют важнейшее прикладное значение для задач поиска оптимума баланса распределения ресурсов в сложных системах.

Выше отмечалось, что в сложных системах транспортного комплекса управление и планирование деятельности затрудняется многочисленными факторами неопределённой природы. Поэтому к разработке методов теории принятия решения в условиях неопределённости регулярно обращались учёные, и интерес к данной научной тематике не ослабевает.

В разработку теории принятия решений в условиях неопределённости внесли существенный вклад отечественные и зарубежные учёные Белман Р., Вильсон А., Заде Л.А., Мартин Н., Мушик Э., Мюллер П., Ногин В.Д., Подиновский В.В., Саати Т., Таха, Хедми А., Штотейер Р. и др. В работах перечисленных авторов, рассматривается значительное количество моделей, позволяющих эффективно решать задачи в сложных системах в зависимости от условий их функционирования. Однако в большинстве практических случаев при решении прикладных задач, где возникает потребность в руководстве по принятию решений, допускают упрощение, используя методы экспертного оценивания, что, в свою очередь, вносит субъективизм в

процедуры получения решений и приводит к значительным финансовым издержкам при реализации масштабных проектов управления.

Целью диссертационного исследования является разработка методологии распределения ресурсов в логистических многоуровневых пассажирских транспортных системах с многокритериальным целеполаганием на основе методов теории принятия решений в условиях неопределённости.

Для достижения цели исследования в диссертации поставлены **следующие задачи.**

1. Разработать основные научные положения логистики управления структурой многоуровневой системы с противоречивым целеполаганием и функционирующей в условиях неопределённости, в области методов определения эффективного распределения ресурсов, позволяющих реализовать концепцию сбалансированного развития транспортного комплекса.

2. Разработать варианты представления и комплекс моделей структуры логистической системы распределения ресурсов, дифференцируемых в зависимости от технологических и организационных принципов на основе существующей практики закрепления управляющих функций между субъектами управления, облегчающих формулировку и решение задач её расчёта, анализа и синтеза.

3. Разработать научные подходы распределения ресурсов в логистических пассажирских транспортных системах на основе теории принятия решений в условиях неопределённости, исключающие необходимость экспертного оценивания показателей (вероятностных характеристик, оценочных данных влияния внутреннего и внешнего факторного пространства и т.д.) на исследуемые процессы.

4. Разработать комплекс математических моделей и алгоритмов поиска оптимальных решений в логистических транспортных системах распределения ресурсов в условиях неопределённости, как функции ценности, ожидание которой представляет отношение нестрогого предпочтения во множестве вероятностных распределений.

5. Разработать исследовательское программное обеспечение (ПО), позволяющее выполнять расчёты в комплексе математических моделей и алгоритмов поиска оптимальных решений в логистических транспортных системах распределения ресурсов в условиях неопределённости.

6. Произвести численный эксперимент в многоуровневой системе распределения ресурсов городского пассажирского транспорта, распределённой по видам транспорта и агрегатированной на функциональные подсистемы, проанализировать результаты полученных значений весовых коэффициентов, соответствующих максимально возможному состоянию эффективности и тождественных по физическому смыслу значениям коэффициентов распределения ресурсов.

7. Синтезировать оптимальную структуру системы распределения ресурсов, состоящей из набора коэффициентов распределения ресурсов, соответствующих отдельным элементам во всех агрегированных подсистемах и на всех иерархических уровнях исследуемой пассажирской транспортной системы.

Объектом исследования является система распределения ресурсов, как комплекс прикладных математических моделей, оптимизирующих управление на межотраслевом уровне взаимодействия в логистических многоуровневых организационных структурах на образованиях пассажирского транспорта.

Предметом исследования является процесс синтеза оптимальных стратегий управления информационными состояниями в логистических пассажирских транспортных системах на основе теории принятия решений в условиях неопределённости.

Научная гипотеза. Синтез оптимальных стратегий управления распределением ресурсов в сложных пассажирских транспортных системах необходимо производить на основе теории принятия решений в условиях неопределённости. Аналитические модели теории принятия решений должны быть получены как результат многокритериальной оптимизации, позволяющей исключить субъективизм, вызванный информационной неопределённостью при формировании эффективных систем распределения транспортного обслуживания населения в субъектах РФ.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

1. Разработана концепция структуры системы распределения ресурсов в логистических многоуровневых пассажирских транспортных системах, заключающаяся в многообразии моделей её описания (модель структуры системы распределения ресурсов, основанная на технологическом принципе, на организационно-технологическом принципе и на функционально-сетевом принципе представления показателей), построенных на едином принципе формирования отдельных блоков морфологических матриц выбора сценариев распределения ресурсов с учётом показателя эффективности или оценочного функционала.

2. Разработан комплекс математических моделей поиска оптимального решения многокритериальных задач в системах распределения ресурсов в условиях неопределённости, в основе решения которых положен метод определения функции ценности, математическое ожидание которой представляет отношение нестрогого предпочтения во множестве вероятностных распределений.

3. Разработана методология синтеза оптимальной структуры распределения ресурсов при управлении логистическими системами городского пассажирского транспорта как последовательность представления, математического описания и анализа многоуровневой сложной системы на основе теории принятия решений в условиях неопределённости,

исключающая необходимость экспертного оценивания значимости оценочного функционала.

4. Разработаны алгоритмы, реализующие три проблемно-ориентированные стратегии, основанные на различных формах представления системы распределения ресурсов (РР-системы) в пассажирских транспортных системах:

- алгоритм исследования эффективности функционирования отдельных видов транспорта в РР-системе ГПТ;
- алгоритм исследования эффективности действий фактических субъектов управления, отвечающих за организацию функционирования отдельных локаций транспортных систем;
- алгоритм исследования эффективности функционирования транспортных систем как совокупности отдельных видов транспорта в информационно-аналитических платформах.

Практическая значимость диссертационного исследования заключается в разработке методологии, позволяющей решать следующие задачи, масштабируемые от уровня показателей отдельного предприятия до показателей транспортного комплекса национальной экономики РФ.

1. Оценка влияния проектов (сценариев) развития транспортной системы на достижение конкретных показателей Транспортной стратегии РФ на период до 2030 года.

2. Объективное обоснование корректировок в стратегии, необходимых при изменении внутреннего или внешнего факторного пространства, в привязке к целевым индикаторам реализации Транспортной стратегии РФ на период до 2030 года.

3. Комплексная оценка эффективности проектов развития транспортной инфраструктуры с учётом взаимного влияния различных видов транспорта и различных объектов транспортной инфраструктуры.

4. Разработано исследовательское программное обеспечение (ПО), позволяющее выполнять расчёты в комплексе математических моделей и алгоритмов поиска оптимальных решений в логистических транспортных системах распределения ресурсов в условиях неопределённости.

Методология исследования основывается на базовых принципах системного анализа, предполагающих обязательные этапы (анализ исследуемой системы; формирование цели исследования, математическое формулирование проблемы исследования; построение математической модели системы; оптимальный синтез системы, на основе построенных моделей); теории эффективностей (задача оценки эффективности при выборе рационального способа действий – стратегии распределения ресурсов); методах управления информационными ситуациями в условиях неопределённости факторного пространства с неизвестными функциями принадлежности (алгоритм снятия неопределённости в системе с последующей целенаправленной процедурой, направленной на детерминацию информационной среды); теории принятия решений, а именно – специальных

прикладных методах, исключающих необходимость экспертной оценки оценочного функционала (вероятностных характеристиках, оценочных данных влияния внутреннего и внешнего факторного пространства и т.д.) исследуемых процессов; теории сложных многоуровневых систем с учётом специфических условий работы пассажирского транспорта (динамичность, неустойчивость транспортных потоков, нестабильность во времени показателей использования подвижного состава и результативных показателей транспортных предприятий, региональная разнородность по климатическим и географическим условиям и т.д.); методов решения многокритериальных задач (методы векторной оптимизации).

Положения, выносимые на защиту:

1. Основные научные положения, соответствующие логистике управления структурой многоуровневой системы, как системы с противоречивым целеполаганием и функционирующей в условиях неопределённости.

2. Варианты представления и комплекс моделей структуры сложной системы распределения ресурсов, дифференцируемых в зависимости от технологических и организационных принципов на основе существующей практики закрепления управляющих функций между субъектами управления.

3. Комплекс математических моделей и алгоритмов поиска оптимальных решений в логистических транспортных системах распределения ресурсов в условиях неопределённости.

4. Алгоритмы исследовательского ПО, позволяющие выполнять расчёты в комплексе математических моделей и алгоритмов поиска оптимальных решений в логистических транспортных системах распределения ресурсов в условиях неопределённости.

5. Результаты численного эксперимента – модели получения значений весовых коэффициентов, соответствующих максимально возможному состоянию эффективности и тождественных по физическому смыслу значениям коэффициентов распределения ресурсов.

6. Оптимальная структура системы распределения ресурсов, состоящая из набора коэффициентов распределения ресурсов, соответствующих отдельным элементам во всех агрегатированных подсистемах и на всех иерархических уровнях исследуемой логистической пассажирской транспортной системы.

Область исследования соответствует паспорту научной специальности 2.9.9. «Логистические транспортные системы»:

– пункт 1. Организационно-технологические и управленческие структуры в логистических транспортных системах.;

– пункт 6. Информационные системы управления элементами, подсистемами и транспортно-логистической системой в целом, включая цифровые и интеллектуальные технологии, телематику;

– пункт 9. Организационно-технологические решения в области интеллектуализации и цифровизации транспортно-логистических процессов, идентификации и мониторинга объектов и процессов.

Личный вклад автора. Основные идеи, положенные в основу методологии распределения ресурсов в пассажирских транспортных системах на основе теории принятия решений в условиях неопределённости, принадлежат автору. Автором исследования последовательно были выполнены следующие этапы разработки РР-системы.

1. Анализ факторов влияния и определение вероятностных характеристик параметров исследуемой системы.

2. Формализация объекта (формирование сложной системы в виде иерархической структуры свойств).

3. Разработка системы показателей для количественной оценки отдельных единиц транспортного комплекса.

4. Выбор и формализация оценочного потенциала и критериев принятия решений.

5. Разработка математической модели для связи оценочного функционала с показателями качества транспортного комплекса.

6. Проверка модели и при необходимости её корректировка.

7. Выбор метода оптимизации проведения расчётов и поиск модели распределения ресурсов с оптимальными характеристиками по целеполаганию.

Степень достоверности проведённых исследований обоснована:

– применением фундаментальных принципов системного анализа, реализованных в классической методологии формирования системы расчётных случаев при выборе сценария распределения ресурсов в сложной организационно-технической системе и оценке её эффективности;

– использованием для объективной оценки в РР-системах аналитических инструментов, основанных на теории принятия решений в условиях неопределённости и исследовательского ПО (алгоритмический язык C++), подтвердившего эффективность разработанных методов в сравнении с апробированными методами, в частности с методом определения весовых коэффициентов (оценки Фишберна и др.);

– публикациями автора в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ;

– результатами численного эксперимента, проведённого на разработанном ПО.

Апробация результатов работы. Результаты исследования доложены, обсуждены и одобрены на всероссийских и международных конференциях.

1) Международная научная конференция - II Зельднеровские чтения «Территориально локализованные точки роста: российский и зарубежный опыт», 27 апреля 2024 г., РАНХиГС, г. Москва.

2) Международная научная конференция - «2025 Intelligent technologies and electronic devices in vehicle and road transport complex» (TIRVED-2025), 12-14 ноября 2025 г., МАДИ, г. Москва.

3) XIV Всероссийское совещание по проблемам управления, посвященное 85-летию Института проблем управления имени В.А. Трапезникова РАН, 17-20 июня 2024 года, г. Москва.

4) VI Международная научно-практическая конференция «Научные исследования и разработки 2026», 5 июня 2026 г., МЦНС «Наука и Просвещение», г. Пенза.

5) XXIX Международная научно-практическая конференция «Актуальные вопросы современной науки», 5 июня 2026 г., МЦНС «Наука и Просвещение», г. Пенза.

Результаты исследования внедрены в работу следующих предприятий и образовательных учреждений.

1) ОАО «Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта (ОАО «НИИАТ»)) для совершенствования технологий и систем организации перевозок на пассажирском транспорте.

2) ООО ГК «Альтекс» для совершенствования системы распределения ресурсов при организации перевозок.

3) ООО «ПРЯМЫЕ ДОРОГИ» для совершенствования системы организации перевозок.

4) ФГБОУ ВО «Государственный университет управления» в учебный процесс.

5) ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта» в учебный процесс.

Результаты исследования реализованы в разработке и регистрации следующих программ для ЭВМ: «Программное обеспечение универсального бортового компьютера для мониторинга технических показателей транспортных средств» (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025660177 от 08.04.2025) и «Программное средство выбора оптимального распределения ресурсов в пассажирской транспортной системе» (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025669731 от 30.07.2025).

