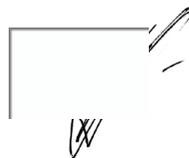


На правах рукописи



АНДРЕЕВ Андрей Юрьевич

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ
МАРШРУТОВ В ДИНАМИЧЕСКИ
ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ УСЛОВИЯХ
ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ
АВТОМОБИЛЬНЫХ ГРУЗОВЫХ ПЕРЕВОЗОК**

Специальность: 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2021

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет».

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент
Терентьев Алексей Вячеславович

Официальные оппоненты: **Грязнов Михаил Владимирович**
доктор технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова», кафедра «Логистика и управление транспортными системами», профессор;
Шевцова Анастасия Геннадьевна
кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова», кафедра «Эксплуатация и организация движения автотранспорта», доцент;

Ведущая организация: **ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет».**

Защита состоится «01» марта 2022 г. в 12-00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.223.02 при ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» по адресу: 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д.4, зал заседаний диссертационного совета (аудитория №220). Тел./Факс: (812) 316-58-73; E-mail: rector@spbgasu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» и на официальном сайте: <http://dis.spbgasu.ru/specialtys/personal/andreev-andrey-yurevich>

Автореферат разослан «20» января 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



➤

Олещенко Елена Михайловна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Решение проблемы эффективной организации процесса грузовых автомобильных перевозок (ГАП) является одной из приоритетных задач, утвержденных в Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года. Несмотря на высокий удельный вес автомобильного транспорта (АТ) в транспортной системе РФ, уровень применяемых технологических процессов и методов организации ГАП значительно уступает другим видам транспорта. В большей степени проявляется отставание в уровне применяемых технологических процессов по сравнению с развитыми странами Европы и в США, что негативно сказывается как на объемных, так и на экономических показателях эффективности ГАП. Для сравнения: среднесуточное расстояние перевозки грузов в одном автотранспортном средстве (АТС) в РФ составляет 350...380 км, а, например, в США этот показатель составляет – 1300...1500 км. При этом затраты на перевозки грузов автомобильным транспортом в РФ 1,8...2,5 раза выше, чем в технологически развитых странах. Учитывая, что на АТ занято около 6% работающего населения страны, а основные производственные фонды в транспортной отрасли определяются в размере не менее 11% от всех основных фондов страны, то суммарные издержки на осуществление перевозок грузов, оцениваются в 700 млрд. руб. в год, а это более 10% от ВВП. Задача повышения эффективности ГАП особую актуальность приобретает в современных экономических условиях, определяемых как динамически нестабильные и с высокой долей неопределенности в информационных ситуациях прогнозирования развития отрасли. Ключевым элементом в организации транспортного процесса в ГАП является маршрутизация движения подвижного состава (ПС) как совокупность процедур по выбору оптимальных характеристик путей следования, определяющих эффективность организации маршрутов при оперативном планировании ГАП.

Задача маршрутизации становится особенно актуальной при многовариантности и многоаспектности распределения грузовых потоков в динамически изменяющихся условиях внешней среды. В этом случае задача оптимальной маршрутизации может быть решена только на основе разработки специализированного математического аппарата – аналитического инструмента принятия эффективных решений и программного обеспечения на его основе. Поэтому можно утверждать, что востребованная практикой задача оптимизации процессов маршрутизации в динамически изменяющемся состоянии внешней среды представляет собой задачу, требующую решения не

на инженерном уровне, а приложения новых научных знаний. Настоящим диссертационным исследованием должна быть обеспечена разработка методики определения оптимальных маршрутов в динамически изменяющихся условиях оперативного планирования автомобильных грузовых перевозок, позволяющей системно с учётом многокритериальной и в условиях динамически изменяющихся факторов внешней средой эксплуатации управлять коммерческой эксплуатацией подвижного состава грузовых автотранспортных предприятий (ГАТП).

Степень разработанности проблемы. Еще в советское время транспортные предприятия пользовались достаточно эффективными методиками формирования маршрутов: сборных, маятниковых, развозочных и т. д. В последующие годы также проводились многочисленные исследования по организации и планированию перевозок автомобильным транспортом в изменившихся условиях его работы. Вопросами оптимизации процессов управления грузовыми автомобильными перевозками (ГАП) на основе математических методов решения транспортных задач подробно изучался и рассматривался широким кругом ученых и специалистов. Большой научный вклад по исследуемой проблеме внесли: Л. Л. Афанасьев, И. И. Батищев, Л. А. Бронштейн, А.В. Вельможин, Е.Е. Витвицкий, А. Э. Горев, В. А. Гудков, В. С. Лукинский, С. В. Милославская, Л.Б. Миротин, П.Ю. Привалов и др. Работы перечисленных авторов формировали основу поиска решения поставленных задач исследования при анализе и оценке эффективности организации ГАП. Тем не менее в современных условиях динамически не стабильных взаимоотношений участников перевозочного процесса применение вышеупомянутых исследований практически не реализуется. В настоящее время процессы оперативно-производственного планирования грузовых автомобильных перевозок происходят в условиях, когда результативные показатели ГАП могут изменяться в процессе совершения одной ездки автомобиля из-за изменений в информационной среде взаимоотношений «потребитель-перевозчик». В данных условиях возникает необходимость повышения эффективности маршрутизации, заключающейся в возможности изменения схемы маршрута в «он-лайн» режиме с применением управляющих алгоритмов, преобразованных в цифровые форматы. Теоретическая часть исследования при решении задачи динамической многокритериальной оптимизации базировалась на научных трудах отечественных и зарубежных ученых: С. Н. Васильева, Л. Гурвича, М. Зелены, В. Д. Ногина, В.В. Подиновского, Б.Д. Прудовского, Т. Саати, А. В. Терентьева и др.

Решение проблемы при разработке новых методов маршрутизации состоит в том, что понятие объект управления должно переноситься транспортного потока на отдельное транспортное средство или отдельную партию груза. Сегодня данная трансформация объектов в сложных транспортных системах осуществима, но содержит большое количество видов и типов связей, поэтому требует разработки специальных объектно-ориентированных моделей управления, которые формируют оптимальные траектории перемещения автомобилей в транспортной сети. При этом модель управления должна формировать не только описание объектов и критериев, но и методы их взаимодействия и преобразования атрибутов, позволяющих строить производные структуры на основе базовых для более сложных состояний системы, что делает процесс управления более гибким и универсальным.

Целью диссертационной работы является разработка методики определения оптимальных кольцевых развозочных (сборных) маршрутов при оперативно-производственном планировании перевозок грузов в динамически изменяющихся условиях работы подвижного состава с учётом нескольких критериев эффективности.

Для достижения цели исследования решаются **следующие задачи**:

1. Разработать концепцию системы определения оптимальных маршрутов в динамически изменяющихся условиях оперативного планирования ГАП, позволяющую системно с учётом многокритериальной среды эксплуатации управлять эксплуатацией подвижного состава грузовых АТП.

