

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)»

Кафедра «Организация перевозок и безопасность движения»

**НАУЧНЫЙ ДОКЛАД**

об основных результатах научно-квалификационной работы (диссертации)  
**«Оптимизация процесса перевозок грузов с применением цифрового двойника  
транспортной системы»**

по направлению 27.06.01 «Управление в технических системах»

научная направленность: «Управление процессами перевозок»

аспирант



Новокшонов Никита Андреевич

Допустить к защите научного доклада:

Заведующий кафедрой «ОПиБД»

Научный руководитель

Нормоконтроль



д.т.н., доцент Трофимова Л.С.

д.т.н., профессор Мочалин С.М.

к.т.н., доцент Кузин Н.В.

Омск - 2024

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

*Актуальность темы.* В современных условиях необходимость повышения эффективности принимаемых решений в области грузовых автоперевозок остается актуальной. Развитие технологий и увеличение объема данных требуют внедрения инновационных решений для оптимизации процессов управления на транспорте. Одним из наиболее перспективных подходов является применение цифровых двойников, которые позволяют моделировать, анализировать и оптимизировать логистические операции в реальном времени.

Цифровые двойники транспортных систем представляют собой виртуальные модели, отражающие текущее состояние и поведение реальных объектов. Эти модели позволяют предсказывать возможные сценарии, оценивать их последствия и принимать обоснованные решения, что значительно улучшает процесс управления логистикой. Внедрение таких технологий не только способствует снижению затрат и повышению эффективности, но и позволяет адаптироваться к быстроменяющимся условиям рынка.

Исследование направлено на разработку и внедрение цифрового двойника, в теорию и практику принимаемых оперативных решений на транспорте, которые обеспечат создание и эффективное использование данных цифровых двойников в транспортных системах. Это соответствует современным направлениям научно-технического развития РФ и запросам рынка на более гибкие и точные инструменты управления логистическими процессами. Исследование предполагает интеграцию мультиагентного моделирования, роевого интеллекта и алгоритмизации, что позволит создать комплексное решение для оптимизации работы беспилотного транспорта и автоматизированных складов.

Проведенные исследования первоисточников, теории и практики в области применения цифровых двойников транспортной системы (Мочалин С. М., Г. А. Ржевский, П. О. Скобелев, Ting Yu, Limin Wang, Xuming Han, Ying Liu, Li Zhang, A. A. Зайцев, В. В. Курейчик, А.А. Полупанов, В. Д. Боев, Матренин П. В., Lawrence J.

Fogel, Noel Crespi, Adam T. Drobot, Roberto Minerva, Manisha Vohra) подтверждают значительный потенциал и эффективность использования данных технологий для решения сложных задач в логистике и транспортных системах.

Работы Г. А. Ржевского и П. О. Скобелева посвящены теоретическим аспектам мультиагентного моделирования и применения роевого интеллекта для оптимизации транспортных процессов. Исследования Ting Yu, Limin Wang, Xuming Han и их коллег демонстрируют практическое использование этих алгоритмов в моделировании и управлении логистическими операциями. В то же время, работы Мочалина С. М., А. А. Зайцева, В. В. Курейчика и А.А. Полупанова направлены на разработку и совершенствование алгоритмов, которые позволяют улучшить точность прогнозирования и адаптивность транспортных систем.

Значительный вклад в изучение программных решений для моделирования цифровых двойников внесли В. Д. Боев и Матренин П. В., предлагая практические рекомендации и инструменты для реализации данных технологий. Lawrence J. Fogel, Noel Crespi, Adam T. Drobot и их коллеги сосредоточены на применении цифровых двойников в различных областях, включая беспилотные транспортные системы и автоматизированные склады, что подчеркивает универсальность и эффективность этих решений.

Валерий Решетников, директор-эксперт практики «Управление цепями поставок» компании «Рексофт Консалтинг», выделяет два основных направления использования цифровых двойников в логистике и цепочках поставок: оптимизационные модели и имитационные цифровые двойники. Первые применяются как для разработки стратегий развития логистической сети, так и для решения более локальных задач, таких как планирование производства с помощью оптимизационных моделей. Имитационные модели используются при создании цифровых двойников, имитирующих работу сложных объектов, таких как цепи поставок, производственные объекты, логистические узлы и склады.