Публикации. По теме работы опубликовано 17 работ общим объемом 12,3 печатных листа. Из них 11 работ по специальности 2.9.9. «Логистические транспортные системы» и 2 работы по смежной специальности 2.9.4. «Управление процессами перевозок» в рецензируемых изданиях из перечня, размещенного на официальном сайте ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, получено 2 свидетельства государственной регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, списка сокращений и приложений. Общий объем диссертационного исследования составляет 320

страниц машинописного текста, включающего 74 рисунка и 21 таблицу. Библиографический список состоит из 243 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность разработки исследования на тему «Методология распределения ресурсов в пассажирских транспортных системах на основе теории принятия решений в условиях неопределённости», обозначены основные проблемы, приводящие к нерациональному распределению ресурсов, направляемых на повышение эффективности систем городского пассажирского транспорта РФ. Сформирована научная гипотеза, призванная устранить данные проблемы.

В первой главе «Выявление проблемы и путей повышения эффективности системы управления при организации транспортного обслуживания населения РФ» на основе анализа тенденций в развитии систем транспортного комплекса РФ и систем городского пассажирского транспорта (ГПТ) выявлено, что налицо обратно пропорциональная зависимость между показателями объёмного роста (количество перевезённых пассажиров) в системе транспортного обслуживания населения и показателями отраслевого финансирования. То есть имеет место неэффективность системы управления ГПТ, как элементом транспортного комплекса РФ, а именно – отсутствуют эффективные системы распределения ресурсов, как основной инструмент достижения целей в сложных организационных системах. Между тем, статистические данные по балансу профицита и дефицита фондов финансирования городского пассажирского транспорта общественного пользования демонстрируют, что в подавляющем количестве городов не покрываются даже эксплуатационные расходы на транспортное обслуживание населения (91 город из 54 регионов – 69% городов).

В целях ликвидации данного противоречия и структурной перестройки систем управления на транспорте, а также для повышения эффективности транспортного комплекса РФ была разработана Концепция Государственной транспортной политики, реализуемая в виде Национальных проектов и стратегий развития транспортного комплекса РФ до 2030 (2035) г. Реализация данных проектов затрудняется рядом обстоятельств, носящих объективный характер:

- большим разнообразием локальных задач и их разнородностью по технологическим и организационным признакам;
- сложными условиями (динамически изменяющимися показателями функционирования), наличием внутренних и внешних системных факторов, активно влияющих на показатели эффективности.

Определено, что с научных позиций система управления транспортным комплексом РФ является сложной многоуровневой иерархической системой управления, ключевым звеном которой является модель получения транспортного-экономического баланса. Что закономерно, так как эффективное сочетание (баланс) различных видов транспорта (для ГПТ:

автобусный, троллейбусный и трамвайный) является обязательным условием функционирования всей системы управления транспортным комплексом.

На основании анализа статистических данных доказано, что отсутствуют эффективные инструменты распределения ресурсов в системе управления транспортным комплексом РФ в целом, и системе управления транспортом общественного пользования, в частности.

Разработаны основные положения систематизации исследований (на основе научных трудов отечественных и зарубежных авторов) в области эффективности распределения ресурсов в сложных организационных системах. Показало, что построение множества эффективных решений распределения ресурсов в сложных организационных системах является результатом большого количества численных процедур с последующей многокритериальной оптимизацией.

Доказано, что разработка объективной системы моделей распределения ресурсов (СМРР) имеет важнейшее прикладное значение для задач поиска оптимума баланса распределения ресурсов в транспортном комплексе. Но важным обстоятельством, влияющим на разработку методологии распределения ресурсов в сложных системах ГПТ, является то, что поиск эффективных решений сопровождается информационной ситуацией с наибольшей степенью неопределённости с неизвестными функциями принадлежности.

Установлено, что большинство исследований структур информационных ситуаций с наибольшей степенью неопределённости с неизвестными функциями принадлежности опираются на модели и алгоритмы поддержки принятия решений, в которых значимое место уделяется методам экспертного оценивания. Тем самым нарушается требование объективности к решаемой задаче и невозможности достичь автоматизированного (формализованного) получения оптимальных решений.

Определено, что в современных же условиях активного развития «цифровых технологий» важно реализовать новые возможности, в первую очередь создавая прикладное, профильное (специализированное) программное обеспечение (ПО). Преимущества специализированного ПО очевидны: сокращаются затраты времени на процедуры принятия решений, оптимизируется количество элементов в системе планирования производства и т.д. в структурах, отвечающих за процессы стратегического планирования.

По итогам проведённого анализа определена цель – создание эффективной методологии распределения ресурсов в пассажирских транспортных системах на основе теории принятия решений в условиях неопределённости. Для достижения цели исследования будут разрабатываться специальные прикладные методы, исключающие необходимость экспертного оценивания показателей (вероятностных характеристик, оценочных данных влияния внутреннего и внешнего факторного пространства и т.д.) исследуемых процессов. Реализация данного научного подхода должна

снизить субъективизм принимаемых решений, и, следовательно, повысить эффективность ГПТ, как важнейшей составляющей транспортного комплекса.

Во второй главе «Систематизация методов снятия неопределённости в целях проектирования эффективных моделей управления в сложных организационных системах» определено, что при разработке формального подхода к выбору методов решения в сложных организационно-производственных системах, какими являются системы городского пассажирского транспорта общего пользования (ГПТОП), необходимо исследовать полный спектр информационных условий, определяемых влиянием внешнего и внутреннего факторного пространства. Как правило, рассматривают три основные группы информационных состояний: определённые условия, когда вся исходная информация при таких условиях считается точно известной; вероятностно определены условия, когда исходная информация определена в вероятностном смысле и помимо однозначных исходных данных имеются случайные величины с точно известными вероятностными характеристиками; условия неопределённости, когда исходная информация содержит величины, для которых неточно известно или совсем неизвестно вероятностное описание.

В РР-системах ГПТОП имеет место генезис состояния информационной неопределённости, обусловленный:

- 1) неопределённостью, вызванной недостатком информации и её достоверности в силу политических, экономических, технических, социальных причин;
- 2) неопределённостью, проявляющейся в непредсказуемом изменении вектора факторного пространства внешних возмущений;
- 3) неопределённостью, вызванной поведением внутренней среды в достаточно сложной многоуровневой производственной системе с большим количеством управляемых объектов;

что в конечном итоге приводит к «принципиальной» неопределённости, определяемой апробированным на практике научным подходом, необходимым для решения поставленных в исследовании задач.

Естественным научным подходом в данной ситуации является разработка математического аппарата, переводящего состояние неопределённости к первой информационной ситуации. Для решения данной задачи применяется принцип максимума неопределённости, а в качестве меры неопределённости выбирается энтропия Шеннона. Данный принцип отражает определённую модель поведения системы, в условиях которой проявляются свойства рассматриваемой системы и сущность которой может быть раскрыта в результате решения вполне определённой экстремальной задачи. Однако, существует множество распределений P_j , эквивалентных исходной информации, и в этом случае возникает естественный вопрос: какой именно модели расчёта весовых коэффициентов отдать предпочтение при выборе оптимального сценария распределения ресурсов в исследуемой системе ГПТОП?

В общем случае для решения поставленной задачи применяют следующий алгоритм действий.

1) Определить условия, в которых будет функционировать исследуемая система, то есть определить среду со множеством взаимоисключающих вариантов $\Theta = (\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_j, \dots, \Theta_n)$. По физическому смыслу элементы множества Θ_i должны соответствовать основным показателям производительности в тех или иных условиях эксплуатации.

2) Определить и задать основной показатель эффективности или полезности (оценочный функционал) $\Phi = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_i, \dots, \varphi_m)$, характеризующий «выигрыш» или «проигрыш» среда C находится в состоянии $\Theta_j \in \Theta$. Обозначим этот показатель как F , а измеритель f_{jc} будет обозначать, что он принял конкретное численное значение (показатель), если среда находится в состоянии Θ_j , а мы оцениваем функционал φ_{ic} .

3) Выбрать критерии эффективности на множестве показателей f_{jk} , характеризующих сложившуюся информационную ситуацию. Принципиально здесь может сложиться ряд следующих информационных ситуаций:

- точное знание распределения вероятностей: $P_j = P\{\Theta = \Theta_j\}$, $\sum_{j=1}^n P_j = 1$ выбора средой (C) своих состояний Θ_j из множества Θ ;
- информационное состояние характеризуется системой предпочтения элементов Θ ;
- распределение вероятностей на элементах Θ_j из множества Θ неизвестно.

Наглядное представление схемы информационных состояний даёт матрица в виде таблицы 1.

Таблица 1. Морфологическая матрица выбора сценариев с учётом показателя эффективности или оценочного функционала

R		Q					$\mathcal{E}_i^p$
		Q_1P_1	...	Q_jP_j	...	Q_nP_n	
Φ	φ_{c1}	f_{11}	...	f_{1j}	...	f_{1n}	$\mathcal{E}_{c1}^p = \sum_{j=1}^n P_j f_{j1}$
	...	...	...	...	...	...	...
	φ_c	f_{i1}	...	f_{ij}	...	f_{mj}	$\mathcal{E}_{ci}^p = \sum_{j=1}^n P_j f_{jc}$
	...	...	...	...	...	...	...
	φ_{cm}	f_{m1}	...	f_{in}	...	f_{mn}	$\mathcal{E}_{cm}^p = \sum_{j=1}^n P_j f_{jm}$

В модели в качестве принятия решения в рассматриваемой ситуации целесообразно использовать критерий Байеса.

$$B(P, \varphi_c^{opt}) = \begin{cases} \max B(P, \varphi_c); & \varphi_c \in \Phi \\ \text{или} \\ \min B(P, \varphi_c); & \varphi_c \in \Phi \end{cases} \quad (1)$$

где

$$B(P, \varphi_k) = \sum_{j=1}^n P_j f_{jc} \quad (2)$$

Операция максимизации или минимизации определяется физическим смыслом оценочного функционала F , тем целеполаганием, к которой стремится система при выборе варианта сценария. Сущность критерия (1) заключается в максимизации (или минимизации) математического ожидания оценочного функционала. Согласно критерию Байеса оптимальным решением $\varphi_k^{opt} \in \Phi$ считается такое решение, для которого математическое ожидание оценочного функционала достигает наибольшего (или наименьшего) возможного решения. Если все элементы состояния среды $\Theta_j \in \Theta$ упорядочены таким образом, что расположены в порядке предпочтения, то в качестве оценок неизвестных вероятностей могут быть приняты оценки Фишберна.

$$\hat{P}_{cj} = \frac{2(n-j+1)}{n+1}, j = 1, \dots, n \quad (3)$$

что позволяет для выбора оптимального варианта использовать критерий (1) в виде

$$B(\hat{P}, \varphi_c^{opt}) = \begin{cases} \max B \sum_{j=1}^n P_j f_{jc}; & \varphi_c \in \Phi \\ \text{или} \\ \min B \sum_{j=1}^n P_j f_{jc}; & \varphi_c \in \Phi \end{cases}, \text{ где } P_j = \hat{P}_{cj} \quad (4)$$

Далее необходимо рассмотреть выбор оптимального варианта, когда состояние среды неизвестно (неизвестен закон распределения P_j). В данном случае возможны различные варианты решения поставленной задачи. Рассмотрим некоторые из них.

Первый вариант. В качестве критерия оптимальности рассматривается критерий, базирующийся на так называемом потенциальном распределении вероятностей. Принцип потенциального распределения вероятностей основан на том, что среда «предпочитает» выбор с большей вероятностью (если мы стремимся к получению большего значения оценочного потенциала) такого состояния из множества Θ , на котором вклад в суммарное значение оценочного функционала F по всем превращениям $\varphi_i \in \Phi$ имеет большую величину по сравнению с другими аналогичными значениями по возможным состояниям среды Θ . Такой принцип представляет собой модель «поведения» среды, стремящейся понизить значение оценочного функционала, если мы стремимся к увеличению F , или повысить (в противоположном случае) при принятии решения φ_c^{opt} .

Потенциальный вектор P_j априорных распределений состояний среды Θ определяется в виде:

- если целеполагание – уменьшение потенциала F

$$\hat{P}_j = \frac{\sum_{c=1}^m f_{jc}}{\sum_{j=1}^n \sum_{c=1}^m f_{jc}} \quad (5)$$

- если целеполагание – увеличение потенциала F

$$\hat{P}_j = \frac{1}{\sum_{c=1}^m f_{ic}} \cdot \frac{1}{\sum_{j=1}^m \frac{1}{\sum_{c=1}^n f_{jc}}} \quad (6)$$

Второй возможный вариант основан на оценках Фишберна. Распределение априорных вероятностей $\hat{P}_j$ подчинено ограничениям.

$$0 \leq \hat{P}_j \leq 1, \quad j = \overline{1, n}, \quad \sum_{j=1}^n \hat{P}_j = 1, \quad (7)$$

то есть определяется $(n - 1)$ независимых величин.