2. Разработать аналитическую платформу гетерогенной динамической транспортной системы (ГДТС) на основе задачи динамического программирования и методов многокритериальной оптимизации, позволяющую выполнять обработку больших объемов данных ГДТС по неограниченному количеству критериев или признаков эффективности.

3. Разработать аналитическую модель, алгоритм и ПО для определения оптимальных маршрутов при оперативно-производственном планировании перевозок на основе интеграции в задачу динамического программирования результатов решения задачи многокритериальной оптимизации при выборе управляющего действия для каждого дискретного состояния ГДТС.

4. Разработать методику определения оптимальных кольцевых развозочных (сборных) маршрутов при оперативно-производственном планировании ГАП, состоящую из двух основных элементов: теоретического обеспечения (маршрутизатора) и реализующего его программного обеспечения (протокола маршрутизации).

5. Разработать интегральный показатель экономической эффективности применения протокола маршрутизации в сложной структуре тарифообразования, позволяющий распределять провозные возможности АТП в динамически нестабильных условиях рыночной конъюнктуры.

Объектом исследования является система оперативно-производственного планирования перевозок грузов в условиях динамически изменяющихся факторов среды эксплуатации АТС.

Предметом исследования являются модели формирования развозочных (сборных) маршрутов ГАП, основанные на методах динамического программирования и многокритериальной оптимизации при оперативно-производственном планировании перевозок в ГДТС.

Научная новизна исследования заключается в:

1. Разработке аналитической модели, алгоритмов и программного обеспечения для определения оптимальных развозочных (сборных) маршрутов при оперативно-производственном планировании перевозок в динамически изменяющихся условиях, базирующихся на интеграции в задачу динамического программирования результатов решения задачи многокритериальной оптимизации при выборе управляющего действия для каждого дискретного состояния ГДТС.

2. Разработке интегрального показателя экономической эффективности ГАП для условий сложной структуры тарифообразования, когда применяются различные тарифы в зависимости от расстояния перевозок, времени или объёма перевозок, позволяющий определить эффективность распределения провозных возможностей АТП по типам заявок в динамически нестабильных условиях рыночной конъюнктуры.

3. Разработке методики определения оптимальных маршрутов в динамически изменяющихся условиях оперативного планирования автомобильных грузовых перевозок, состоящей из двух основных элементов: теоретического обеспечения (маршрутизатора) и его реализующего программного обеспечения (протокола маршрутизации), располагающая следующими уникальными свойствами:

– аналитический аппарат маршрутизатора предполагает возможность выбора эффективного действия при наличии стохастической неопределённости, когда отсутствует информация, гарантирующая обоснованное применение известных законов распределения случайных величин (нормальный, логарифмически нормальный и др.);

– при формировании исходного для расчётов графа исследуемой системы в качестве дискретных состояний могут и должны рассматриваться не только участки, где АТС прекращает движение в связи с необходимыми процедурами грузопереработки, но состояния сети, где происходит резкое изменение режимов движения АТС. Например, в силу загруженности «пробки» на том или ином участке сети, что особенно важно в условиях мегаполисов;

– методика работает с неограниченным количеством входов в систему (показателей), поэтому в базы данных могут и должны быть включены не только результативные показатели АТС (пробег, объем перевозки, грузооборот и т.д.), но и результативные показатели грузоперерабатывающих пунктов (производительность ПРР, время ожидания при ПРР и т. д.).

Теоретическая значимость работы заключается в разработке метода маршрутизации ГАП, применимого в условиях значительной степени влияния многочисленных факторов технико-эксплуатационного и экономического характера, то есть позволяющего решать объективно задачи маршрутизации в условиях значительной степени неопределенности стохастической природы факторов. Разработанный аналитический аппарат данного метода и программное обеспечение на его основе позволяют в автоматизированном режиме формировать оптимальные развозочные, сборные и развозочно-сборные маршруты в динамически нестабильных внешних условиях и с учетом неограниченного количества критериев эффективности.

Практическая значимость заключается в возможности применении в АТП разработанной и реализованной в ПО методике при маршрутизации ГАП в сложных гетерогенных динамических транспортных системах (транспортные системы ГАП в мегаполисах) с максимальной степенью эффективности. Разработанное ПО позволяет в автоматизированном режиме формировать оптимальные развозочные, сборные и развозочно-сборные маршруты в динамически нестабильных внешних условиях и с учетом неограниченного количества критериев эффективности. Применение разработанной методики позволяют повысить достоверность оперативно-производственного планирования грузовых перевозок, исключить субъективные ошибки, определяемые наличием «человеческого фактора» и создать автоматизированную интеллектуальную систему управления перевозками в АТП или транспортно-логистической компании (ТЛК).

Методология и методы исследования основываются на системном анализе, теории принятия решений в условиях различных состояний внешней среды «игры с природой», методов динамического и линейного программирования, теории вероятностей, статистических методов обработки и анализа экспериментальных данных и аналитических методов решения многокритериальных задач.

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

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

– П15. Развитие новых информационных технологий при перевозках.

Положения, выносимые на защиту:

1. Аналитическая модель (маршрутизатор) определения оптимальных маршрутов при оперативно-производственном планировании грузовых перевозок.

2. Алгоритмы и ПО (протокол маршрутизации) определения оптимальных маршрутов развозочных маршрутов в ГДТС.

3. Методика применения цифровой объектно-ориентированной модели управления оперативным планированием грузовых перевозок на развозочном (сборном) маршруте.

4. Интегральный показатель экономической эффективности применения протокола маршрутизации в сложной структуре тарифообразования.

Личный вклад автора заключается в разработке основных положений методики определения оптимальных маршрутов в динамически изменяющихся условиях оперативного планирования автомобильных грузовых перевозок (ГАП). Все основные идеи и разработки, положенные в основу новой аналитической модели формирования развозочных (сборных) маршрутов ГАП, основанной на методах динамического программирования и многокритериальной оптимизации при оперативно-производственном планировании перевозок в гетерогенных динамических транспортных системах принадлежат автору.

Степень достоверности обоснована применением методов системного анализа, теории моделирования, теорий вероятностей и теории принятия решений, методов динамического программирования и векторной оптимизации, отсутствием противоречий с ранее проводимыми исследованиями

другими учеными по тематике организации и управления ГАП и принятию решений в сложных организационно-технических системах; подтверждена публикациями в рецензируемых научных изданиях рекомендованных ВАК РФ и в изданиях, индексируемых в международной базе научного цитирования Scopus и WoS; обеспечена применением современных средств программного обеспечения, разработанных на основе методов динамического программирования и векторной оптимизации.