В. С. Лукинский привел пример успешного использования цифровых двойников в одной из крупных розничных аптечных сетей. Компания создала цифровых двойников для каждого из более чем 2000 магазинов, моделируя расположение полок и всех товаров в каждом филиале. Благодаря этому подходу, получив в реальном времени информацию о наличии товаров во всех своих точках, компания смогла оптимально скомпоновать товары на паллетах, поступающих из распределительных центров. Это обеспечило надлежащее заполнение полок с минимальным количеством паллет, что значительно улучшило логистические процессы и снизило затраты на их выполнение.

Цифровые двойники позволяют моделировать и анализировать различные сценарии, что способствует улучшению планирования и контроля, выявлению узких мест и оптимизации ресурсов. Эти технологии помогают компаниям более эффективно управлять запасами и своевременно реагировать на изменения спроса и предложения, что в конечном итоге снижает затраты и повышает общую эффективность бизнеса.

***Степень разработанности темы исследования.*** Большинство исследований по совершенствованию организации транспортных систем направлены в основном на выбор оптимальных маршрутов, повышение эффективности управления логистическими процессами, планирование перевозок. В то же время, управление логистикой транспортных систем с использованием цифровых двойников, в которых эффективность управления определяется комплексным подходом, охватывающим все аспекты процесса - от планирования до реализации и мониторинга перевозок, является слабо проработанным вопросом.

В частности, исследования касаются либо одного из участников процесса (перевозчика, логистического оператора или предприятия, использующего транспортные средства), либо методам, основанным на опыте прошлой работы, что не позволяет оперативно и эффективно управлять современным транспортно-складским комплексом.

Таким образом, тема диссертации, связанная с разработкой и внедрением цифровых двойников для транспортно-складских комплексов, является малоизученной и требует как методической, так и экспериментальной проработки. Данный подход позволит значительно повысить оперативность, адаптивность и эффективность управления логистикой, что отвечает текущим требованиям и тенденциям рынка.

**Объектом** исследования является транспортно-складская система интеллектуальная система управления транспортными процессами.

**Предметом** – оперативное планирование помашинных отправок в междугороднем сообщении в реальном масштабе времени.

**Целью исследования** является создание эталонного плана работы транспорта в сложной интеллектуальной логистической системе, включающей в себя использование беспилотных транспортных средств и автоматизированных складов, что позволяет повысить эффективность планирования и управления транспортно-складскими комплексами.

Для достижения цели были поставлены и решены **задачи**:

- 1) проведение анализа современной теории и практики в области применения цифровых двойников транспортной системы;
- 2) изучение методов и методик разработки цифровых двойников транспортной системы;
- 3) разработка алгоритма методики операционного планирования помашинных отправок и математической модели алгоритма методики;
- 4) подготовка алгоритма методики для его интеграции в программное обеспечение (ПО) на языке C++.

**Методы и модели исследования.** В исследовании использовались методы геопространственного и агентно-ориентированного моделирования для создания точных карт и анализа взаимодействия элементов транспортной системы. Методы анализа данных помогли обработать большие объемы информации и выявить

оптимальные решения. Симуляция и моделирование позволили воспроизвести реальные условия и проверить различные сценарии без риска. Комбинированный подход, объединяющий эти методы, обеспечил точные и надежные результаты.

**Научная новизна** заключается в разработке и внедрении алгоритма операционного планирования помашинных отправок, который обеспечивает формирование эталонных планов работы транспортных систем с использованием цифровых двойников.

**Теоретическая и практическая значимость.** Теоретическая значимость работы заключается в исследовании и уточнении положений теории отечественных и зарубежных авторов в области цифровых двойников транспортных систем, мультиагентного моделирования и алгоритмов роевого интеллекта. Работа дополняет существующие теории новыми данными о моделировании и оптимизации логистических процессов, учитывая современные технологии и подходы, что позволяет расширить понимание взаимодействия компонентов транспортной системы и методов управления ею, включая оптимизацию маршрутов и повышение эффективности перевозок.