Тогда полное множество распределения априорных вероятностей $\hat{P}_j$ может быть представлено в виде прямоугольного единичного гипертетраэдра в информационном пространстве $(n - 1)$ независимых величин $\sum_{j=1}^{n-1} \hat{P}_j$. В декартовой системе координат данный гипертетраэдр формируется пересечением положительного гипероктанта гиперплоскостью, отсекающей на каждой из осей отрезок, равный единице.

Преобразуем (7) в последовательность, при которой выполняется следующее условие:

$$\hat{P}_{j_1} \geq \hat{P}_{j_2} \geq \dots \geq \hat{P}_{j_s} \geq \dots \geq \hat{P}_{j_{n-1}} \geq \hat{P}_{j_n} \quad (8)$$

Число данных последовательностей определяется количеством возможных перестановок $j_s = n!$. При $n = 3$ поле распределений априорных вероятностей трансформируется в прямоугольный треугольник с единичными катетами (рисунок 1). Тогда количество подмножеств, каждому из которых соответствует свое соотношение между $\hat{P}_j$, равно $P_3 = 3! = 6$.

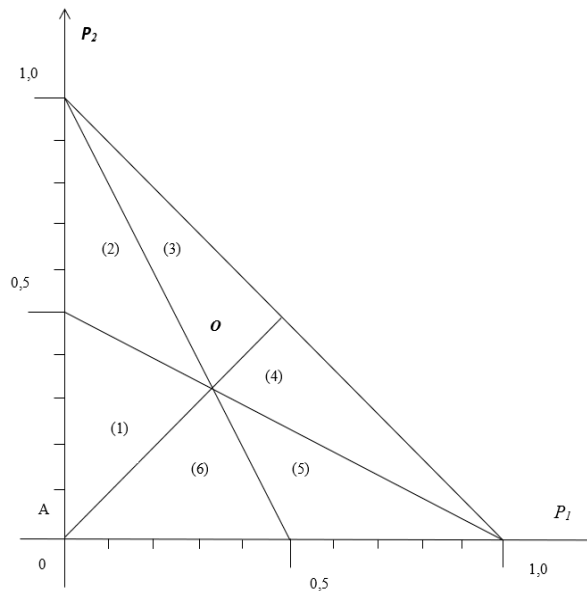


Рисунок 1 – Поле распределений коэффициентов $\hat{P}_j$, $P_3 = 3! = 6$ в декартовой системе координат

Можно сделать заключение о том, что все возможные решения исследуемой системы расположены внутри прямоугольного треугольника с единичными катетами и на его сторонах. На рисунке медианы разбивают данный треугольник на $3! = 6$ секторов $\{(1), (2), \dots, (6)\}$. Точка (O) делит

каждую медиану в отношении ($1/2$) и имеет координаты $\hat{P}_{j_1} = \hat{P}_{j_2} = \hat{P}_{j_3} = 1/3$. Распределение площадей секторов внутри треугольника, подчиняющихся условию:

$$S_1 = S_2 = \dots = S_j = \dots = S_{n!} = \frac{1}{2n!},$$

где S_j - площадь сектора, $j = \overline{1, n}$ (9)

В таблице 2 представлены шесть подмножеств распределения априорных вероятностей $\hat{P}_j$, которые составляют полное множество вероятностей тождественных КОВ

Таблица 2. Разделение пространства возможных решений на геометрические поля распределения априорных вероятностей $\hat{P}_j$

Подмножество	Соотношение априорных вероятностей $\hat{P}_j$.
(1)	$\hat{P}_{j_1} < \hat{P}_{j_2} < \hat{P}_{j_3}$
(2)	$\hat{P}_{j_1} < \hat{P}_{j_3} < \hat{P}_{j_2}$
(3)	$\hat{P}_{j_3} < \hat{P}_{j_1} < \hat{P}_{j_2}$
(4)	$\hat{P}_{j_3} < \hat{P}_{j_2} < \hat{P}_{j_1}$
(5)	$\hat{P}_{j_2} < \hat{P}_{j_3} < \hat{P}_{j_1}$
(6)	$\hat{P}_{j_2} < \hat{P}_{j_1} < \hat{P}_{j_3}$

Тогда выражение трансформируется в

$$B(\hat{P}, \varphi_c^{opt}) = \begin{cases} \max B \sum_{j=1}^n P_j f_{jc}; \varphi_c \in \Phi \\ \text{или} \\ \min B \sum_{j=1}^n P_j f_{jc}; \varphi_c \in \Phi \end{cases}, P_j = \max_{j_s} (\min) \hat{P}_{cj} \quad j_s = 1 \dots n! \quad (10)$$

когда полное множество распределения априорных вероятностей $\hat{P}_j$ представлено в виде прямоугольного единичного гипертетраэдра в информационном пространстве $(n - 1)$ независимых величин $\sum_{j=1}^{n-1} \hat{P}_j$.

Модель для выбора оптимального варианта (10) дополняет вариант решения задачи, основанный на оценках Фишберна в части определения эффективного решения на всём возможном информационном пространстве множества возможных решений Θ . При применении данного подхода снижается субъективизм получения решения методом оценок Фишберна за счёт расширения пространства поиска решения в части определения максимальной эффективности системы распределения ресурсов ГПТОП на всё информационное пространство множества возможных информационных ситуаций Θ .

В третьей главе «Разработка комплекса моделей, определяющих многообразие структуры системы распределения ресурсов в пассажирских транспортных системах» разработана концепция, структурно систематизирующая РР-систему ГПТОП, как совокупность возможных моделей представления структуры системы распределения ресурсов в сложных многоуровневых структурах. Было разработано три модели

представления исследуемой РР-системы ГПТОП, построенных на едином принципе формирования для отдельных блоков морфологических матриц выбора сценариев с учётом показателя эффективности или оценочного функционала. В таблице 3 сформован единый логический оператор (блок) структуры распределения ресурсов в пассажирской транспортной системе. Данный логический оператор (ЛО) является базовым элементом проектируемой системы распределения ресурсов.

Элементарным показателем является оценочный функционал $\Phi = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_i, \dots, \varphi_m)$, который характеризует эффективность эксплуатации отдельных видов транспорта (автобус, трамвай, троллейбус, метрополитен и т.д.) для отдельных взаимоисключающих информационных ситуаций (ИС). Взаимоисключающие ИС среда находится в состояниях $\Theta_j = Q_j P_j \in \Theta$. Под взаимоисключающими ИС понимается разделение всей совокупности объектов пассажирской транспортной системы, требующих отдельных статей приложения ресурсов (финансирования).

Таблица 3. Элементарная логическая матрица оценочного функционала для отдельных видов транспорта

R_1		Q – множество ИС, взаимоисключаемых для различных видов транспорта					$\mathfrak{Z}_i^p$ - эффективность по Байсу
		ИС ₁ – $Q_1 P_1$	...	ИС ₂ – $Q_j P_j$	...	ИС _n – $Q_n P_n$	
Φ – различные виды транспорта	φ_{c1}	f_{11}	...	f_{1j}	...	f_{1n}	$\mathfrak{Z}_{c1}^p = \sum_{j=1}^n P_j f_{j1}$
	...	...	...	...	...	...	...
	φ_c	f_{i1}	...	f_{ij}	...	f_{mj}	$\mathfrak{Z}_{ci}^p = \sum_{j=1}^n P_j f_{jc}$
	...	...	...	...	...	...	...
	φ_{cm}	f_{m1}	...	f_{in}	...	f_{mn}	$\mathfrak{Z}_{cm}^p = \sum_{j=1}^n P_j f_{jm}$

Полная совокупность в пределах одного ЛО взаимоисключающих ИС характеризуется сочетанием вариантов $\Theta = (\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_j, \dots, \Theta_n)$, удовлетворяющих условию:

$$\begin{cases} P_{ij} = P\{\Theta = \Theta_j\}, \sum_{j=1}^n P_j = 1 \\ R_{ij} = R\{\Theta = \Theta_j\}, \sum_{j=1}^n R_j = R_i^{\text{ло}} \end{cases} \quad (11)$$

где P_{ij} – распределение вероятностей для j -го ИС, на i -ом виде транспорта на элементарном ЛО;

R_{ij} – оценочный показатель распределения ресурсов, соответствующих (тождественный) коэффициенту относительной важности при отдельном показателе эффективности для j -го ИС, на i -ом виде транспорта в элементарном ЛО;

$R_i^{\text{ЛО}}$ – оценочный показатель распределения ресурсов для i -ого вида транспорта в элементарном ЛО

Обозначим отдельный показатель эффективности в ЛО, как f_{ij} , который будет обозначать, что он принял конкретное численное значение, если среда находится в состоянии Θ_j . В данном случае мы оцениваем функционал отдельного вида транспорта на отдельном объекте пассажирской транспортной системы в элементарном ЛО. В качестве показателей эффективности могут выступать показатели производительности, показатели производственно-технической базы (ПТБ), экономические показатели, экологические показатели, показатели системы обеспечения безопасности движения и т.д. Тогда структура показателей для элементарного ЛО примет вид:

$$\|F\| = \begin{bmatrix} f_{11} & \cdots & f_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{m1} & \cdots & f_{mn} \end{bmatrix} \quad (12)$$

В случае многоуровневой транспортной системы, чтобы избежать противоречий, будем при необходимости (совершенствовать) данную терминологию в целях наиболее полного соответствия проектируемой системы распределения ресурсов с учетом конкретных особенностей функционирования объектов транспортного комплекса с соответствующими пояснениями. Поэтому определим совокупность ЛО на одном эшелоне, как «район». Тогда структура показателей на управляемом первом уровне системы распределения ресурсов, дифференцируемых по «районам» и ЛО примет следующий вид:

$$\|F_1\| = \begin{bmatrix} f_{11}^{sr} & \cdots & f_{1n}^{sr} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{m1}^{sr} & \cdots & f_{nn}^{sr} \end{bmatrix} \quad (13)$$

где f_{ij}^{sr} – оценочный функционал i -го вида транспорта ($i = 1 \dots m$) для j -го информационного состояния, тождественному измерителю или критерию эффективности ($j = 1 \dots n$) для s -го логического оператора ($s = 1 \dots k$) в r -ом «районе» или подсистеме транспортного производства ($r = 1 \dots p$).

Вариант 1. Модель структуры системы распределения ресурсов в транспортном комплексе, основанная на технологическом принципе представления показателей. В данном случае моделирование структуры предполагает, что логические операторы (ЛО) последующей (второго иерархического уровня) формируется из наилучших показателей эффективности ЛО первого уровня. Применение данного подхода позволяет проследить от уровня к уровню эффективность каждого вида транспорта, что делает возможным исследовать и сравнивать эффективность транспортной системы и отдельных видов транспорта при любом масштабировании системы. Например, можно сравнивать и оценивать качество реализации функционала для отдельных районов крупных городов, областей, регионов. Применяя последовательный расчёт эффективностей отдельных видов транспорта с учётом целеполагания на всех уровнях системы, мы исследуем

состояние эффективности отдельных транспортных систем, состоящих из совокупности различных видов транспорта. В зависимости от условий применения данной модели, определяется тот или иной вариант эффективного сочетания различных видов транспорта или инфраструктурных объектов и решается задача определения веса каждой ранговой последовательности или определения весовых коэффициентов (соответствующих оптимальной структуре распределения ресурсов) для каждого из элементов системы. Модель системы распределения ресурсов по технологическому признаку эффективна в устойчивых транспортных системах и при однородных по организационным принципам структурах управления. В итоге данная модель позволяет перейти к комплексной оценке эффективности системы в целом по совокупности расчётных случаев, но практика исследования открытых транспортных систем показывает, что совокупная оценка эффективности отдельных расчётных случаев не всегда тождественна значению эффективности системы в целом, если учитывать принципы управления (структуру субъектности), на которых организована система.

Вариант 2. Модель структуры системы распределения ресурсов, основанная на организационно-технологическом принципе представления показателей на различных уровнях. Во втором варианте представления модели структуры системы распределения ресурсов ГПТ реализуется принцип формирования матрицы ЛО второго уровня в виде набора подмножеств ИС полного информационного пространства решений, полученного в результате расчёта ЛО 1-го уровня. Важно отметить, что во 2-м случае представления модели исследуемой структуры мы, как и в 1-ом случае, опираемся на базовое пространство решений, полученное на 1-ом уровне в виде исследования структуры технико-эксплуатационных и при необходимости экономических показателей. То есть границы исследуемой системы и входы в систему остаются неизменными, но происходит трансформация моделей расчёта, заключающаяся в приближении абстрактной структуры системы распределения к реальной физической и сложившейся на практике системе финансирования транспортного комплекса общественного транспорта. На физическом уровне представления системы – это количественная оценка эффективности функционирования отдельного субъекта управления на отдельном виде транспорта, то есть некой совокупности АТП, объединённых по технологическому признаку (трамвай, троллейбус, автобус, метрополитен и т.д.).