Материалы исследования применялись при выполнении научно-технической работы «Разработка цифровых объектно-ориентированных моделей управления в транспортно-логических системах и прототипов программного обеспечения на их основе», ФГБОУ ВО «СПбГАСУ», 2020–2021 гг.

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

– Объединённый международный онлайн-форум МАНФ-2020 «Наземные интеллектуальные транспортные средства и системы» и АВТОНЕТ–2020 «Форум инновационных транспортных технологий», 14–15 октября 2020, г. Москва.

– Петербургский международного инновационного форума (11–13 ноября, 2020 - Санкт-Петербург).

– X Международный форум «Арктика: настоящее и будущее», 10–12 декабря 2020, г. Санкт-Петербург.

– Санкт-Петербургская конференция кластеров «Кластеры открывают границы. Цифровая трансформация», 28 июня 2021 г, г. Санкт-Петербург.

– Международная конференция «Транспортная доступность Арктики: сети и системы», 2–4 июня 2021 г. г Санкт-Петербург.

Реализация результатов работы диссертационного исследования подтверждается:

1. Актом о внедрении в учебные программы ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» при реализации лекционных, практических и лабораторных занятий кафедрой транспортных систем по направлениям подготовки:

– бакалавров – 23.01.01 «Технология транспортных процессов» (профиль подготовки «Организация перевозок и управление на автомобильном транспорте»);

– 23.04.01 «Технология транспортных процессов» (профессионально-образовательная программа «Транспортная логистика и интеллектуальные транспортные системы»).

2. Актом о внедрении в производство АО «Корпорация «Оборонтех», ООО «СТЭК Северо-Запад».

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 6 работ. Общий объем их составляет **1,16** печатных листа, включая 4 из них в изданиях, рекомендованных ВАК РФ для опубликования основных научных результатов диссертаций, 2 статьи в изданиях, входящих в международные базы цитирования Scopus. Получено 1 свидетельство о регистрации программ для ЭВМ, имеющее государственной регистрацию РФ.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Общий объем составляет 158 страниц машинописного текста, включающего 52 рисунка и 16 таблиц. Библиография содержит 138 наименования.

Во введении раскрывается тема исследования, обосновывается её выбор, актуальность и необходимость разработки методики определения оптимальных маршрутов в динамически изменяющихся условиях оперативного планирования автомобильных грузовых перевозок. Формируются цель и задачи исследования, представлены научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, изложены положения, выносимые автором на защиту.

В первой главе выполнен анализ современных научных подходов при решении задач маршрутизации ГАП и определено, что задача маршрутизации становится особенно актуальной при многовариантности и многоаспектности распределения грузовых потоков и, тогда задача оптимальной маршрутизации может быть решена только на основе разработки специализированного математического аппарата, как аналитического инструмента принятия эффективных решений в динамической многокритериальной среде.

Во второй главе разработана научная концепция определения оптимальных маршрутов в динамически изменяющихся условиях оперативного планирования ГАП, позволяющую системно с учётом многокритериальной среды эксплуатации управлять эксплуатацией подвижного состава грузовых АТП.

В третьей главе разработана аналитическая модель, алгоритм и ПО для определения оптимальных маршрутов при оперативно-производственном планировании перевозок на основе интеграции в задачу динамического программирования результатов решения задачи многокритериальной оптимизации при выборе управляющего действия для каждого дискретного состояния ГДТС. Разработана методика, определения оптимальных кольцевых

развозочных (сборных) маршрутов, состоящая из двух основных элементов: теоретического обеспечения (маршрутизатора) и его реализующего его программного обеспечения (протокола маршрутизации).

В четвёртой главе апробирована разработанная методика определения оптимальных маршрутов в динамически изменяющихся условиях оперативного планирования автомобильных грузовых перевозок с применением интегрального показателя экономической эффективности ГАП для условий сложной структуры тарифообразования, когда применяются различные тарифы в зависимости от расстояния перевозок, времени или объёма перевозок, позволяющий определить эффективность распределения провозных возможностей АТП по типам заявок в динамически нестабильных условиях рыночной конъюнктуры.

В заключении изложены основные итоги и результаты выполненного исследования.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИССЕРТАЦИИ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

1. Аналитическая модель (маршрутизатор) определения оптимальных маршрутов при оперативно-производственном планировании грузовых перевозок.

ГДТС, как сложная система, определяется большой совокупностью формализованных показателей (базы данных) и требует поиска эффективных решений по достаточно большому количеству критериев или признаков эффективности. Зависимости в ГДТС между целевой функцией и исследуемыми параметрами оперативного управления перевозками достаточно сложны и многообразны, целесообразно применять аналитические (численные) решения многокритериальных задач с применением специализированного ПО. В основе данных методов лежат аналитические алгоритмы получения значений весовых коэффициентов показателей (ВКП) исследуемых параметров в многокритериальной задаче. Активное внедрение информационно-коммуникативных (цифровых) технологий позволяет развивать теоретические основы определения формальной эффективности в ГДТС и разрабатывать ПО, помогающих выполнять обработку больших объемов данных с применением алгоритмов искусственного интеллекта, формируемых, как аналитические аналоги нейронных сетей.

Концепция научного подхода к определению маршрутов перевозки грузов в ГДТС строится на базовом алгоритме Беллмана–Форда, который реализует управление в ГДТС (Ω) пошагово (дискретно) после определения эффективного решения и применения его в качестве одного из конечного числа возможных воздействий. В общем виде дискретная управляемая ДТС для однокритериальной модели определяется как:

$$\Omega = \{D_i; x_0; F; V(x), f(x, v), s(x, v)\}, \quad (1)$$

где D_i – множество возможных состояний ГДТС; F – множество состояний параметров ГДТС; $V(x)$ – множество управлений при выборе направления перемещения (вариантов действий в системе) – ($x \in D|F$); $f(x, v)$ – функция переходов из состояния x при управлении v ; $s(x, v)$ – функция «потерь» на производство процессов перемещения.

Алгоритм Беллмана–Форда работает циклами (динамически улучшая текущее состояние системы): в каждом их циклов, сканируя все вершины и их соединения, которых были улучшены. На каждом цикле решения производится интеграция в задачу динамического программирования аналитическая модель поиска эффективных решений в многокритериальной среде. Матрица эффективности на отдельных циклах имеет вид:

$$\|\mathfrak{E}_{ij}\| = \begin{pmatrix} \mathfrak{e}_{11} & \mathfrak{e}_{12} & \dots & \mathfrak{e}_{1n} \\ \mathfrak{e}_{21} & \mathfrak{e}_{22} & \dots & \mathfrak{e}_{2n} \\ \dots & & & \dots \\ \mathfrak{e}_{m1} & \mathfrak{e}_{m2} & \dots & \mathfrak{e}_{mn} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где m – число возможных вариантов действий; n – число критериев; E_{ij} – эффективность i -го действия для j -го критерия, $i = 1, m, j = 1, n$.