Практическая значимость работы состоит в разработке и апробации алгоритма методики, которая имеет прикладной характер. Разработанный алгоритм позволяет существенно улучшить оперативное управление транспортными системами, повысить точность и скорость логистических операций, а также оптимизировать использование ресурсов. Данная разработка может быть внедрена в транспортные компании для повышения эффективности их работы, а также использована в обучении специалистов в области логистики и управления транспортом.

***Положения, выносимые на защиту:***

1) разработка и представление алгоритма методики операционного планирования помашинных отправок, позволяющего оптимизировать процесс управления грузоперевозками в междугороднем сообщении, а также математической модели алгоритма;

2) апробация алгоритма путем публикации в научных журналах, индексируемых в Web Of Science и Scopus;

3) перенос алгоритма на язык программирования C++ для дальнейшей интеграции в программное обеспечение, предназначенное для управления транспортными системами.

**Область исследований** соответствует п. 7 «Развитие технических средств и систем управления, цифровизация управления транспортными технологическими процессами» паспорта научной специальности 2.9.4 «Управление процессами перевозок».

**Степень достоверности** результатов проведенных исследований обеспечивается использованием апробированных научных методов исследования. Достоверность исходных данных подтверждается апробацией при обсуждении результатов на научных конференциях и при выполнении научно-исследовательских работ. В рамках исследования использовались методы алгоритмизации, моделирования и автоматизации логистических процессов, что позволяет утверждать о высокой степени достоверности полученных результатов.

**Апробация результатов.** Основные положения исследований были обсуждены и одобрены на ряде научно-практических конференций, среди которых: Международная научно-практическая конференция «Актуальные вопросы современной науки глазами молодых исследователей», г. Омск, 28–29 апреля 2021 года.; Всероссийская научно-техническая конференция «Автомобилестроение: проектирование, конструирование, расчет и технологии ремонта и производства», г. Ижевск, 29–30 апреля 2021 года.; XIII Международная конференция по транспортной инфраструктуре: развитие территорий и устойчивость (TITDS-XIII 2022), Иркутск-Красноярск, 26–28 октября 2022 года.; XIV Международная научная конференция TITDS-XIV-2023: транспортная инфраструктура для устойчивого развития территорий, 30 октября 2023, г. Бухара, Узбекистан.

*Публикации по работе.* По материалам исследования опубликованы 6 печатных работ, из них 4 статей, входящих в Российский индекс научного цитирования РИНЦ, 2 статьи в изданиях из перечня Scopus и Web Of Science, оформлено 4 заявки на гранты, принято участие в 2 акселераторах.



## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

*Во введении* раскрыта актуальность темы диссертационного исследования, отражающаяся в современных требованиях к высокой эффективности логистических операций. Выдвинуты цель и задачи научного исследования, изложены теоретическая и практическая значимость работы, представлены объект и предмет исследования. Обосновывается научная новизна работы и выдвигаются положения, выносимые на защиту.

*В первой главе* рассмотрены теоретические основы и практические аспекты применения современных методов оптимизации перевозок грузов в логистических системах. Исследование сосредоточено на использовании цифровых двойников, мультиагентного моделирования и алгоритмов роевого интеллекта.

Современные логистические системы и транспортно-логистические системы требуют высокой гибкости и адаптивности. Это обусловлено изменчивыми условиями рынка и необходимостью быстрого реагирования на изменения в спросе и предложении. Одним из ключевых инструментов, позволяющих достичь этой цели, являются цифровые двойники. Цифровой двойник представляет собой виртуальную копию физического объекта или процесса, которая используется для моделирования и анализа. В логистике цифровые двойники позволяют симулировать транспортные процессы, анализировать различные сценарии и оптимизировать операции. Исследования, проведенные Ting Yu, Limin Wang, и Xuming Han, показывают, что использование цифровых двойников в транспортных системах позволяет существенно повысить эффективность управления логистическими операциями.