Вариант 3. Модель структуры системы распределения ресурсов, основанная на функционально-сетевом принципе представления показателей. Принципиально модель опирается на исследование полной совокупности в пределах одного ЛО взаимоисключающих ИС, но должна быть сформирована с учётом многомерного целеполагания. Отличительной особенностью представления 3-го варианта модели структуры системы распределения ресурсов будет изменение параметров входящих в систему уравнений, определяющих условие решения задачи на 2-ом и последующих

уровнях, соответствующих (тождественных) коэффициенту относительной важности при отдельном показателе эффективности для j -го ИС, как совокупности m (m -совокупности) видов транспорта в элементарном ЛО. На физическом уровне представления системы распределения ресурсов – это количественная оценка эффективности функционирования отдельного субъекта управления m -совокупности видов транспорта, то есть, некой структуры управления результативными показателями совокупности видов транспорта (трамвай, троллейбус, автобус, метрополитен и т.д.). В качестве таких структур управления целесообразно определять организации, курирующие формирование информационно-аналитических платформы ИТС (рисунок 2).



Рисунок 2 – Схема структуры системы распределения ресурсов ГПТ

В четвертой главе «Разработка комплекса математических моделей и алгоритмов поиска оптимальных решений в сложных транспортных РР-системах в условиях неопределённости». Матрица оценочного функционала для различных вариантов решений примет вид:

$$\|F_{ij}\| = \begin{pmatrix} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{m1} & f_{m2} & \dots & f_{mn} \end{pmatrix} \quad (14)$$

где i – текущее значение варианта принятия решений, $i = \overline{1, m}$, j – текущее значение критерия принятия решений, $j = \overline{1, n}$

Для РР-систем необходимость достижение максимума в соответствии с (4.18) объясняется необходимостью такого распределения коэффициентов относительной важности (КОВ), соответствующих в данном случае распределениям вероятностным характеристикам системы, чтобы исключить не только эффективные, но и малоэффективные решения. Тогда необходимо принять во внимание методы решения многокритериальных задач, которые позволяют исследовать все возможное пространство решений, а не только обозначенное через единственное эффективное, но на котором не достигается максимальное значение оценочного функционала РР-системы: методы районирования разделяются на два основных направления – методы районирования по принципу доминирования вероятностей возможных состояний внешней среды и методы районирования по принципу соблюдения иерархического соотношений вероятностей возможных состояний внешней среды. Применение данных методов позволяет расширить возможности при решении многокритериальных задач в РР-системах, а также сравнить результаты решений по нескольким алгоритмам и моделям принятия решений.

Методы районирования охарактеризовать следующим образом.

1. Районирование можно производить различными способами, но в любом случае процедура районирования реализуется в виде обратной параметрической задачи линейного программирования. Поэтому первоначально следует определиться со способом районирования, который зависит от системы выбранных предпочтений.

2. Применение методов районирования возможно при условии непрерывности и монотонности исследуемой функции показателей эффективности в зависимости от изменения вектора состояния природы исследуемых факторов.

3. Методы районирования, как класс математических моделей относятся к теории игр с «природой» (природой факторов) и позволяют формализовать матричную модель решения в виде линейной задачи векторной оптимизации и наоборот.

4. Применение методов районирования подразумевает замену вероятностных характеристик, оценивающих информационные состояния исследуемой системы на адекватные (тождественные) коэффициенты относительной важности.

5. Методы районирования направлены на исследование (оценку) влияния факторного пространства внешней среды, находящегося в состоянии неопределённости на показатели эффективности системы.

Обязательным условием применения методов районирования является наличие ограничений на распределение вероятностных характеристик, а, следовательно, и коэффициентов относительной важности (КОВ):

$$0 \leq p_j \leq 1, \quad \sum_{j=1}^n p_j = 1, j = \overline{1, n}, \quad (15)$$

тогда вся совокупность возможных решений определяется совокупностью $(n - 1)$ независимых величин. Постановка многокритериальной задачи векторной оптимизации в случае применения методов районирования:

$$\begin{aligned} K_1 &= f_{11}p_1 + f_{21}p_2 + \dots + f_{n1}p_n \rightarrow \max, \\ K_2 &= f_{12}p_1 + f_{22}p_2 + f_{n2}p_n \rightarrow \max, \\ &\dots \\ K_n &= f_{1n}p_1 + f_{2n}p_2 + f_{nn}p_n \rightarrow \max, \\ p_1 + p_2 + \dots + p_n &= N \end{aligned} \quad (16)$$

Определим условия и ограничения:

$$p_i = \begin{cases} N, & i = j \\ 0, & i \neq j \end{cases}, \quad j = \overline{1, n-1} \quad i = \overline{1, n} \quad (17)$$

Принципиальным отличием метода районирования по принципу доминирования вероятностей возможных состояний внешней среды (ДВСС) от метода районирования по принципу соблюдения иерархического соотношений вероятностей возможных состояний внешней среды (СИСС), является то, что для последнего должно выполняться предпочтение:

$$p_1 \geq p_2 \geq \dots \geq p_j \geq \dots \geq p_{n-1} \geq p_n \quad (18)$$

Дополнительное условие (18) позволяет решить систему (16-17) с помощью выполнения следующего алгоритма действий (метод СИСС):

1. Необходимо сформировать вариант стратегии $(R_{\phi i})$, характеризуемый количественной эффективностью отдельных видов транспорта в виде матрицы (14).

2. Нормировать матрицу (14) с учётом целеполагания по отдельным критериям эффективности.

3. Упорядочить параметры вероятностных характеристик в виде последовательности предпочтений (15).

4. Для каждого исследуемого варианта стратегии $(R_{\phi i})$ формируется задача линейного программирования:

$$\begin{cases} (R_{\phi i}) = \sum_{j=1}^n f_{ij}p_j \rightarrow \max, \\ \sum_{j=1}^n p_j = 1, 0 \leq p_j \leq 1, p_j \geq p_{j+1}, j = \overline{1, n-1}. \end{cases} \quad (19)$$

5. Решение задачи линейного программирования производится путем поиска оптимальных в соответствии с условием задачи значений p_j для каждого из варианта $R_{\phi i}$.

$$p_j = \begin{cases} \frac{1}{k}, & \text{при } j \leq k, \\ 0, & \text{при } j > k, \end{cases} \quad (20)$$

где k – текущее значение $j = \overline{1, n}$ из условия $f_{kj} = \max_j f_{ij}$

Таким образом будет сформирована матрица распределения вероятностных характеристик в РР-системе, при которой может быть достигнут максимум эффективности:

$$\|R_{ij}\| = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{m1} & p_{m2} & \dots & p_{mn} \end{pmatrix} \quad (21)$$

$$R_{\varphi max} = \max_i R_{\varphi i} \quad (22)$$

В пятой главе «вычислительный эксперимент в целях синтеза оптимальной структуры распределения ресурсов в системе наземного пассажирского транспорта в г. Москве» произведён вычислительный эксперимент, позволивший апробировать методологию управления распределением ресурсов в пассажирской транспортной системе (РР-системе ГПТОП) г. Москвы. В процессе вычислительного эксперимента моделирование РР-системы ГПТОП было основано на принципе определения неизвестных из системы соотношений, известных лишь в общей форме, то есть, когда её параметризация не завершена, но установлено целеполагание, позволяющее решать входящие в систему уравнения при различных значениях параметров, управляющих процессом. Исходные данные приведены в таблице 4. В диссертации разработаны три алгоритма, реализующие три проблемно-ориентированные стратегии вычислительного эксперимента, разработанные на различных формах представления РР-системы пассажирского транспортного комплекса, базирующиеся на единой структуре (первом иерархическом уровне - эшелоне) оценочного функционала. Реализация данных алгоритмов в алгоритмическом языке C++ позволяет разрабатывать данную структуру гибкой, то есть возможно спроектировать любое достаточно большое количество «районов» исследования показателей на первом уровне. Причём в каждом исследуемом районе может быть любое достаточно большое количество страт, соответствующих отдельным ЛО исследуемой РР-системы. Данная структура представления первого эшелона в РР-системе позволяет достаточно легко решать многокритериальные оптимизационные задачи, фактически полная структура целеполагания первого уровня разбивается на несколько подсистем, в рамках каждой из которой решается задача оптимизации, а ЛО гораздо меньшей размерности. Данное представление показателей первого уровня определяет структуры формирования второго иерархического уровня или эшелона в многоуровневой РР-системе ГПТОП. Поэтому различия в процедурах вычислительного эксперимента начинаются на этапе второго эшелона в многоуровневой РР-системе.

Таблица 4. Объем перевозок и процент распределения по видам транспорта, г. Москва, 2022 г.

Объем перевозок по видам транспорта (пассажиров в тысячах)								
показатели Вид ГПТ	Протяжённость маршрутной сети, км	Кол-во перевез. пасс, млн чел.	Кол-во маршрутов	Кол- во ПС	Кол-во объектов инфраструктуры			% распред. пасс по видам т
					Хранение	Маршрутные	ТО + ТР	
Трамвай	183,1	152,2	43	700	5 ТП	958	4 ТП	3,7%
Троллейбус	9,5	0,0142	1	18	1 ТП	8	1 ТП	0,1%
Электробус	790	117,3	117	1300	3 ЭП	1400	3 ЭП	2,2%
Автобус	7995,5	877	795	4800	20 АП	8600	17 АП	25,7%
Метрополитен	460,5	2070	14	5956	20 ЭД	263	20 ЭД	60%
ЖД (городская)	357	250	5 тактовых	155	5 ЖД Д	167	5 ЖД/Д	8,3%
ИТОГО:	9795,6	2,15 млрд. чел. (ежедневно 11,4 млн)	975	12929	54	10688 (при условии совмещённых)	50	100%

ТП – трамвайный парк (троллейбусный парк)

ЭП – электробусный парк

АП – автобусный парк

ЭД – депо электротранспорта (метрополитен)

ЖД Д – железнодорожное депо

Далее на рисунках 3 и 4 подставлен алгоритм исследования эффективности функционирования транспортных систем как совокупности отдельных видов транспорта в информационно-аналитических платформах. Также в диссертации разработаны:

- алгоритм исследования эффективности функционирования отдельных видов транспорта в РР-системе ГПТОП;
- алгоритм исследования эффективности действий фактических субъектов управления, отвечающих за организацию функционирования отдельных локаций транспортных систем.

Интерфейс и последовательность работы СПО, реализующих модель структуры системы распределения ресурсов, основанную **на организационно-технологическом принципе** представления показателей (модель на различных уровнях и модель структуры системы распределения ресурсов, основанная на **функционально-сетевом принципе** (модель 3) представления показателей – практически идентичны).

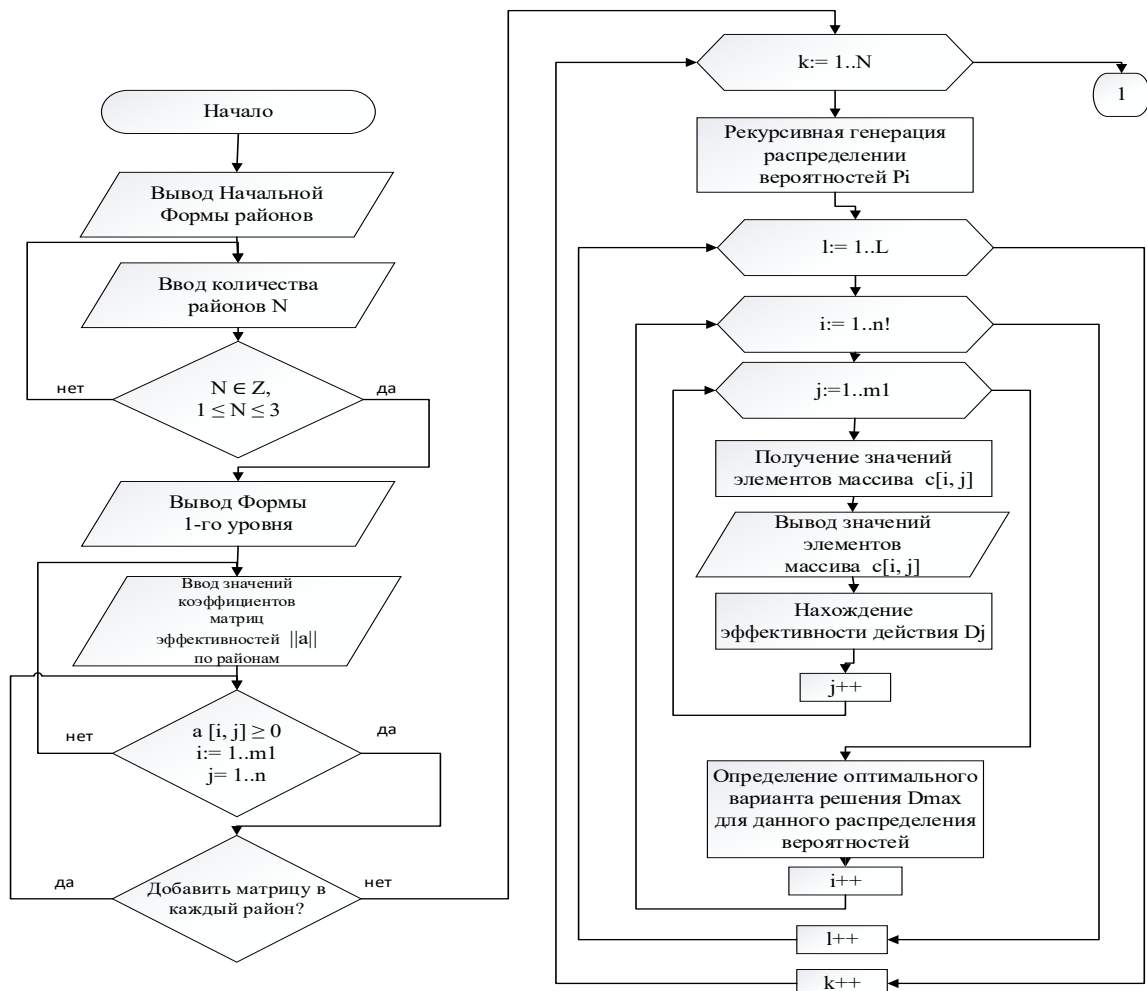


Рисунок 3 – Алгоритм исследования эффективности функционирования транспортных систем как совокупности отдельных видов транспорта в информационно-аналитических платформах (начало)