Для каждого сравниваемого варианта i решается задача линейного программирования. Таким образом формируется аналитическую платформа построения маршрута:

$$\|\mathfrak{E}_{ij}\| = \begin{pmatrix} \mathfrak{e}_{11} & \mathfrak{e}_{12} & \dots & \mathfrak{e}_{1n} \\ \mathfrak{e}_{21} & \mathfrak{e}_{22} & \dots & \mathfrak{e}_{2n} \\ \dots & & & \dots \\ \mathfrak{e}_{m1} & \mathfrak{e}_{m2} & \dots & \mathfrak{e}_{mn} \end{pmatrix}, \quad (3)$$

где $B(x)$ — функция $B(x)$ в предшествующем дискретном состоянии.

В общем случае перемещение груза связано с пунктами формирования груза – грузоотправителями (Γ), пунктами приема груза – грузополучателя-

ми (ГП) и промежуточными пунктами – транспортно-складскими комплексами (ТСК). В ГП груза выполняется погрузка груза на подвижной состав транспорта, в ГО – выгрузка и в ТСК – передача груза или хранение груза, связанное с накоплением материала до определенной партионности, или наоборот, с уменьшением партионности груза. По аналогии с физическими единицами измерения измерители процесса перевозки грузов могут быть сведены к нескольким основным единицам многокритериальную систему измерителей. Такую систему можно построить на базе трех основных критериев: транспортной массы или объема перевозок; транспортного пути или расстояние перевозки и транспортного времени.

$$Q \rightarrow \max : L \rightarrow \min : T \rightarrow \min, \quad (4)$$

где Q – транспортная масса или объем перевозок, т; L – транспортный путь или расстояние перевозки, км; T – транспортное время, ч.

Аналитическая модель методики определения оптимальных маршрутов при оперативно-производственном планировании перевозок в динамически изменяющихся условиях базируется на интеграции в задачу динамического программирования результатов решения задачи многокритериальной оптимизации при выборе управляющего действия для каждого дискретного состояния ГДТС.

При данном подходе формула (3) преобразуется с учётом (1 и 2) в математическую модель, содержащую рекуррентное соотношение:

$$B(x) = \underset{v \in V(x)}{\text{opt}} \{ s(\varepsilon, d_i) + B(f(D_i)) \},$$

$$d_i = \sum_{j=1}^n e_{ij} k_j, \sum_{j=1}^n k_j = 1, 0 \leq k \leq 1, k_j \geq k_{j+1}, j = \overline{1, n-1}$$

$$k_j = \begin{cases} \frac{1}{c}, & \text{если } j = c \\ \frac{\lambda}{c}, & \text{если } j < c, \quad \text{где } \lambda = \frac{n-1}{n} \\ \frac{1-\lambda}{n-c}, & \text{если } j > c \end{cases} \quad (5)$$

где c – определяется как $\varepsilon_{ej} = \max \varepsilon_{ij}$, а $D_i = \max d_i$.

Аналитическая модель (5) позволяет решить задачу определения эффективности отдельной траектории движения партии груза или транспортного средства как функция от любого неограниченного количества переменных:

$$\Xi_{opt} = f(d_{ij}, i = 1 \dots m; j = 1 \dots n), \quad (6)$$

где $j = 1 \dots n$ – количество исследуемых параметров, устанавливаемых предприятием, применяющим «протокол маршрутизации»; $i = 1 \dots m$ – количество вариантов перемещений из отдельного ГО или ТСК.

2. Алгоритмы и ПО (протокол маршрутизации) определения оптимальных маршрутов развозочных маршрутов в ГДТС.

Для решения оптимизации маршрутов в зарубежной практике используются методы планирования маршрутов информационных потоков в информационно-коммуникационных сетях, а термин «маршрутизация» изначально относится к набору элементов для планирования маршрута и передачи пакетов данных по Интернету. Маршрутизация с информационной точки зрения обеспечивает возможность предоставлять данные из одной локальной сети в другую локальную сеть, которая может быть расположена где угодно. Назначенный маршрут может проходить через множество промежуточных сетей, что позволяет управлять глобальными сетями, поэтому термин «протокол маршрутизации» принят из зарубежного опыта, планирования маршрутов с целью поиска оптимальных опираются на теорию планирования и передачи пакетов данных с применением информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) и возможностей Интернета. Следовательно, по аналогии можно принять следующие определения:

1. **Маршрутизатор** – аналитическая модель и метод определения оптимальных маршрутов, положенные в основу методики их определения.

2. **Протокол маршрутизации** – программное обеспечение, созданное для решения задач маршрутизации в конкретных условиях (виды перевозок, географическая локация перевозок и т. д.

Алгоритм работы протокола маршрутизации, разработанного на основе аналитической модели (5), приведен на рисунке 1.

3. Методика применения цифровой объектно-ориентированной модели управления оперативным планированием грузовых перевозок на развозочном (сборном) маршруте.

Исследуемая транспортная сеть определяется количеством включенных в неё вершин, тем самым формируются границы исследуемой системы. Разработанная аналитическая модель позволяет работать с неограниченным количеством критериев. Ограничивая количество критериев, мы