Методы мультиагентного моделирования (МАС) также играют важную роль в оптимизации логистических процессов. В мультиагентных системах каждый агент представляет собой независимую сущность, которая взаимодействует с другими агентами и окружающей средой. Такие системы позволяют моделировать сложные динамические процессы и находить оптимальные решения. МАС применяется для

координации транспортных средств, планирования маршрутов и управления запасами. Исследования Г. А. Ржевского и П. О. Скобелева демонстрируют, что мультиагентное моделирование может значительно улучшить координацию транспортных операций и повысить общую эффективность логистической системы.

Алгоритмы роевого интеллекта, такие как алгоритмы муравьиной колонии и частицы роя, предоставляют мощные инструменты для решения задач маршрутизации и оптимизации транспортных потоков. Эти алгоритмы имитируют поведение социальных насекомых, таких как муравьи и пчелы, которые эффективно решают задачи поиска пути и распределения ресурсов. Например, алгоритм муравьиной колонии используется для решения задач коммивояжера и оптимизации маршрутов доставки. Работы А. А. Зайцева и В. В. Курейчика показывают, что алгоритмы роевого интеллекта позволяют находить эффективные решения в сложных и динамичных средах, что особенно важно для логистических систем с высоким уровнем неопределенности.

Для моделирования цифровых двойников используется математический аппарат, включающий методы моделирования и оптимизации. Среди важнейших методов — это агентно-ориентированное моделирование, при котором каждый агент представляет собой отдельный элемент, такой как транспортное средство или склад. Эти модели позволяют проводить анализ всей информации о работе системы, настраивать ее параметры так, чтобы достичь оптимального результата. Из анализа современной теории, методов, технических решений ясно, что использование цифровых моделей транспортных систем, мультиагентного моделирования в связке с применением алгоритмов роевого интеллекта значительно улучшает координацию логистических процессов, что подтверждают современные исследования.

*Во второй главе* описаны задачи исследования и обоснование выбора инструментов, необходимых для достижения поставленных целей.

По определению профессора Мичиганского университета Майкла Гривса, цифровой двойник – это обучаемая система, состоящая из комплекса математических

моделей разного уровня сложности, уточняемая по результатам натуральных экспериментов, позволяющая получить первый натуральный образец изделия, соответствующий требованиям технического задания, а также предсказывающая его поведение на всем жизненном цикле.

Одним из ключевых инструментов является Matlab, который предоставляет широкие возможности для математического и симуляционного моделирования. С его помощью можно разрабатывать и тестировать различные модели и алгоритмы, изучая их производительность в различных условиях.

Другой важный инструмент - это AnyLogic, который используется для моделирования МАС и позволяет исследовать взаимодействие различных элементов логистической сети, таких как транспортные средства, склады и точки доставки, и анализировать их поведение в реальных условиях. Мультиагентное моделирование помогает выявить узкие места в логистических процессах и разработать стратегии для их устранения.

Кроме того, в исследовании широко используются Excel и Tableau для сбора, обработки и визуализации данных. Excel оборудован эффективными функциями анализа данных, которые помогают анализировать процессы транспортировки с большой степенью детализации и выявлять проблемные области. Tableau используется для создания интерактивных отчетов и визуализации данных, что упрощает процесс анализа и принятия решений на основе полученных данных.

*В третьей главе* исследование сосредоточено на разработке и описании алгоритма операционного планирования помашинных отправок в междугороднем сообщении. Алгоритм представляет собой основной компонент, необходимый для разработки управляющих систем транспортными процессами с целью улучшения логистических операций. В основном, цель алгоритма – обеспечить эффективное планирование и выполнение перевозок, принимая во внимание различные факторы, влияющие на транспортные процессы.