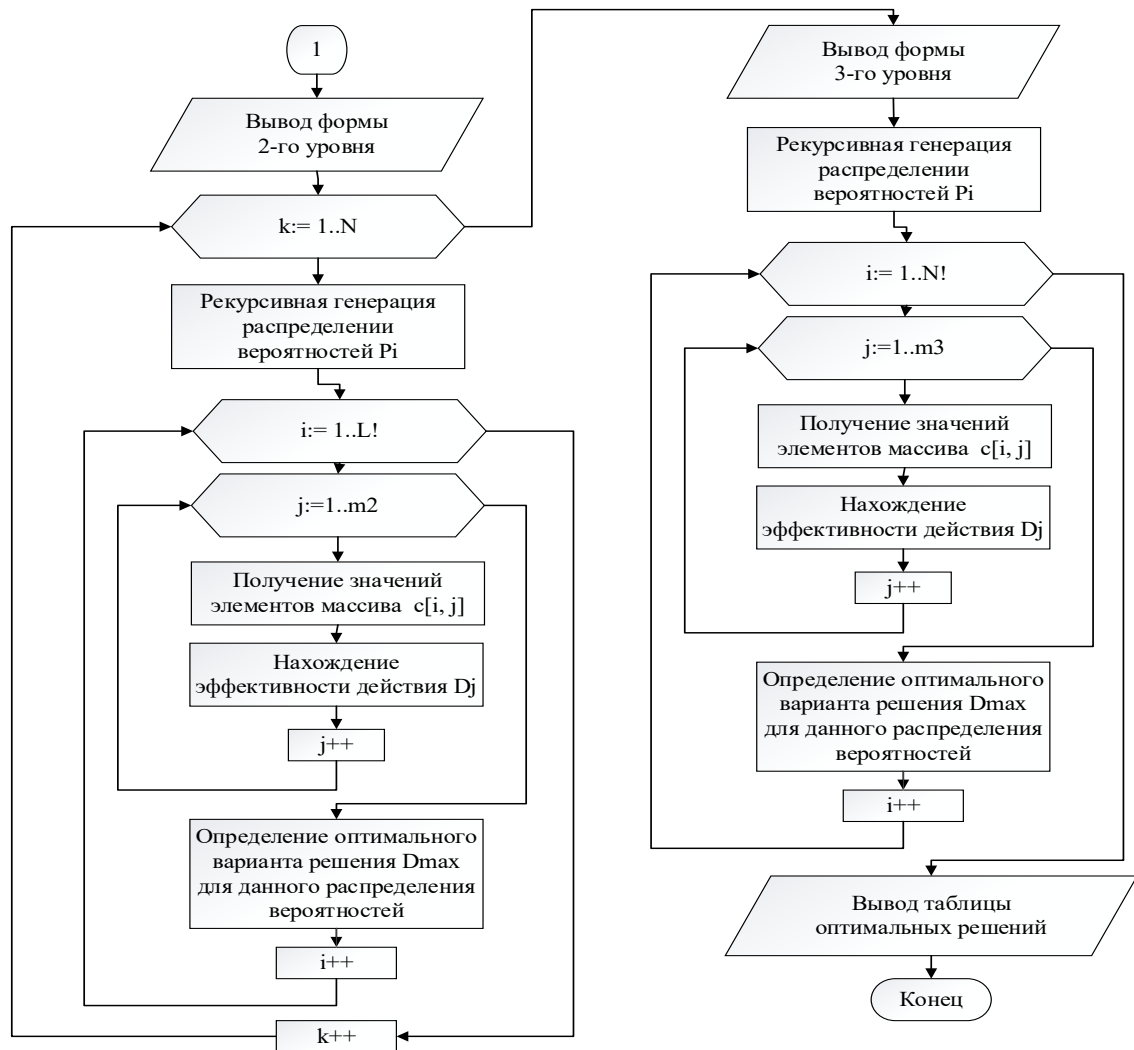


Рисунок 4 – Алгоритм исследования эффективности функционирования транспортных систем как совокупности отдельных видов транспорта в информационно-аналитических платформах (окончание)

Отличия при проведении вычислительного эксперимента, заключаются непосредственно в процедурах расчёта на различных уровнях исследуемой РР-системы ГПТОП исходных данных, при этом исходные данные для проведения всех трёх моделей представления структуры РР-системы одинаковые и формируются на первом фундаментальном иерархическом уровне.

То есть границы исследуемой системы и входы в систему остаются неизменными, но происходит трансформация моделей расчёта, заключающаяся в приближении абстрактной структуры системы распределения к реальной физической и сложившейся на практике системе распределения ресурсов (финансирования) транспортного комплекса общественного транспорта. На рисунке 5 представлен интерфейс ввода данных на первом иерархическом уровне исследуемой РР-системы. На рисунках 6, 7 и 8 последовательно представлены процедуры расчёта, решения оптимизационной задачи распределения ресурсов, также форма вывода результатов расчёта в исследуемой РР-системе.

1 уровень ПРИ НЕОБХОДИМОСТИ ИЗМЕНИТЕ MIN <-> ...

ДОБАВИТЬ МАТРИЦУ

Район 1

	K1	K2	K3
1	0,0053	0,217	1,273
2	0,017	0,091	0,338
3	0,0054	0,183	0,749
	max	max	max

	K1	K2	K3
1	0,95	0,45	0,89
2	0,86	0,54	0,78
3	0,98	0,48	0,75
	max	max	max

	K1	K2	K3
1	898,75	152,2	1,815
2	434,01	117,3	1,503
3	3595,7	877	3,045
	max	max	max

Район 2

	K1	K2	K3
1	700	60,8	9000
2	1300	15,3	4800
3	4800	43,5	4500
	min	min	max

	K1	K2	K3
1	35,3	43	183,1
2	66,3	117	790
3	59,7	795	799,5
	min	max	max

	K1	K2	K3
1	0,007	1,386	0,006
2	0,003	1,076	0,002
3	0,004	0,750	0,004
	min	min	min

Район 3

	K1	K2	K3
1	3,9	3,6	4,6
2	3,7	3,9	4,1
3	3,6	4,1	4,2
	max	max	max

	K1	K2	K3
1	2,9	3,5	3,6
2	3,5	3,1	3,4
3	3,8	3,0	3,3
	max	max	max

	K1	K2	K3
1	3,2	3,4	4,6
2	3,0	3,2	4,1
3	2,9	3,2	4,1
	max	max	max

НАЗАД РАСЧИТАТЬ

Рисунок 5 – Формирование блока исходных данных в трех подсистемах для трёх страт и трёх вариантов принятия решений: вариант 1 – «Трамвай»; вариант 2 – «Электробус»; вариант 3 – «Автобус (ДВС)»

1 уровень ПРИ НЕОБХОДИМОСТИ ИЗМЕНИТЕ MIN <-> MAX

УДАЛИТЬ МАТРИЦУ

Имя компьютера: PC1580
Имя пользователя: alexandev
Инвентарный №: 10134200000 0790

Район 1

	K1	K2	K3
1	0,427	0,442	0,541
2	0,137	0,185	0,142
3	0,435	0,373	0,316
	max	max	max

	K1	K2	K3
1	0,340	0,306	0,368
2	0,308	0,367	0,322
3	0,351	0,327	0,310
	max	max	max

	K1	K2	K3
1	0,182	0,133	0,285
2	0,088	0,103	0,236
3	0,730	0,765	0,479
	max	max	max

	K1	K2	K3
1	0,719	0,642	0,055
2	0,206	0,201	0,452
3	0,075	0,157	0,493
	min	min	max

Район 2

	K1	K2	K3
1	0,594	0,157	0,492
2	0,319	0,624	0,262
3	0,087	0,220	0,246
	min	min	max

	K1	K2	K3
1	0,471	0,045	0,021
2	0,251	0,122	0,088
3	0,278	0,832	0,891
	min	max	max

	K1	K2	K3
1	0,197	0,244	0,182
2	0,459	0,310	0,545
3	0,344	0,445	0,273
	min	min	min

	K1	K2	K3
1	0,719	0,642	0,055
2	0,206	0,201	0,452
3	0,075	0,157	0,493
	min	min	max

Район 3

	K1	K2	K3
1	0,348	0,310	0,357
2	0,330	0,336	0,318
3	0,321	0,353	0,326
	max	max	max

	K1	K2	K3
1	0,284	0,365	0,350
2	0,343	0,323	0,330
3	0,373	0,312	0,321
	max	max	max

	K1	K2	K3
1	0,352	0,347	0,359
2	0,330	0,326	0,320
3	0,319	0,326	0,320
	max	max	max

	K1	K2	K3
1	0,719	0,642	0,055
2	0,206	0,201	0,452
3	0,075	0,157	0,493
	min	min	max

НАЗАД РАСЧИТАТЬ

2 уровень ПРИ НЕОБХОДИМОСТИ ИЗМЕНИТЕ MIN <-> MAX

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ ПО РАЙОНАМ

	K1	K2	K3	K4
P1>P2>P3	1,066	1,027	1,090	1,247
P1>P3>P2	1,074	1,037	1,054	1,332
P2>P1>P3	1,059	1,044	1,107	1,209
P2>P3>P1	1,051	1,033	1,144	1,124
P3>P2>P1	1,079	1,042	1,143	1,417
P3>P1>P2	1,071	1,031	1,179	1,332
	min	min	min	min

	K1	K2	K3	K4
P1>P2>P3	1,250	1,389	1,053	1,247
P1>P3>P2	1,162	1,307	1,064	1,332
P2>P1>P3	1,184	1,112	1,127	1,209
P2>P3>P1	1,271	1,194	1,117	1,124
P3>P2>P1	1,103	1,224	1,117	1,417
P3>P1>P2	1,191	1,307	1,107	1,332
	min	min	min	min

	K1	K2	K3	K4
P1>P2>P3	1,008	1,041	1,005	1,247
P1>P3>P2	1,014	1,049	1,007	1,332
P2>P1>P3	1,027	1,041	1,007	1,209
P2>P3>P1	1,023	1,032	1,004	1,124
P3>P2>P1	1,024	1,025	1,007	1,417
P3>P1>P2	1,018	1,017	1,006	1,332
	min	min	min	min

НАЗАД РАСЧИТАТЬ

14:31
20.05.2024

Рисунок 6 - Интерфейс решения оптимизационной задачи на втором иерархическом уровне в РР-системе, после проведения процедуры нормирования и перевода показателей в относительные единицы с учётом установленного целеполагания