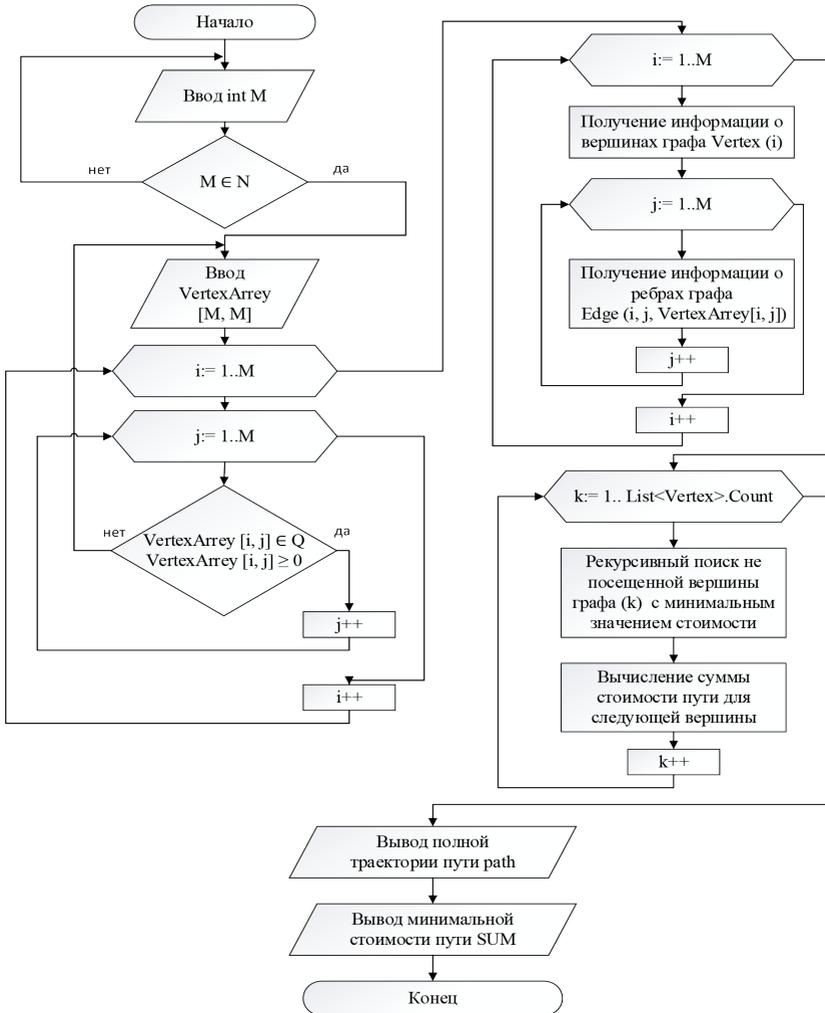


Рисунок 1. Алгоритм работы протокола маршрутизации:

M – количество вершин графа; $\text{VertexArray } [M, M]$ – массив значений стоимости пути между вершинами; $\text{List}\langle\text{Vertex}\rangle$ – список вершин графа;
 $\text{Edge } (i, j, \text{VertexArray}[i, j])$ – ребро графа, $i = 1, M, j = 1, M$ с учетом многокритериальной оценки; path – полная траектория пути минимальной стоимости из начальной точки в конечную; SUM – минимальная стоимость пути в количественных оценках

формализуем пространство исследуемых факторов **сверху** только их количеством. Термин **сверху** обозначает что значимость или вес отдельного фактора на данном этапе определяется вероятностью проявления. Так как мы исследуем систему с неопределённой средой исследования значения вероятностей проявления факторов тождественны в решаемой задаче весовым коэффициентам – k , определимым аналитически по рекуррентному соотношению 5. Рассмотрим этапы работы ПО, созданного на основе разработанной методики.

Этап 1. Ввод данных количества и характеристик связей в исследуемой системе

Form1

Введите количество вершин: 10
 Введите количество критериев: 3
 ОК

Установите связи между вершинами: 6 7, 6 8, 6 9, 6 10, 7 8, 7 9, 7 10, 8 9, 8 10, 9 10

Выберите приоритет критериев: 1 K1>K2>K3, 2 K1>K3>K2, 3 K2>K1>K3, 4 K2>K3>K1, 5 K3>K2>K1, 6 K3>K1>K2

ОПРЕДЕЛИТЬ СВЯЗИ

Определение связей для вершины 1

Связи	K1	K2	K3
1 2	1	4	5
1 3	5	4	3
▶ 1 4	4	8	1

Таблица нормализации

Вершины	K1	K2	K3
▶ 1	4	8	1
	5	4	3
	1	4	5

ЗАНЕСТИ ДАННЫЕ СЛЕДУЮЩАЯ СВЯЗЬ НОРМАЛИЗОВАТЬ РАССЧИТАТЬ

Рисунок 2. Интерфейс включения параметров связей в исследуемой системе для вершины 1

Этап 2. После того, когда все связи определены, производится математическая процедура нормирования данных и решается первая оптимизационная задача – определение вектора возможных решений, состоящего из определенных эффективностей в количественных оценках для каждой свя-

зи в системе. Величина каждого параметра эффективности по отдельным возможным действиям является решением многокритериальной задачи нахождения Парето-оптимальных. При этом формируется исходная аналитическая база данных для решения второй оптимизационной задачи – задачи динамического программирования (рисунок 3):

Form1

Введите количество вершин: 10
Введите количество критериев: 3

OK

Установите связи между вершинами

Вершины	
6 7	<input checked="" type="checkbox"/>
6 8	<input checked="" type="checkbox"/>
6 9	<input checked="" type="checkbox"/>
6 10	<input type="checkbox"/>
7 8	<input type="checkbox"/>
7 9	<input checked="" type="checkbox"/>
7 10	<input checked="" type="checkbox"/>
8 9	<input checked="" type="checkbox"/>
8 10	<input checked="" type="checkbox"/>
9 10	<input checked="" type="checkbox"/>

Выберите приоритет критериев

1 K1>K2>K3	<input checked="" type="checkbox"/>
2 K1>K3>K2	<input type="checkbox"/>
3 K2>K1>K3	<input type="checkbox"/>
4 K2>K3>K1	<input type="checkbox"/>
5 K3>K2>K1	<input type="checkbox"/>
6 K3>K1>K2	<input type="checkbox"/>

ОПРЕДЕЛИТЬ СВЯЗИ

Определение связей для вершины 9

Связи	K1	K2	K3
9 10	1	8	6

Таблица нормализации

Вершины	K1	K2	K3
1	0,026	0,092	0,105
	0,021	0,046	0,035
	0,105	0,046	0,021
2	0,012	0,057	0,035
	0,018	0,046	0,053
3	0,021	0,046	0,035
	0,105	0,034	0,053
4	0,026	0,034	0,026
	0,035	0,069	0,053
5	0,105	0,069	0,035
	0,105	0,046	0,012
6	0,015	0,023	0,012
	0,035	0,069	0,105
	0,053	0,046	0,105
7	0,021	0,046	0,035
	0,053	0,046	0,105
8	0,035	0,034	0,105
	0,105	0,057	0,053
9	0,105	0,092	0,018
min-max	min	max	min

Рисунок 3. Формирование базы данных для решения второй оптимизационной задачи – задачи динамического программирования

Этап 3. На данном этапе работы протокола маршрутизации включается решение задачи динамического программирования и определяется оптимальная траектория движения объекта в исследуемой системе (рисунок 4):

4. Интегральный показатель экономической эффективности применения протокола маршрутизации в сложной структуре тарифообразования.

Апробация разработанного протокола маршрутизации на кольцевом развозочном маршруте в г. Санкт-Петербурге (таблица 1 и таблица 2).

На рисунках 5 и 6 приведены результаты расчёта направления движения АТС по одному критерию оптимизации (рисунок 5-а) и при использовании протокола маршрутизации (рисунок 5-б).