Далее представлен разработанный алгоритм:

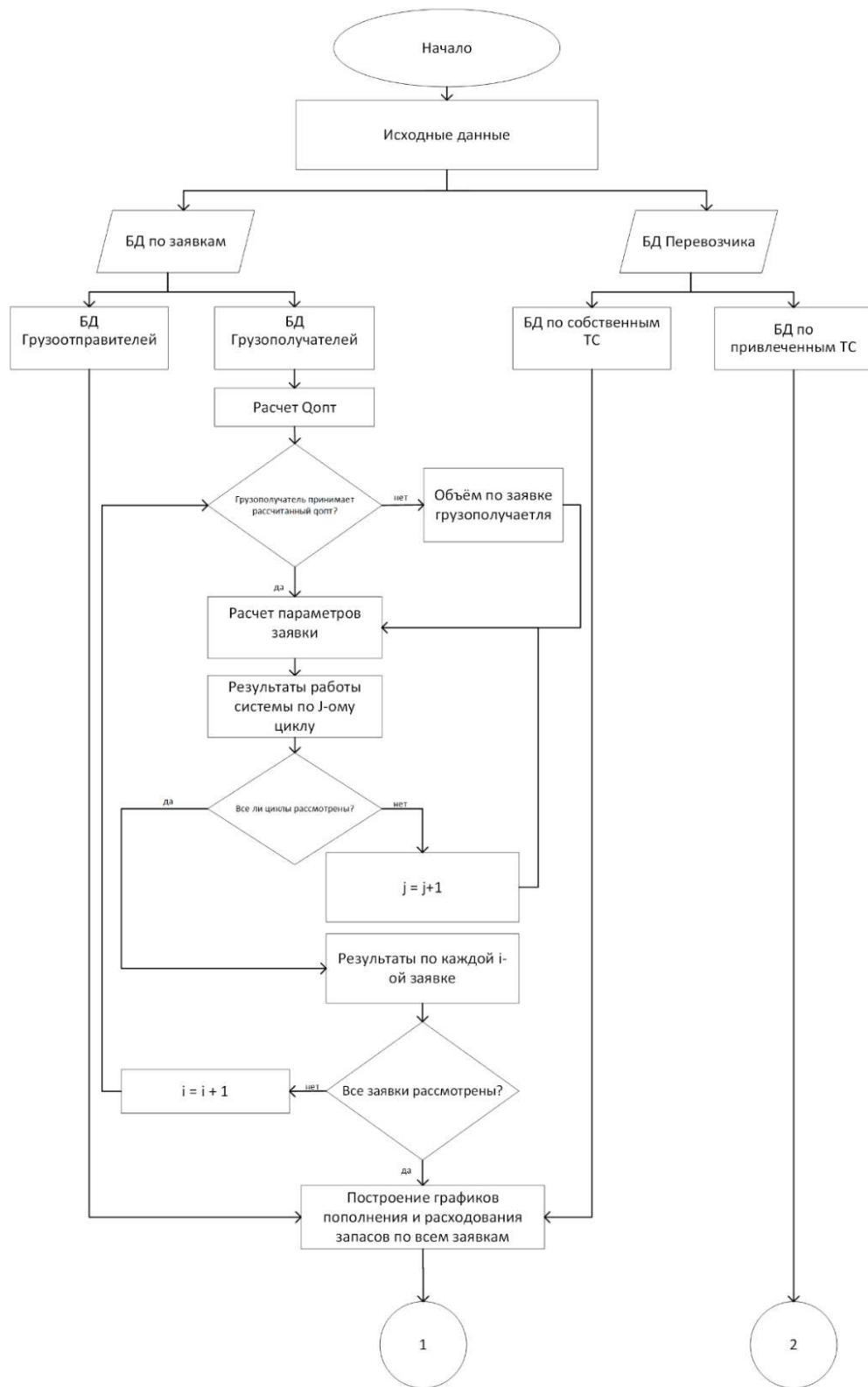


Рисунок 1 – Алгоритм операционного планирования помашинных отправок в междугороднем сообщении (ч. 1)