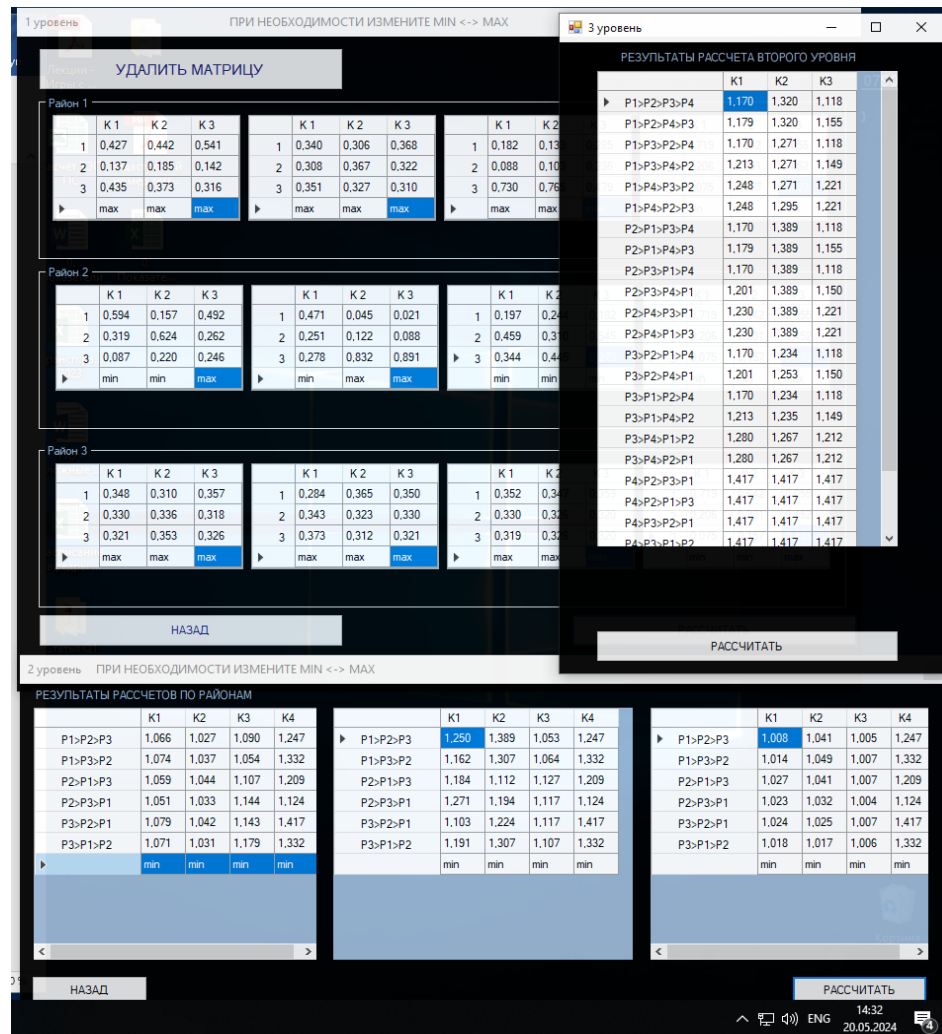


Рисунок 7 - Интерфейс решения оптимизационной задачи на третьем иерархическом уровне в исследуемой РР-системе

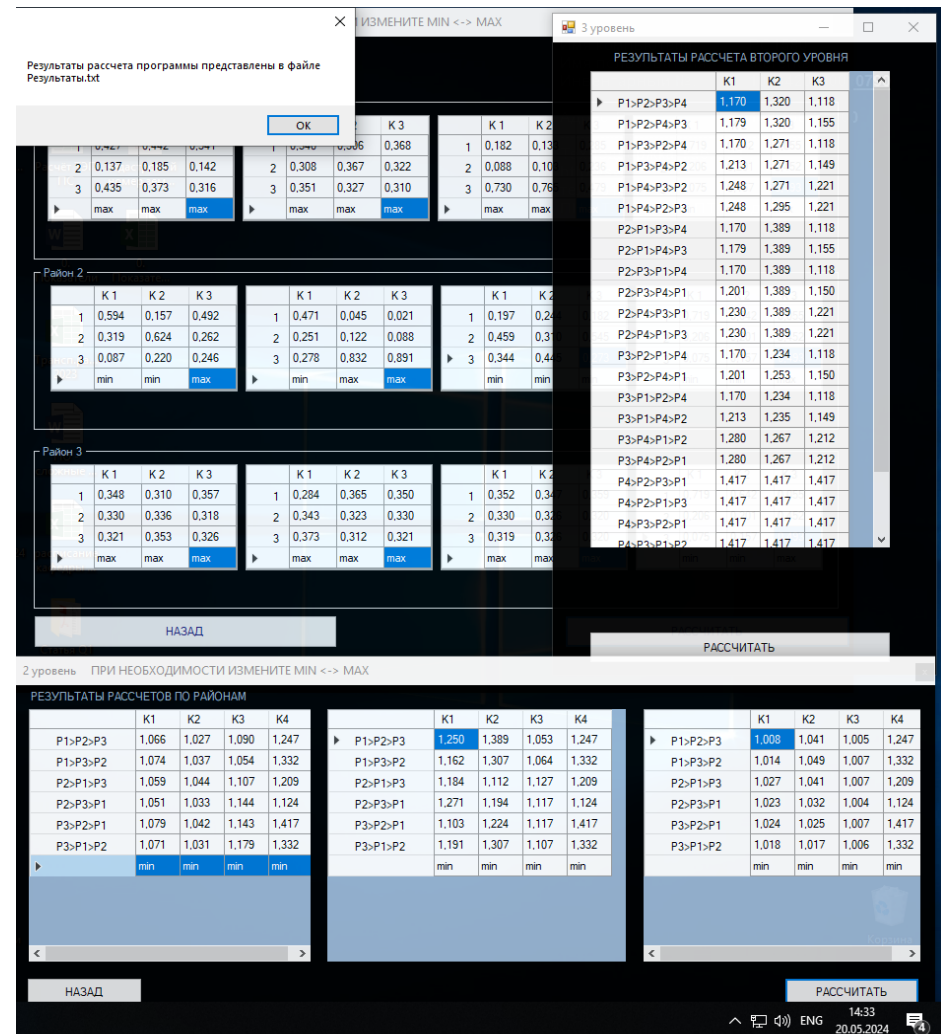


Рисунок 8 – Результаты расчёта оптимизационной задачи на третьем иерархическом уровне в исследуемой РР-системе (начало)

Результаты вычислительного эксперимента и анализ полученных данных определяют объективную, полученную на основании аналитических расчётов, то есть оптимальную в границах исследуемой системы структуру весовых коэффициентов, что позволит достичь цели исследования – разработки методологии распределения ресурсов в сложных многоуровневых пассажирских транспортных системах с многокритериальным целеполаганием на основе методов теории принятия решений в условиях неопределённости

Результаты проведения вычислительного эксперимента в РР-системе, основанной на функционально-сетевом принципе представления показателей представлены в формах 1 ... 5. Данные формы являются извлечением из полного объема полученных данных в объеме, необходимом для представления метода распределения РР-системы:

- Форма 1 – Результаты расчёта весовых коэффициентов на первом иерархическом уровне для всех случаев предпочтений между исследуемыми подсистемами показателей и для каждой из страт в отдельной подсистеме.

- Форма 2 – Результаты расчёта весовых коэффициентов на первом иерархическом уровне (дополнительная страта) для всех случаев предпочтений между исследуемыми подсистемами, а также рассчитанная эффективность по номерам исследуемых вариантов (видам транспорта).

- Форма 3 – Результаты расчёта эффективности возможных решений на втором иерархическом уровне для всех возможных предпочтений между исследуемыми подсистемами первого иерархического уровня. В качестве вариантов решений в данном случае рассматриваются значения суммированных количественных оценок эффективности различных видов транспорта в подсистемах первого уровня, то есть характеризующие эффективность функционирования подсистем показателей для совокупности видов транспорта (транспортных систем).

- Форма 4 – Результаты расчёта весовых коэффициентов на втором иерархическом уровне для страты 2.1. Результаты расчёта для страты 2.3 и 2.4 аналогичны.

- Форма 5 – Результаты расчёта весовых коэффициентов и эффективности возможных решений на третьем иерархическом уровне для всех возможных предпочтений между исследуемыми подсистемами второго иерархического уровня.

Форма 1 - Первый иерархический уровень – весовые коэффициенты									
Предпочтение	Подсистема 1								
	Страта 1			Страта 2			Страта 3		
1) P1>P2>P3	0,333 0,500 1,000	0,333 0,500 0,000	0,333 0,000 0,000	0,333 0,500 1,000	0,333 0,500 0,000	0,333 0,000 0,000	0,333 0,333 0,500	0,333 0,333 0,500	0,333 0,333 0,000
2) P1>P3>P2:	0,500 0,333 1,000	0,500 0,333 0,000	0,000 0,333 0,000	0,500 0,333 1,000	0,500 0,333 0,000	0,000 0,333 0,000	0,500 0,500 0,333	0,500 0,500 0,333	0,000 0,000 0,333
3) P2>P1>P3:	0,333 1,000 0,500	0,333 0,000 0,500	0,333 0,000 0,000	0,333 1,000 0,500	0,333 0,000 0,500	0,333 0,000 0,000	0,333 0,333 1,000	0,333 0,333 0,000	0,333 0,333 0,000
4) P2>P3>P1:	0,500 1,000 0,333	0,500 0,000 0,333	0,000 0,000 0,333	0,500 1,000 0,333	0,500 0,000 0,333	0,000 0,000 0,333	0,500 0,500 1,000	0,500 0,500 0,000	0,000 0,000 0,000
5) P3>P2>P1:	1,000 0,500 0,333	0,000 0,500 0,333	0,000 0,000 0,333	1,000 0,500 0,333	0,000 0,500 0,333	0,000 0,000 0,333	1,000 1,000 0,500	0,000 0,000 0,500	0,000 0,000 0,000
6) P3>P1>P2:	1,000 0,333 0,500	0,000 0,333 0,500	0,000 0,333 0,000	1,000 0,333 0,500	0,000 0,333 0,500	0,000 0,333 0,000	1,000 1,000 0,333	0,000 0,000 0,333	0,000 0,000 0,333
Подсистема 2									
1) P1>P2>P3	1,000 0,500 0,333	0,000 0,500 0,333	0,000 0,000 0,333	1,000 0,000 0,333	0,000 0,000 0,333	0,000 0,000 0,333	0,500 0,333 0,500	0,500 0,333 0,500	0,000 0,333 0,000
2) P1>P3>P2:	1,000 0,333 0,500	0,000 0,333 0,500	0,000 0,333 0,000	1,000 0,000 0,500	0,000 0,000 0,500	0,000 0,000 0,000	0,333 0,500 0,333	0,333 0,500 0,333	0,333 0,000 0,333
3) P2>P1>P3:	0,500 1,000 0,333	0,500 0,000 0,333	0,000 0,000 0,333	0,500 0,500 0,333	0,500 0,500 0,333	0,000 0,000 0,333	1,000 0,333 1,000	0,000 0,333 0,000	0,000 0,333 0,000
4) P2>P3>P1:	0,333 1,000 0,500	0,333 0,000 0,500	0,333 0,000 0,000	0,333 0,333 0,500	0,333 0,333 0,500	0,333 0,333 0,000	1,000 0,500 1,000	0,000 0,500 0,000	0,000 0,000 0,000
5) P3>P2>P1:	0,333 0,500 1,000	0,333 0,500 0,000	0,333 0,000 0,000	0,333 0,333 1,000	0,333 0,333 0,000	0,333 0,333 0,000	0,500 1,000 0,500	0,500 0,000 0,500	0,000 0,000 0,000
6) P3>P1>P2:	0,500 0,333 1,000	0,500 0,333 0,000	0,000 0,333 0,000	0,500 0,500 1,000	0,500 0,500 0,000	0,000 0,000 0,000	0,333 1,000 0,333	0,333 0,000 0,333	0,333 0,000 0,333
Подсистема 3									
1) P1>P2>P3	0,333 0,500 0,500	0,333 0,500 0,500	0,333 0,000 0,000	0,500 1,000 1,000	0,500 0,000 0,000	0,000 0,000 0,000	0,333 1,000 0,500	0,333 0,000 0,500	0,333 0,000 0,000
2) P1>P3>P2:	0,500 0,333 0,333	0,500 0,333 0,333	0,000 0,333 0,333	0,333 1,000 1,000	0,333 0,000 0,000	0,333 0,000 0,000	0,500 1,000 0,333	0,500 0,000 0,333	0,000 0,000 0,333
3) P2>P1>P3:	0,333 1,000 1,000	0,333 0,000 0,000	0,333 0,000 0,000	1,000 0,500 0,500	0,000 0,500 0,000	0,000 0,000 0,000	0,333 0,500 1,000	0,333 0,500 0,000	0,333 0,000 0,000
4) P2>P3>P1:	0,500 1,000 1,000	0,500 0,000 0,000	0,000 0,000 0,000	1,000 0,333 0,333	0,000 0,333 0,333	0,000 0,333 0,333	0,500 0,333 1,000	0,500 0,333 0,000	0,000 0,333 0,000
5) P3>P2>P1:	1,000 0,500 0,500	0,000 0,500 0,500	0,000 0,000 0,000	0,500 0,333 0,333	0,500 0,333 0,333	0,000 0,333 0,333	1,000 0,333 0,500	0,000 0,333 0,500	0,000 0,333 0,000
6) P3>P1>P2:	1,000 0,333 0,333	0,000 0,333 0,333	0,000 0,333 0,333	0,333 0,500 0,500	0,333 0,500 0,000	0,333 0,000 0,000	1,000 0,500 0,333	0,000 0,500 0,333	0,000 0,000 0,333