Form1

Введите количество вершин: 10
 Введите количество критериев: 3
 ОК

Установите связи между вершинами

Вершины	Эффектност
6 7	<input checked="" type="checkbox"/> 0.019
6 8	<input checked="" type="checkbox"/> 0.06966666666
6 9	<input checked="" type="checkbox"/> 0.068
6 10	<input type="checkbox"/> 0
7 8	<input type="checkbox"/> 0
7 9	<input checked="" type="checkbox"/> 0.0335
7 10	<input type="checkbox"/> 0.068
8 9	<input checked="" type="checkbox"/> 0.058
8 10	<input checked="" type="checkbox"/> 0.105

Выберите приоритет критериев

1 K1>K2>K3	<input checked="" type="checkbox"/>
2 K1>K3>K2	<input type="checkbox"/>
3 K2>K1>K3	<input type="checkbox"/>
4 K2>K3>K1	<input type="checkbox"/>
5 K3>K2>K1	<input type="checkbox"/>
6 K3>K1>K2	<input type="checkbox"/>

ОПРЕДЕЛИТЬ СВЯЗИ

Определение связей для вершины 9

Связи	K1	K2	K3
9 10	1	8	6

Таблица нормализации

Вершины	K1	K2	K3
1	0.026	0.092	0.105
	0.021	0.046	0.035
	0.105	0.046	0.021
2	0.012	0.057	0.035
	0.018	0.046	0.053
3	0.021	0.046	0.035
	0.105	0.034	0.053
4	0.026	0.034	0.026
	0.035	0.069	0.053
5	0.105	0.069	0.035
	0.105	0.046	0.012
	0.015	0.023	0.012
	0.035	0.069	0.105
6	0.053	0.046	0.105
	0.021	0.046	0.035
7	0.053	0.046	0.105
	0.035	0.034	0.105
	0.105	0.057	0.053
9	0.105	0.092	0.018

min max min max

Вывод оптимальных решений при различных распределениях вероятностей

Вершины	Критерий	Решение
1	K2>K3	D1=0.07433333333333333; D2=0.0335; D3=0.105; 3
	K3>K2	D1=0.07433333333333333; D2=0.028; D3=0.105; 3
	K1>K3	D1=0.07433333333333333; D2=0.0335; D3=0.046; 1
	K3>K1	D1=0.07433333333333333; D2=0.0405; D3=0.046; 1
	K2>K1	D1=0.07433333333333333; D2=0.0405; D3=0.021; 1
	K1>K2	D1=0.07433333333333333; D2=0.028; D3=0.021; 1
2	K2>K3	D1=0.0345; D2=0.039; 2
	K3>K2	D1=0.0235; D2=0.039; 2
	K1>K3	D1=0.0345; D2=0.039; 2
	K3>K1	D1=0.046; D2=0.039; 1
	K2>K1	D1=0.046; D2=0.039; 1
	K1>K2	D1=0.0235; D2=0.039; 2
3	K2>K3	D1=0.0335; D2=0.105; 2
	K3>K2	D1=0.028; D2=0.105; 2
	K1>K3	D1=0.0335; D2=0.034; 2
	K3>K1	D1=0.0405; D2=0.034; 1
	K2>K1	D1=0.0405; D2=0.053; 2
	K1>K2	D1=0.028; D2=0.053; 2
4	K2>K3	D1=0.03; D2=0.052; 2
	K3>K2	D1=0.026; D2=0.044; 2

Наилучший путь
 1->2->5->6->8->9->10

Рисунок 4. Расчет оптимальной траектории объекта (последовательности объезда вершин) в исследуемой системе

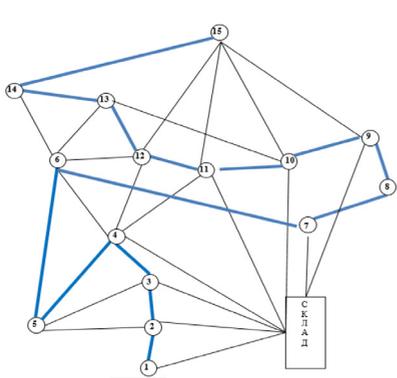


Рисунок 5 (а) – Расчет оптимального маршрута по одному критерию оптимизации – длина маршрута

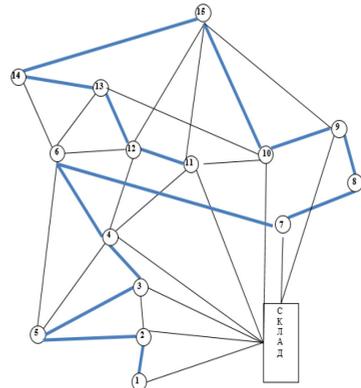


Рисунок 5 (б) – Расчет оптимального маршрута с применением разработанного протокола маршрутизации

Таблица 1. Матрица расстояний на исследуемом маршруте между вершинами транспортной сети

III	A	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	B ₇	B ₈	B ₉	B ₁₀	B ₁₁	B ₁₂	B ₁₃	B ₁₄	B ₁₅
A	0	5	7,2	9,5	18,4	13,2	5,1	7,3	11,5	23,7	7,6	6	13,1	21	13	7,7
B ₁	5	0	2	4,7	7,8	4,5	8	5,6	13	22	25	12	19,5	33	36	14,2
B ₂	7,2	2	0	3	7,2	7	10	8,1	15,3	24,5	17	17	20,1	35,8	37,7	17,9
B ₃	9,5	4,7	3	0	4	6	15	10,6	18,2	27,5	20	14	18,3	31,2	35,2	16
B ₄	18,4	7,8	7,2	4	0	6	16,2	13,4	21	29,6	26	11	14	28	25	18
B ₅	13,2	4,5	7	6	6	0	15,2	20,1	25,6	23,7	20,8	10,3	12,9	25,3	22,3	20,3
B ₆	5,1	8	10	15	16,2	15,5	0	8	6,5	8,2	10	11	20,1	26	18	13,7
B ₇	7,3	5,6	8,1	10,6	13,4	20,1	8	0	7	15	18	16	21,7	28,3	20,5	15
B ₈	11,5	13	15,3	18,2	21	25,6	6,5	7	0	10	19	18	26,5	33	25	19,7
B ₉	23,7	22	24,5	27,5	29,6	23,7	8,2	15	10	0	10,5	28	34,5	41,2	23,7	30,7
B ₁₀	7,6	15	17	20	26	20,8	10	18	19	10,5	0	13,6	22,1	28,6	27,4	17
B ₁₁	6	12	17	14	11	10,3	11	16	18	28	13,6	0	8,5	12	11	10
B ₁₂	13,1	19,5	20,1	18,3	14	12,9	20,1	21,7	26,5	34,5	22,1	8,5	0	10	18	26
B ₁₃	21	33	35,8	31,2	28	25,3	26	28,3	33	41,2	28,6	12	10	0	9	17,5
B ₁₄	13	36	37,7	35,2	25	22,3	18	20,5	25	23,7	27,4	11	18	9	0	10
B ₁₅	7,7	14,2	17,9	16	18	20,3	13,7	15	19,7	30,7	17	10	26	17,5	10	0

Таблица 2. Результаты расчёта экономических показателей на одном маршруте

Наименование показателей, ед. изм.	Значения показателей	
	Базовый вариант	Протокол маршрутизации
2. Сумма затрат на перевозки, тыс. руб./год	907,231	858,773
3. Себестоимость перевозимого груза за 1 тонну, руб/т	939,16	824,45
4. Доходы от перевозок, тыс. руб./год	966	1041,6
5. Прибыль от перевозок, тыс. руб./год	58,8	182,826
7. Затраты на один рубль дохода, коп.	94	82,44
8. Экономический эффект, тыс. руб./год	–	35 136

Разработанный протокол маршрутизации позволяет оценивать эффективность отдельных действий дифференцировано для различных критериев эффективности. При этом каждый из рассматриваемых критериев непосредственно отражает дифференцированную тарификацию ГАП. На основании расчётных данных можно сформировать структуру для определения эффективности ГАП по тому или иному виду заявок.