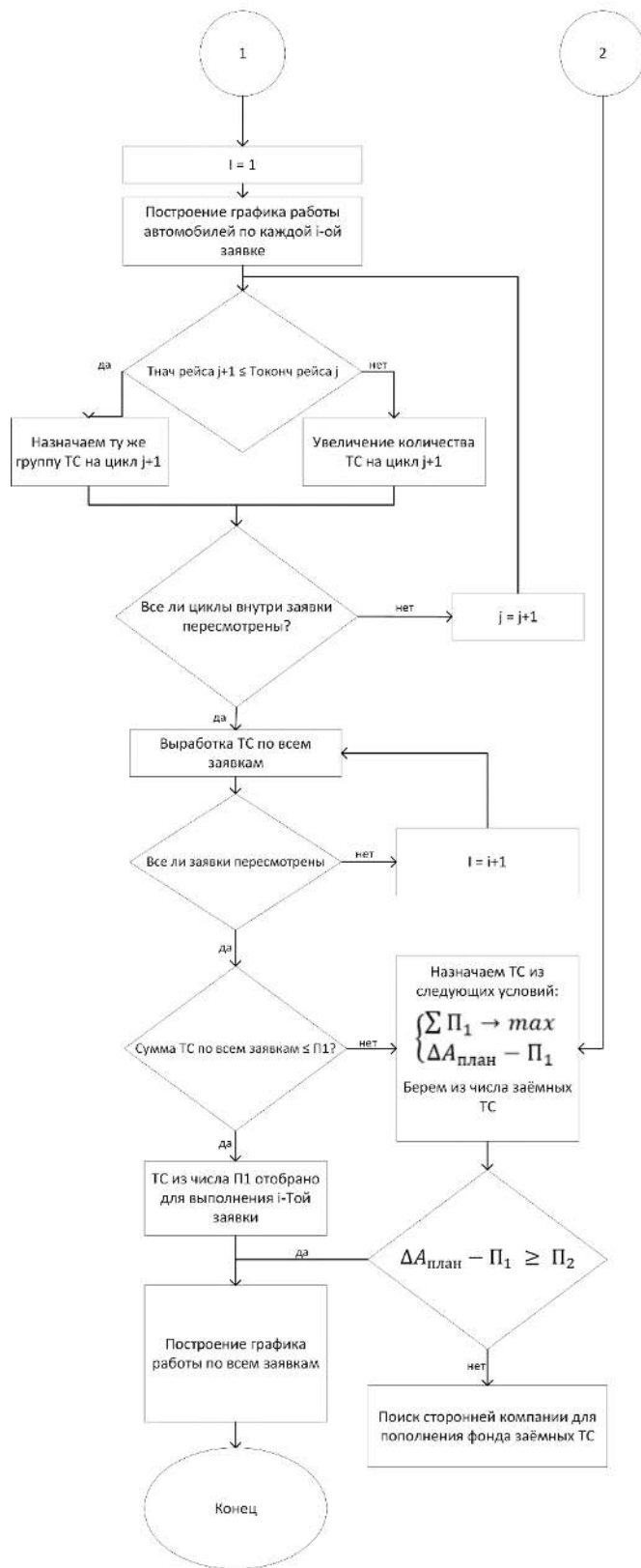


Рисунок 2 – Алгоритм операционного планирования помашинных отправок в междугороднем сообщении (ч. 2)

Последовательность работы алгоритма:

1) процесс начинается с получения исходных данных, которые включают базы данных (БД) по заявкам, грузоотправителям, грузополучателям, и транспортным средствам (собственным и привлеченным);

2) на основании данных из БД проводится расчет объема перевезенных грузов ( $Q_{opt}$ ), проверяется, принимает ли грузополучатель рассчитанный объем, если да, то происходит расчет параметров заявки;

3) для каждой заявки ( $i$ ) и каждого цикла ( $j$ ) обрабатываются параметры, и записываются результаты работы системы, после обработки всех циклов и заявок строятся графики пополнения и расходования запасов;

4) строится график работы автомобилей по каждой заявке, проверяется, завершен ли рейс ( $j+1$ ) и совпадает ли он с началом следующего рейса, если да, то назначается та же группа ТС, если нет, увеличивается количество ТС;