Форма 2 – Первый (второй) иерархический уровень (дополнительная страта)				
Предпочтение	Весовые коэффициенты			Эффективность решения/номер варианта (вид транспорта)
1) P1>P2>P3	1,000 0,333 0,333	0,000 0,333 0,333	0,000 0,333 0,333	D1=0,719; D2=0,286; D3=0,242; 1
2) P1>P3>P2:	1,000 0,500 0,500	0,000 0,500 0,500	0,000 0,000 0,000	D1=0,719; D2=0,329; D3=0,284; 1
3) P2>P1>P3:	0,500 0,333 0,333	0,500 0,333 0,333	0,000 0,333 0,333	D1=0,681; D2=0,286; D3=0,242; 1
4) P2>P3>P1:	0,333 0,500 0,500	0,333 0,500 0,500	0,333 0,000 0,000	D1=0,472; D2=0,327; D3=0,325; 1
5) P3>P2>P1:	0,333 1,000 1,000	0,333 0,000 0,000	0,333 0,000 0,000	D1=0,472; D2=0,452; D3=0,493; 3
6) P3>P1>P2:	0,500 1,000 1,000	0,500 0,000 0,000	0,000 0,000 0,000	D1=0,387; D2=0,452; D3=0,493; 3

Форма 3 - Второй иерархический уровень – эффективность решения/номер варианта												
п/с	Страта 1				Страта 2				Страта 3			
1	P1>P2>P3	D1=0,200; D2=0,142; D3=0,748;	3		P1>P2>P3	D1=0,338; D2=0,338; D3=0,351;	3		P1>P2>P3	D1=0,200; D2=0,142; D3=0,748;	3	
	P1>P3>P2	D1=0,234; D2=0,162; D3=0,658;	3		P1>P3>P2	D1=0,354; D2=0,332; D3=0,351;	1		P1>P3>P2	D1=0,234; D2=0,162; D3=0,658;	3	
	P2>P1>P3	D1=0,200; D2=0,142; D3=0,765;	3		P2>P1>P3	D1=0,338; D2=0,367; D3=0,339;	2		P2>P1>P3	D1=0,200; D2=0,142; D3=0,765;	3	
	P2>P3>P1	D1=0,209; D2=0,170; D3=0,765;	3		P2>P3>P1	D1=0,337; D2=0,367; D3=0,329;	2		P2>P3>P1	D1=0,209; D2=0,170; D3=0,765;	3	
	P3>P2>P1	D1=0,285; D2=0,236; D3=0,622;	<u>3</u>		P3>P2>P1	D1=0,368; D2=0,345; D3=0,329;	<u>1</u>		P3>P2>P1	D1=0,285; D2=0,236; D3=0,622;	<u>3</u>	
	P3>P1>P2	D1=0,285; D2=0,236; D3=0,658;	3		P3>P1>P2	D1=0,368; D2=0,332; D3=0,331;	1		P3>P1>P2	D1=0,285; D2=0,236; D3=0,658;	3	
2	P1>P2>P3	D1=0,594; D2=0,472; D3=0,184;	1		P1>P2>P3	D1=0,471; D2=0,251; D3=0,667;	3		P1>P2>P3	D1=0,221; D2=0,438; D3=0,395;	2	
	P1>P3>P2	D1=0,594; D2=0,402; D3=0,167;	1		P1>P3>P2	D1=0,471; D2=0,251; D3=0,585;	3		P1>P3>P2	D1=0,208; D2=0,502; D3=0,354;	2	
	P2>P1>P3	D1=0,376; D2=0,624; D3=0,184;	2		P2>P1>P3	D1=0,258; D2=0,187; D3=0,667;	3		P2>P1>P3	D1=0,244; D2=0,438; D3=0,445;	3	
	P2>P3>P1	D1=0,414; D2=0,624; D3=0,233;	2		P2>P3>P1	D1=0,179; D2=0,154; D3=0,862;	3		P2>P3>P1	D1=0,244; D2=0,428; D3=0,445;	3	
	P3>P2>P1	D1=0,414; D2=0,443; D3=0,246;	<u>2</u>		P3>P2>P1	D1=0,179; D2=0,154; D3=0,891;	<u>3</u>		P3>P2>P1	D1=0,213; D2=0,545; D3=0,359;	<u>2</u>	
	P3>P1>P2	D1=0,543; D2=0,402; D3=0,246;	1		P3>P1>P2	D1=0,246; D2=0,170; D3=0,891;	3		P3>P1>P2	D1=0,208; D2=0,545; D3=0,354;	2	
3	P1>P2>P3	D1=0,338; D2=0,333; D3=0,337;	1		P1>P2>P3	D1=0,325; D2=0,343; D3=0,373;	3		P1>P2>P3	D1=0,353; D2=0,330; D3=0,323;	1	
	P1>P3>P2	D1=0,353; D2=0,328; D3=0,333;	1		P1>P3>P2	D1=0,333; D2=0,343; D3=0,373;	3		P1>P3>P2	D1=0,356; D2=0,330; D3=0,322;	1	
	P2>P1>P3	D1=0,338; D2=0,336; D3=0,353;	3		P2>P1>P3	D1=0,365; D2=0,333; D3=0,343;	1		P2>P1>P3	D1=0,353; D2=0,328; D3=0,326;	1	
	P2>P3>P1	D1=0,334; D2=0,336; D3=0,353;	3		P2>P3>P1	D1=0,365; D2=0,332; D3=0,335;	1		P2>P3>P1	D1=0,353; D2=0,325; D3=0,326;	1	
	P3>P2>P1	D1=0,357; D2=0,327; D3=0,340;	<u>1</u>		P3>P2>P1	D1=0,358; D2=0,332; D3=0,335;	<u>1</u>		P3>P2>P1	D1=0,359; D2=0,325; D3=0,323;	<u>1</u>	
	P3>P1>P2	D1=0,357; D2=0,328; D3=0,333;	1		P3>P1>P2	D1=0,333; D2=0,337; D3=0,347;	3		P3>P1>P2	D1=0,359; D2=0,325; D3=0,322;	1	
Форма 4 - Второй иерархический уровень – весовые коэффициенты (фрагмент)												
Страта 2.1												
Предпочтение		Весовые коэффициенты				Предпочтение		Весовые коэффициенты				
1) P1>P2>P3>P4:		0,250	0,250	0,250	0,250	7) P2>P1>P3>P4:		0,250	0,250	0,250	0,250	
		0,250	0,250	0,250	0,250			0,250	0,250	0,250	0,250	
		0,250	0,250	0,250	0,250			0,250	0,250	0,250	0,250	
		0,333	0,333	0,333	0,000			0,333	0,333	0,333	0,000	
		0,250	0,250	0,250	0,250			0,250	0,250	0,250	0,250	
		0,250	0,250	0,250	0,250			0,250	0,250	0,250	0,250	
2) P1>P2>P4>P3:		0,333	0,333	0,333	0,000	8) P2>P1>P4>P3:		0,333	0,333	0,333	0,000	
		0,333	0,333	0,333	0,000			0,333	0,333	0,333	0,000	
		0,333	0,333	0,333	0,000			0,333	0,333	0,333	0,000	
		0,250	0,250	0,250	0,250			0,250	0,250	0,250	0,250	
		0,333	0,333	0,333	0,000			0,333	0,333	0,333	0,000	
		0,333	0,333	0,333	0,000			0,333	0,333	0,333	0,000	

Форма 4 (окончание)										Окончание табл.							
13) P3>P2>P1>P4:	0,250	0,250	0,250	0,250	19) P4>P2>P3>P1:			<u>1,000</u>	<u>0,000</u>	<u>0,000</u>	<u>0,000</u>						
	0,250	0,250	0,250	0,250				<u>1,000</u>	<u>0,000</u>	<u>0,000</u>	<u>0,000</u>						
	0,250	0,250	0,250	0,250				<u>1,000</u>	<u>0,000</u>	<u>0,000</u>	<u>0,000</u>						
	1,000	0,000	0,000	0,000				<u>0,333</u>	<u>0,333</u>	<u>0,333</u>	<u>0,000</u>						
	0,250	0,250	0,250	0,250				<u>1,000</u>	<u>0,000</u>	<u>0,000</u>	<u>0,000</u>						
	0,250	0,250	0,250	0,250				<u>1,000</u>	<u>0,000</u>	<u>0,000</u>	<u>0,000</u>						
Форма 5 - Третий иерархический уровень – весовые коэффициенты																	
1) P1>P2>P3:			2) P1>P3>P2:			3) P2>P1>P3:			4) P2>P3>P1:			5) P3>P2>P1:			6) P3>P1>P2:		
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333
0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000	1,000								

Синтезирование оптимальной РР-системы наземного ГПТ в г. Москве базируется на результатах анализа вычислительного эксперимента, основанного на функционально-сетевом принципе представления показателей. Основным принципом (технологией) получения оптимальной структуры РР-системы заключается в следующем:

1) выявление максимально возможных количественных оценок эффективности в исследуемых ЛО или стратах на каждом иерархическом уровне в каждой подсистеме;

2) определение соответствующего максимально возможной количественной оценке эффективности предпочтения в структуре критериев целеполагания. Обязательным условием проведения вычислительного, а соответственно, и технологии синтеза оптимальной РР-системы является расчёт всех возможных предпочтений в рамках границ исследования.

3) Выполнение двух первых операций последовательно, начиная с высшего уровня иерархической структуры исследуемой структуры и заканчивая низшим фундаментальным уровнем текущих результативных показателей функционирования транспортных систем.

4) Определение всех значений весовых коэффициентов на низшем уровне исследуемой системы, соответствующих максимально возможному состоянию эффективности и тождественных по физическому смыслу значениям коэффициентов распределения ресурсов (КРР).

5) Синтезирование оптимальной структуры РР-системы, состоящей из набора КРР, соответствующих отдельным элементам в стратах низшего (первого) иерархического уровня.

Следующей операцией является определение всех значений КОВ на низшем уровне, соответствующих максимально возможному состоянию эффективности и тождественных по физическому смыслу значениям коэффициентов распределения ресурсов. Выделяем решение соответствующие наиболее предпочтительному ИС на предшествующем уровне. Распределение весовых коэффициентов на 1-ом уровне приведено в таблице 5 и в целом в РР-системе ГПТОП на рисунках 9 и 10.

Таблица 5. Распределение ВК на 1-ом иерархическом уровне

Распределение весовых коэффициентов									
	Страта 1			Страта 2			Страта 3		
Подсистема 1	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000
5) $P_3 > P_2 > P_1$:	0,500	0,500	0,000	0,500	0,500	0,000	1,000	0,000	0,000
	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,500	0,500	0,000
Подсистема 2	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,500	0,500	0,000
5) $P_3 > P_2 > P_1$:	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,000	0,000
	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000
Подсистема 3	1,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,000	1,000	0,000	0,000
5) $P_3 > P_2 > P_1$:	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333
	0,500	0,500	0,000	0,333	0,333	0,333	0,500	0,500	0,000
Подсистема 4				0,333	0,333	0,333			
5) $P_3 > P_2 > P_1$:				1,000	0,000	0,000			
				1,000	0,000	0,000			

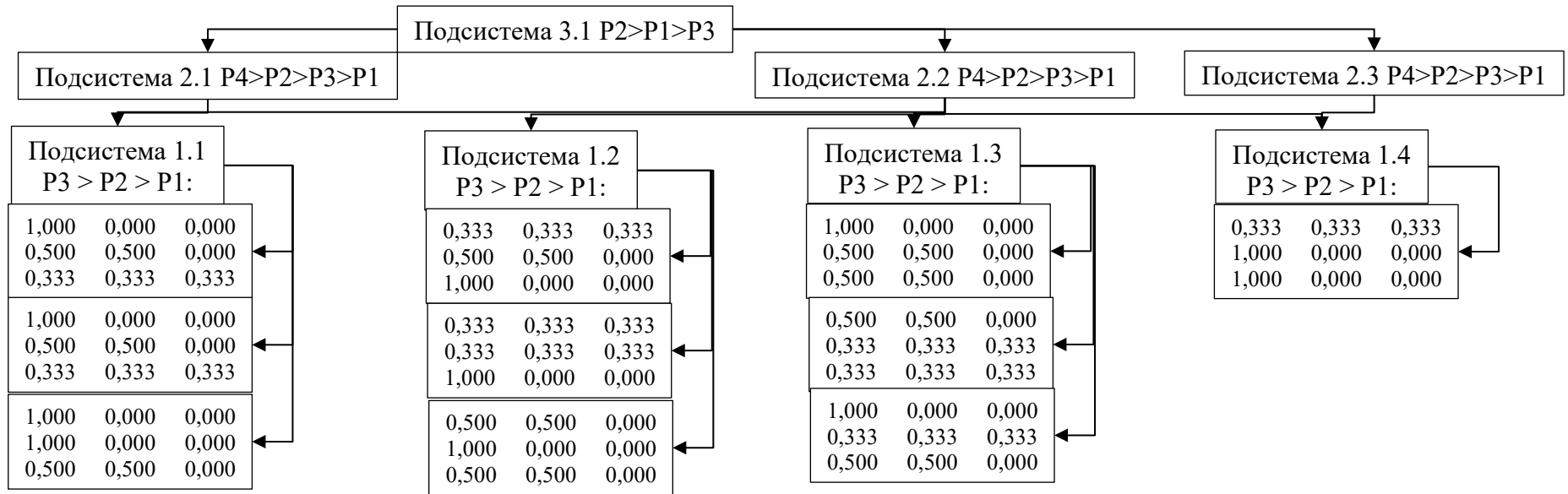


Рисунок 9 – Модель распределения ВК в РР-структуре, основанная на функционально-сетевом принципе

												1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						</
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----

Рисунок 10 – Значения коэффициентов распределения ресурсов в РР-структуре ГПТОП, (выбор и финансирование субъектов управления ИТС)

В заключении сформулированы основные выводы и приведены результаты исследования.