Показатель экономической эффективности ГАП по каждому варианту перевозок можно определить по формуле.

$$d_{\mathcal{A}_i} = K_{d_i} \sum_{j=1}^n T_j b_{ij}, \quad (7)$$

где b_{ij} – нормированное значение показателя или эффективность i -го действия по j -му критерию, $i = 1, m$, $j = 1, n$. T_j – тариф, соответствующий критерию оптимизации ГАП (руб./т; руб./км; руб./час), K_{d_i} – коэффициент отражающий уровень доминирования решения.

Показатель экономической эффективности ГАП ($D_{\mathcal{A}_k}$) при заданном распределении по заявкам и с учётом уровня доминирования вариантов характера перевозок определяется по формуле:

$$D_{\mathcal{A}_k} = \sum_{i=1}^m \Pi_{ik} d_{\mathcal{A}_i}, k = 1, 2, \dots, p, \quad (8)$$

где Π_{ik} – доля заявок i -го типа k -му варианту распределения провозных возможностей АТП при оперативно-производственном планировании ГАП.

Наиболее эффективный вариант распределения провозных возможностей АТП по типам заявок должен выполняться с соблюдением условия:

$$D_{\text{опт}} = \max_k D_{\text{э}_k}, \quad (9)$$

где $D_{\text{э}_k}$ – возможные варианты распределения провозных возможностей по типам поступивших заявок при оперативно-производственном планировании перевозок.

Таким образом, разработанный протокол маршрутизации позволяет не только определить оптимальное направление движения АТС, но и эффективно распределять АТС по типам заявок с учетом актуальных тарифов на перевозки. Приведем пример расчёта эффективности применения АТС для заданных условий ГАП и с учётом действующих тарифов исследуемого предприятия приведены представлены на в таблице 3.

Таблица 3. Определение показателя экономической эффективности ГАП по каждому варианту перевозок

Характер заявки	k_1	k_2	k_3	d_s
1. Постоянный	62,00	14,72	343,87	59,77
2. Непостоянный	51,46	13,68	457,58	14,84
3. Эпизодический	41,54	11,6	568,55	101,21

На рисунке 6 приведена диаграмма, отражающая влияние распределения провозных возможностей АТП в зависимости от характера заявки на значение интегрального показателя эффективности ГАП, измеряемую в количественных оценках.

Из диаграммы видно, что решение о выборе маршрута перевозки грузов в современных условиях мегаполиса в многом зависит не только от ТЭП работы АТС, но и от факторов нестабильной конъюнктуры рынка. Например, значение результативных показателей ГАП при реализации эпизодических заявок значительно выше, чем при реализации заявок, носящих постоянный или не- постоянный характер. Полученные результаты говорят о значительной степени влияния многочисленных факторов технико-эксплуатационного и экономического характера на эффективность процесса ГАП в ГДТС. Решать объективно данные задачи в условиях значительной степени неопределенности стохастической природы факторов в «ручном» режиме невозможно. Разработанный аналитический аппарат (маршрутизатор) и про-

граммное обеспечение на его основе (протокол маршрутизации) позволяют в автоматизированном режиме формировать оптимальные развозочные, сборные и развозочно-сборные маршруты в динамически нестабильных внешних условиях и с учетом неограниченного количества критериев эффективности.

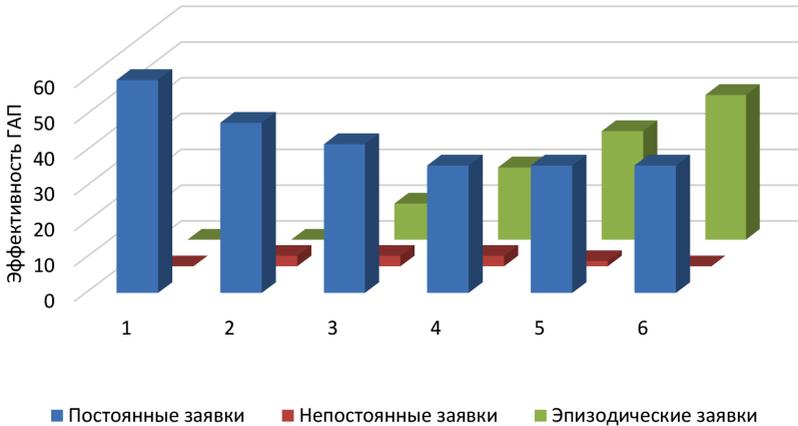


Рисунок 6 – Значение интегрального показателя эффективности ГАП по типам заявок, определяющее распределения провозных возможностей АТС

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В исследовании установлено, что процессы оперативно-производственного планирования работы ТС, происходящие в динамически изменяющихся условиях среды взаимоотношений «потребитель-перевозчик» могут быть эффективно управляемы при переносе понятия объект управления с транспортного потока на отдельное транспортное средство, отдельную партию груза или отдельного пассажира. При этом требуется формирование объектно-ориентированных моделей управления в транспортной сети, определяющих оптимальные траектории перемещения отдельных объектов. Задача маршрутизации становится особенно актуальной при многовариантности и многоаспектности (многокритериальности) распределения грузовых потоков в динамически изменяющихся условиях внешней среды. В этом случае задача оптимальной маршрутизации может быть решена только на основе разработки специализированного математического аппарата, как аналитического инструмента принятия эффективных решений ПО на его основе.

Настоящим диссертационным исследованием обеспечена разработка методики определения оптимальных маршрутов в динамически изменяющихся условиях оперативного планирования автомобильных грузовых перевозок, позволяющей системно с учётом многокритериальной среды эксплуатации управлять коммерческой эксплуатацией подвижного состава грузовых автотранспортных предприятий:

- формализовать ГДТС, опираясь на информационные состояния системы, которые, в свою очередь, определяются возможными внутренними и внешними возмущениями;

- определены критерии делимости ГДТС, учитывающие гетерогенность элементов системы;

- разработаны инструменты управления и оптимизации функционирования в ГДТС с учётом потенциальных возможностей существующих методов теории принятия решений, позволяющих избежать недостатков эвристических методов получения эффективных решений по определению весовых коэффициентов факторов;

- процедура получения ВКП полностью формализована, а, следовательно, легко реализуется в ПО.