5) проводится проверка всех циклов внутри заявки, если все циклы рассмотрены, происходит выработка ТС по всем заявкам, далее, если сумма ТС по всем заявкам равна требуемой ( $P1$ ), транспортные средства из числа  $P1$  отбираются для выполнения заявок;

6) назначаются ТС из числа  $P1$  для выполнения каждой заявки;

7) если собственного фонда ТС недостаточно, осуществляется поиск сторонней компании для пополнения фонда заёмных ТС;

8) после завершения всех операций строится итоговый график работы ТС по всем заявкам, завершая процесс планирования.

Этот алгоритм позволяет оптимально распределять транспортные средства, обеспечивая эффективное выполнение всех заявок грузоотправителей.

Далее рассматривается оптимизационная математическая модель алгоритма операционного планирования, целью которой является минимизация затрат на транспортировку грузов, соблюдая все логистические ограничения и параметры.

Модель включает несколько ключевых элементов:

- 1) переменные, представляющие собой объемы грузов от грузоотправителей;
- 2) затраты на транспортировку грузов между различными пунктами;
- 3) вместимость транспортных средств, используемых для перевозок.

Параметры, такие как временные окна доставки и доступность транспортных средств.

Целевая функция:

$$Z = \sum_{i \in G} \sum_{j \in D} \sum_{k \in T} c_{ij} x_{ijk} \rightarrow \min \quad (1)$$

Основная цель модели заключается в минимизации общих затрат на транспортировку грузов. Это достигается путем оптимизации использования транспортных средств и маршрутов, чтобы сократить затраты на топливо, время в пути и другие связанные с перевозками расходы.

Модель включает несколько важных ограничений, которые обеспечивают её реалистичность и соблюдение всех логистических требований:

1) ограничения по вместимости транспортных средств: все грузы должны быть распределены таким образом, чтобы ни одно транспортное средство не было перегружено;

2) ограничения по объемам груза от каждого отправителя: все грузы от каждого отправителя должны быть доставлены в полном объеме;

3) ограничения по доставке грузов каждому получателю: все потребности каждого получателя должны быть удовлетворены в полном объеме;

4) временные ограничения на доставку: все грузы должны быть доставлены в установленное время, не превышая допустимые временные рамки.

Для полного учета всех аспектов транспортного процесса модель также включает:

1) время на погрузку и разгрузку (это время добавляется к общему времени в пути для каждого транспортного средства);

2) время отдыха водителей (графики движения транспортных средств составляются с учетом необходимого времени отдыха для водителей, чтобы соблюдать правила труда и отдыха).

*В четвертой главе* представлена реализация алгоритма операционного планирования помашинных отправок в междугороднем сообщении на языке программирования C++. Разработка программного обеспечения для транспортной логистики на современном уровне требует не только теоретических знаний, но и практических навыков в программировании. В предыдущих главах были рассмотрены теоретические аспекты и алгоритмические решения задачи, что позволило сформировать основу для программной реализации.

Главной целью разработки алгоритма является создание инструмента, который обеспечит эффективное планирование и выполнение перевозок, учитывая различные факторы, влияющие на транспортные процессы.

Для реализации алгоритма используются несколько структур данных, каждая из которых хранит определенную информацию о транспортных средствах, грузах и грузополучателях:

1) *Transport*: Структура, содержащая информацию о транспортных средствах, включая их идентификатор, вместимость, текущую загрузку, тип (собственное или арендованное), рабочие и часы отдыха, а также график работы;

2) *Shipment*: Структура, содержащая информацию о грузе, включая его идентификатор и количество;

3) *Receiver*: Структура, содержащая информацию о грузополучателях, включая их идентификатор и потребность в грузах.

Алгоритм операционного планирования состоит из нескольких этапов, начиная с инициализации данных и заканчивая выводом графика работы транспортных средств.