В настоящее время в РФ огромное внимание уделяется развитию транспортного комплекса, особенно в части повышения эффективности ГПТОП. При этом финансирование многочисленных проектов и программ развития ГПТОП в основном осуществляется из федерального бюджета или за счёт инвестиций компаний с государственно-частным участием. Системный анализ статистических данных динамического баланса показателей финансирования и результативных показателей эксплуатации ГПТ за последние десятилетия показал, что имеет место неэффективность системы управления, а именно отсутствие эффективной системы распределения ресурсов, как основного инструмента достижения целей в сложных организационных системах. В процессе диссертационного исследования был вскрыт ряд проблем научного характера, являющихся первопричиной неэффективности применяемых на практике методов распределения ресурсов в ГПТОП. Ключевой из них является научная проблема, связанная с отсутствием адекватного сложным задачам управления в многоуровневых и функционирующих в условиях неопределённости структурам ГПТОП математического аппарата, что приводит к необходимости использования при решении названных задач множества разнородных математических и интуитивных и, как правило, субъективных методов, основанных на моделях экспертного оценивания. Для преодоления обозначенной проблемы на основе выполненных теоретико-методологических и научно-методических исследований были решены следующие задачи.

1. Разработана научная методология, основанная на теории принятия решений в условиях неопределённости и положенная в основу методов распределения ресурсов в сложной многоуровневой структуре ГПТОП с противоречивым целеполаганием и позволяющая реализовать концепцию сбалансированного развития городского транспортного комплекса РФ.

2. Выявлено, что структура ГПТОП является неоднородной по принципам её организации в зависимости от распределения функционала между субъектами управления, и разработаны три основных варианта представления её структуры, построенных на едином принципе формирования морфологических матриц выбора сценариев с учётом показателя эффективности или оценочного функционала.

– Вариант 1. Разработка модели структуры системы распределения ресурсов в транспортном комплексе, основанной на технологическом принципе представления показателей. Применение данного подхода позволяет проследить от уровня к уровню эффективность каждого вида транспорта, то есть мы можем исследовать и сравнивать эффективность транспортной системы и отдельных видов транспорта при любом масштабировании системы. Данная модель структуры распределения ресурсов достаточно хорошо отражает представление исследуемой системы

распределения ресурсов при прямом управлении (воздействии) на отдельные транспортные системы различной локации.

– Вариант 2. Модель структуры системы распределения ресурсов, основанная на организационно-технологическом принципе представления показателей на различных уровнях. Данное представление системы позволяет сделать количественную оценку эффективности функционирования отдельного субъекта управления на отдельном виде транспорта, то есть, некой совокупности АТП, объединенных по технологическому признаку (трамвай, троллейбус, автобус, метрополитен и т.д.).

– Вариант 3. Модель структуры системы распределения ресурсов, основанная на функционально-сетевом принципе представления показателей. Данное представление системы позволяет выполнить количественную оценку эффективности функционирования отдельного субъекта управления результативными показателями совокупности видов транспорта (трамвай, троллейбус, автобус, метрополитен и т.д.). В качестве таких структур управления целесообразно определять организации, курирующие формирование информационно-аналитических платформ ИТС.

3. Разработаны аналитические методы, основанные на энтропийном подходе и позволяющие объективно выполнять функцию распределения ресурсов в ГПТОП, когда оценочный функционал дифференцирован в зависимости от технологических и организационных принципов построения исследуемой, исключающей необходимость экспертного оценивания показателей (вероятностных характеристик, оценочных данных влияния внутреннего и внешнего факторного пространства и т.д.) на исследуемые процессы.

4. Разработан комплекс математических моделей и алгоритмов, соответствующих трём вариантам представления системы распределения ресурсов для автоматического поиска оптимальных решений в условиях неопределенности, как функции ценности, ожидание которой представляет отношение нестрогого предпочтения на множестве вероятностных распределений.

5. Разработано исследовательское программное обеспечение, позволяющее выполнять расчёты в комплексе математических моделей и алгоритмов поиска оптимальных решений на полном пространстве информационных состояний, то есть на всём спектре возможных решений распределения вероятностей $0 \leq p_j \leq 1; \sum_{j=1}^n p_j = 1; j = \overline{1, n}$, где n – количество критериев целеполагания может быть достаточно большим и варьируемым в зависимости от условий работы ГПТОП. Произведён вычислительный эксперимент, позволивший апробировать методологию управления распределением ресурсов в пассажирской транспортной системе (РР-системе ГПТОП) г. Москвы. Моделирование РР-системы ГПТОП было основано на принципе определения неизвестных из системы соотношений, известных лишь в общей форме, то есть, когда её параметризация не завершена, но установлено целеполагание, позволяющее решать входящие в

систему уравнения при различных значениях параметров, управляющих процессом.

6. Выполнен анализ результатов численного эксперимента: определены максимально возможные количественные оценки эффективности предпочтения в структуре критериев целеполагания, начиная с высшего уровня иерархической структуры исследуемой структуры и заканчивая низшим фундаментальным уровнем текущих результативных показателей функционирования транспортных систем; определены все значения весовых коэффициентов на низшем уровне исследуемой системы, соответствующих максимально возможному состоянию эффективности и тождественных по физическому смыслу значениям коэффициентов распределения ресурсов (КРР)

7. Синтезирована оптимальная структура РР-системы ГПТОП г. Москвы, состоящая из набора коэффициентов распределения ресурсов, соответствующих отдельным элементам во всех подсистемах на всех иерархических уровнях исследуемой городской пассажирской транспортной системы.

Достоверность решения поставленных задач подтверждается теоретическими исследованиями - сравнением результатов расчёта по разработанным моделям с известными и широко апробированными методами решения данного класса задач на основе энтропийного подхода. Как правило, в данной информационной ситуации вводится в рассмотрение мера неопределённости второго рода. Необходимость использования энтропии второго рода обусловлена тем обстоятельством, что она является чувствительной в отличие от энтропии Шеннона при решении экстремальных задач, а её максимум для простого отношения порядка достигается на оценках Фишберна.

В диссертационном исследовании доказано, что разработанные методы получения оптимальных решений распределения ресурсов в ГПТОП позволяют повысить эффективность решений на 15-20% по отношению к современным практическим методам, а внедрение РР-системы в практику распределения ресурсов в транспортной системе при обеспечении нормативных значений комфортабельности, безопасности и экологических требований к подвижному составу и в рамках бюджета г. Москвы позволит увеличить провозные возможности парка транспортных средств на 220 тыс. пассажиров. В этом случае при действующем расписании движения транспортных средств потенциальный пассажиропоток на всех видах транспорта увеличится на 1 254 000 пассажиров ежедневно.

Можно констатировать, что выполненное исследование позволяет преодолеть существующую проблему, обозначенную в обновлённой «Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года» - повышения эффективности использования капитальных вложений в развитие транспортного комплекса РФ в целом и ГПТОП, как её основной ресурсоемкой подсистемы за счёт создания

комплексной и универсальной системы распределения ресурсов. Выполненное диссертационное исследование в совокупности полученных теоретических и практических результатов можно квалифицировать как новое крупное научное достижение, направленное на решение теоретико-прикладной проблемы повышения эффективности транспортного комплекса РФ и имеющее важное хозяйственное значение для развития экономики России.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Публикации в изданиях из перечня рецензируемых научных журналов ВАК РФ:

1. Халтурин Р.А. Особенности проектирования моделей управления ресурсами в сложных транспортных системах / Р. А. Халтурин // Транспортное дело России. – 2025. – № 3. – С. 16-19.
2. Халтурин Р.А. Управление состоянием эффективности в сложных транспортных системах / Р. А. Халтурин, А. А. Акулов, В. Д. Кутков // Транспортное дело России. – 2025. – № 3. – С. 107-111.
3. Халтурин Р.А. Оценка эффективности применения аналитических методов снятия неопределённости в системах управления пассажирским транспортом / Р. А. Халтурин, А. А. Акулов, Д. С. Талдыкин // Транспортное дело России. – 2025. – № 6. – С. 182-186.
4. Халтурин Р.А. Методы оценки эффективности в многоуровневых логистических системах транспортного производства / Р. О. Судоргин, Р. А. Халтурин, А. А. Акулов // Транспортное дело России. – 2025. – № 6. – С. 198-200.
5. Халтурин Р.А. Методы снятия неопределённости в сложных логистических системах при распределении ресурсов по объектам инфраструктуры / Р. А. Халтурин, А. В. Терентьев // Мир транспорта и технологических машин. – 2025. – № 3-1(90). – С. 116-123. – DOI 10.33979/2073-7432-2025-3-1(90)-116-123.
6. Халтурин Р.А. Теоретическое обоснование модели поиска оптимальных решений в сложных системах управления ресурсами / Р. А. Халтурин, Р. О. Судоргин, Н. С. Акиншин // International Journal of Advanced Studies. – 2025. – Т. 15, № 1. – С. 214-233.
7. Халтурин Р.А. Модель структуры системы распределения ресурсов, основанной на функционально-сетевом принципе представления показателей / Р. А. Халтурин, И. Ю. Каштанов, В. Д. Кутков, Н. С. Акиншин // International Journal of Advanced Studies. – 2025. – Т. 15, № 1. – С. 234-251.
8. Халтурин Р.А. Цифровое моделирование системы распределения ресурсов в пассажирском транспортном комплексе / Р. А. Халтурин, Д. В.

Никитин, И. Ю. Каштанов // Техник транспорта: образование и практика. – 2025. – Т. 6, № 3. – С. 301-308.

9. Халтурин Р.А. Аналитические модели управления в системе распределения ресурсов транспортного комплекса / Р. А. Халтурин, М. Г. Плетнев, И. Ю. Каштанов // Транспорт и информационные технологии. – 2025. – Т. 15, № 3. – С. 203-221.

10. Халтурин Р.А. Концепция проектирования многоуровневой иерархической структуры управления ресурсами в пассажирской транспортной системе / Р. А. Халтурин, Р. О. Судоргин // Транспорт и информационные технологии. – 2025. – Т. 15, № 3. – С. 222-243.

11. Халтурин Р.А. Спектральный анализ и теоретико-игровое моделирование взаимодействия распределённых терминальных сетей в идемпотентных векторных пространствах / А. В. Мальшаков, Р. А. Халтурин, С. Д. Шагунов // Транспортное дело России. – 2025. – № 8. – С. 254-258.

12. Халтурин Р.А. Концепция управления пассажирским транспортом в целях сбалансированного развития / Р. А. Халтурин, М. Ю. Карелина // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2024. – Т. 18, № 8. – С. 61-67.

13. Халтурин Р.А. Модель снятия неопределённости в сложных системах распределения ресурсов / Р. А. Халтурин, Р. О. Судоргин, М. Ю. Карелина // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2024. – Т. 18, № 9. – С. 41-47.

14. Халтурин, Р.А. Развитие транспортной инфраструктуры: проблемы и возможности / Р.А. Халтурин // Вестник Института экономики Российской академии наук. – 2012. – № 6. – С. 101-107.

15. Халтурин, Р.А. Система государственного управления транспортом в России / Р.А. Халтурин // Вестник Института экономики Российской академии наук. – 2015. – № 3. – С. 64-72.

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ:

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025660177 Российская Федерация. Программное обеспечение универсального бортового компьютера для мониторинга технических показателей транспортных средств: заявл. 08.04.2025: опубл. 22.04.2025 / А.В. Васильев, М.Ю. Карелина, Н.М. Ганжа, Р.А. Халтурин [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет». – EDN SVKGXG.

2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025669731 Российская Федерация. Программное средство выбора оптимального распределения ресурсов в пассажирской транспортной системе: заявл. 30.07.2025: опубл. 30.07.2025 / Р.А. Халтурин, М.Ю. Карелина, А.В. Подгорный, Д. С. Талдыкин; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Государственный университет управления». – EDN FKDBWG.