Разработана аналитическая платформа ГДТС на основе задачи динамического программирования и метода районирования по принципу иерархического соотношения между вероятностями, позволяющая: выполнять обработку больших объемов данных ГДТС; выполнять анализ среды функционирования ГДТС с применением алгоритмов искусственного интеллекта неограниченному количеству критериев или признаков эффективности.

Выполнена разработка оптимизационной аналитической модели объектно-ориентированного управления и алгоритмов на ее основе:

1. Алгоритм и ПО решения задачи динамического программирования, реализующие принцип Беллмана, позволяющий оптимальную траекторию (маршрут) перемещения груза в ГДТС;

2. Аналитическая модель, алгоритм, методика и ПО определения оптимальных маршрутов при оперативно-производственном планировании перевозок в динамически изменяющихся условиях базируются на интеграции в задачу динамического программирования результатов решения задачи многокритериальной оптимизации при выборе управляющего действия для каждого дискретного состояния ГДТС.

Принципиальными преимуществами разработанной модели поиска эффективных решений в сложных информационно-аналитических системах

больших баз данных и ПО на их основе являются: отсутствие формализованной связи между весами, получаемых для отдельных критериев и различных вариантов действий в ГДТС; полученное решение является максимально возможным с учётом исходных значений показателей эффективности по рассматриваемым критериям. Решение, получаемое в модели, позволит не только получить искомые Парето-оптимальные решения, но и значительно сократить количество вычислительных процедур, необходимых для их поиска.

Определена целесообразность применения терминов «протокол маршрутизации» и «маршрутизатор», как аналогов в модели поиска оптимальных решений на основе теории планирования и передачи пакетов данных по Интернету. Таким образом, разработанная методика, состоит из двух основных элементов: теоретического обеспечения (маршрутизатора) и реализующего его программного обеспечения (протокола маршрутизации). Аналитический аппарат маршрутизатора предполагает возможность выбора эффективного действия при наличии стохастической неопределённости, когда отсутствует информация, гарантирующая обоснованное применение известных стохастических законов распределения случайных величин и обладает следующими уникальными возможностями:

1. При формировании исходного для расчётов графа исследуемой системы в качестве дискретных состояний могут и должны рассматриваться не только участки, где АТС прекращает движение в связи с необходимыми процедурами грузопереработки, но состояния сети, где происходит резкое изменение режимов движения АТС. Например, в силу загруженности «пробки» на том или ином участке сети, что особенно важно в условиях мегаполисов.

2. Разработанная модель работает с неограниченным количеством входов в систему (показателей), поэтому в базы данных могут и должны быть включены не только результативные показатели АТС (пробег, объем перевозки, грузооборот и т. д.), но результативные показатели грузоперерабатывающих пунктов (производительность ПРР, время ожидания при ПРР и т. д.)

Для условий сложной структуры тарифообразования, то есть, когда применяются различные тарифы в зависимости от расстояния перевозок, объёма перевозок или времени, разработан интегральный показатель экономической эффективности ГАП, позволяющий определить эффективность распределения провозных возможностей АТП по типам заявок в динамически нестабильных условиях рыночной конъюнктуры.

Перечисленные особенности разработанной модели маршрутизатора позволяют повысить достоверность оперативно-производственно-

го планирования грузовых перевозок, исключить субъективные ошибки, определяемые наличием «человеческого фактора» и создать автоматизированную «интеллектуализированную» систему управления перевозками в автотранспортном предприятии (АТП) или транспортно-логистической компании (ТЛК).

Апробация разработанной методики показала, что применение её в условиях мегаполиса (г. Санкт-Петербург) на одном постоянно действующем развозочном кольце сокращает сумму затрат на 48,458 тыс.руб./сут., а экономический эффект составит 35 136 тыс. руб./год.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ И ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОПУБЛИКОВАНЫ:

Публикации в изданиях из перечня рецензируемых научных журналов ВАК РФ:

1. Андреев, А. Ю. Методика определения оптимальных маршрутов в динамически изменяющихся условиях оперативного планирования автомобильных грузовых перевозок/ А. Ю. Андреев// Вестник гражданских инженеров. 2021. №6 (89). С. [в печати]. (0,5 печатных листа).

2. Андреев, А. Ю. Математические модели управления транспортными потоками в интеллектуальных транспортных системах/ А. В. Терентьев, И. В. Арифиллин, В. Д. Егоров, А. Ю. Андреев// Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник ВИНТИ РАН. 2021. №1. С. 46–50. (0,15 печатных листа).

3. Андреев А. Ю. Алгоритмы маршрутизации в дорожно-транспортной системе/ А. Ю. Андреев, В. Д. Егоров, А. В. Терентьев// Вестник гражданских инженеров. 2021. №2 (85). С. 181 -188. (0,33 печатных листа).

4. Андреев, А. Ю. Математические модели принятия решений в интеллектуальных транспортных системах/ Терентьев А. В. Арифиллин И. В., Андреев А. Ю., Егоров В. Д.// Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2021. № 1(64). С. 106–113. (0,25 печатных листа).

Публикации в изданиях, индексируемых международной системой цитирования Scopus:

5. Andrey Andreev. Model for determining optimal routes in complex transport systems/Alexey Terentyev, Maria Karelina, Vladimir Egorov, Andrey Andreev,

Kazem Reza Kashyzadeh// Transportation Research Procedia, Volume 57, 2021, Pages 679–687. (0,22 печатных листа).

6. Andrey Andreev. Digital services as tools for implementing service-oriented architecture in transport systems/Alexey Terentyev, Andrey Andreev, Vladimir Yegorov, Ayub Omarov// Transportation Research Procedia, Volume 57, 2021, Pages 672–678. (0,21 печатный лист).

Программы для ЭВМ, имеющие государственную регистрацию:

7. Андреев А. Ю. Программа для определения оптимальных маршрутов движения транспортных средств в динамически изменяющихся условиях внешней среды/ Андреев А. Ю., Егоров В. Д., Терентьев А. В., Евтюков С. А. // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ. Номер свидетельства: № 2021667592, Страна: Россия, 2021 г. Дата регистрации: 01 ноября 2021 г.

Компьютерная верстка *В. С. Весниной*

Подписано к печати 23.12.2021. Формат 60×84 $\frac{1}{16}$. Бум. офсетная.

Усл. печ. л. 1,5. Тираж 100 экз. Заказ 142.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.
190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

Отпечатано на МФУ. 198095, Санкт-Петербург, ул. Розенштейна, д. 32, лит. А.