Основные шаги алгоритма включают:



1) инициализация: задание начального времени работы и инициализация данных о транспортных средствах, грузах и грузополучателях;

2) назначение транспортных средств: цикл, который проходит по каждому грузу и назначает транспортные средства для его перевозки. при назначении учитываются текущая загрузка транспортного средства, рабочие часы и обеденные перерывы;

3) оптимизация погрузки и разгрузки: учёт времени на погрузку и разгрузку, а также необходимости в отдыхе для водителей. временные окна для работы и перерывов также учитываются;

4) формирование графика: запись графика работы транспортных средств, включая время начала и окончания каждой поездки, а также время на перерывы и отдых.

Программа написана на языке C++ и включает в себя следующие компоненты:

1) структуры данных: описание структур `transport`, `shipment` и `receiver`;

2) функция `assigntransport`: функция, которая назначает транспортные средства для выполнения отправок, оптимизируя их загрузку и маршруты;

3) функция `printschedule`: функция, которая выводит на экран график работы каждого транспортного средства.

Реализация алгоритма на языке C++ позволяет автоматизировать процесс планирования и оптимизации перевозок. Программный подход обеспечивает высокую производительность и гибкость, что особенно важно при работе с большими объемами данных и сложными транспортными сетями. Программа может быть интегрирована с системами мониторинга и управления транспортными процессами, что позволяет оперативно реагировать на изменения и обеспечивать высокую эффективность логистических операций.

## Список работ, опубликованных по теме диссертации

1) Multi-agent coordination systems in logistics: theoretical analysis and application possibilities // Актуальные вопросы современной науки глазами молодых исследователей : Сборник статей VI Международной научно-практической конференции, Омск, 28–29 апреля 2021 года. – Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2021. – Р. 321-324. – EDN DQCEYV. [Электронный ресурс] / <https://clck.ru/3BEM6G>

2) Use of software for simulation and mathematical modeling of transport processes // Актуальные вопросы современной науки глазами молодых исследователей: Сборник статей VI Международной научно-практической конференции, Омск, 28–29 апреля 2021 года. – Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2021. – Р. 325-329. – EDN GBOXWW. [Электронный ресурс] / <https://clck.ru/3BEM7e>

3) Swarm intelligence as a perspective method for the development of driverless cargo transportation // Актуальные вопросы современной науки глазами молодых исследователей : Сборник статей VI Международной научно-практической конференции, Омск, 28–29 апреля 2021 года. – Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2021. – Р. 330-333. – EDN YNVUUJ. [Электронный ресурс] / [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_46553714\\_74324624.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_46553714_74324624.pdf)

4) Новокшенов, Н. А. Особенности дискретно-событийного моделирования с использованием программных комплексов Arena и Anylogic / Н. А. Новокшенов, С. М. Мочалин // Автомобилестроение: проектирование, конструирование, расчет и технологии ремонта и производства : Материалы V Всероссийской научно-практической конференции, Ижевск, 29–30 апреля 2021 года. – Ижевск: Издательство УИР ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2021. – С. 298-304. – EDN TJNLBU. [Электронный ресурс] / [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_47070024\\_52261330.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_47070024_52261330.pdf)

5) Investigating the Impact of Transport Performance Characteristics on the Transport and Warehouse System Efficiency / N. A. Novokshonov, S. M. Mochalin, I. A. Eychler [et al.] // Transportation Research Procedia : Collection of materials XIII International Conference on Transport Infrastructure: Territory Development and Sustainability, Irkutsk-Krasnoyarsk, 26–28 октября 2022 года. – Krasnoyarsk: Elsevier B.V., 2023. – P. 138-145. – DOI 10.1016/j.trpro.2023.02.018. – EDN VBJTQW. [Электронный ресурс] / <https://clck.ru/3BEMAn>

6) Algorithm for operational planning of transportation by machine shipments in long-distance traffic / Nikita Novokshonov, Sergey Mochalin, Roksana Shipitsyna, Nikolai Ponomarev, Irina Pogulayeva // E3S Web Conf. 471 05014 (2024) DOI: 10.1051/e3sconf/202447105014. [Электронный ресурс] / <https://clck.ru/3BEMCX>