

На правах рукописи



ЖЕСТКОВА СВЕТЛАНА АНАТОЛЬЕВНА

**УПРАВЛЕНИЕ ЦЕПЯМИ ПОСТАВОК ЧЕРЕЗ
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР**

Специальность 2.9.4. Управление процессами перевозок

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Орёл – 2025

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева».

Научный консультант: **Новиков Александр Николаевич**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Белокуров Владимир Петрович**
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»,
профессор кафедры «Организация перевозок и безопасность движения»

Покровская Оксана Дмитриевна
доктор технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», заведующая кафедрой «Управление эксплуатационной работой»

Филиппова Надежда Анатольевна
доктор технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»,
профессор кафедры «Автомобильные перевозки»

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «**Оренбургский государственный университет**»

Защита состоится «19» декабря 2025г. в 11:00 на заседании объединенного диссертационного совета 99.2.032.03 на базе ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева» по адресу: г. Орёл, ул. Московская, д.77, ауд. 426.

С диссертацией можно ознакомиться на официальном сайте ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева» (<http://oreluniver.ru>) и в фундаментальной библиотеке по адресу: 302028, г. Орёл, пл. Каменская, д.1.

Автореферат разослан «___» _____ 2025 г. Объявление о защите диссертации и автореферат диссертации размещены в сети Интернет на официальном сайте ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева» (<http://oreluniver.ru>) и на официальном сайте Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (<https://vak.gisnauka.ru/adverts-list/advert>).

Отзывы на автореферат, заверенные печатью организации, в двух экземплярах просим направлять в диссертационный совет по адресу:

302030, г. Орёл, ул. Московская, д.77, тел. +79606476660,

email: srmostu@mail.ru.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
канд. техн. наук, доцент



Васильева В.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В управлении цепями поставок через распределительный центр основное место занимает расположение логистических мощностей центра и наиболее рациональные маршруты доставки груза через него.

Несовершенство существующих расчетных моделей и логистического сервиса, отражающих функционирование системы управления цепями поставок через распределительный центр приводит к принятию неоптимальных управленческих и организационных решений. Неоптимальное расположение логистических мощностей центра и нерациональный выбор маршрутов движения приводит к перепробегу автомобилей, увеличению транспортной работы и товарной стоимости груза, что в свою очередь ведет к значительному росту эколого-экономического ущерба от выброса в атмосферу вредных веществ с отработанных газов автомобилей.

Актуальным становится поиск новых решений управления цепями поставок через распределительный центр. А научная и практическая значимость исследований в данной области предопределяет выбор темы диссертационной работы.

Степень разработанности темы. Значительный вклад в решение основных проблем развития транспортной системы страны, создание и формирование современных методов организации и управления перевозками, развитие транспортной логистики внесли: Беллман Р., Белокуров В.П., Вельможин А.В., Витвицкий Е.Е., Воркут А.И., Герами В.Д., Гудков В.А., Горев А. Э., Зарецкий Л.С., Зедгенизов А.В., Зырянов В.В., Житков В.А., Контарович Л.В., Корчагин В.А., Кожин А.П., Курганов В.М., Ларин О.Н., Лейдерман С.Р., Лукинский В. С., Ляпин С.А., Миротин Л.Б., Мочалин С.М., Николин В.И., Новиков А.Н., Панов С.А., Покровская О.Д., Сергеев В. И., Сигал И.Х., А., Трофимова Л.С., Филиппова Н.А., Якунина Н.В., Якунин Н.Н., Clarka J., Kofmana G., Little D., Millera, C.E., Serjvika R., Taillarda, E.D., Thompsona P. M., и другие российские, а также иностранные ученые.

Вместе с тем вопросы управления цепями поставок через распределительный центр остаются недостаточно проработанными. Учитывая значимость данной отрасли для экономики Российской Федерации, крайне важно рассмотреть возможность внедрения наиболее передовых научно-методологических решений и их обоснование.

Результаты диссертационной работы получены при выполнении НИР и по заказам коммерческих структур: 1) Соглашение с АО «Тандер» г. Краснодар (торговая марка «Магнит») от 05.06.2019; 2) Написание ПО «Logistics» (программа формирует маршруты, выбирает грузовые терминалы и транспортные средства, определяет производительность подвижного состава) Свидетельство гос. регистрации ПО для ЭВМ №2023669755 от 14.09.2023; 3) Разработка ПО «Transportation» (программа для логистов по грузоперевозкам, позволяющая планировать и формировать пути доставки грузов), Лицензионный договор №01 от 12.01.2024 с ООО «АЛЬТАИР», г. Пенза; 4) Разработка ПО

«Distribution Center» (программа помогает составлять оптимальные маршруты с учетом требований грузоотправителя и грузополучателя, определять тариф в зависимости от выбранного маршрута и пр.), Свид-во гос. регистрации ПО для ЭВМ №2024614147 от 14.09.2024; 5) Лицензионный договор № 6 от 1.04.2025 с ИП Молин О.В.; 6) Свид-во гос. регистрации ПО для ЭВМ №2025661413 от 06.05.2025;

Достижения соискателя представлены в рамках «Ежегодной региональной выставки научных достижений ученых пензенских предприятий и высших учебных заведений» в 2024 – 2025 годах.

Цель исследования – повышение эффективности управления цепями поставок партионных грузов на основе определения рациональных маршрутов доставки и местоположения распределительного центра.

Для достижения поставленной цели определены следующие **задачи исследования**:

1. Провести анализ существующих методов и моделей определения рациональных маршрутов доставки и местоположения распределительного центра при управлении цепями поставок партионных грузов.

2. Разработать метод маршрутизации транспорта при доставке груза с распределительного центра методом «фиктивных узлов и ветвей» с учетом наличия обратного груза и ограничений по количеству пунктов на маршруте и грузоподъемности подвижного состава.

3. Усовершенствовать математическую модель определения местоположения распределительного центра на основе минимизации транспортной работы с учетом кривизны траектории передвижения автомобиля.

4. Усовершенствовать математическую модель определения местоположения распределительного центра на основе минимизации времени перевозочного процесса с учетом кривизны траектории передвижения автомобиля.

5. Разработать алгоритмы и программное обеспечение управления цепями поставок в распределительном центре на основе полученных методов и математических моделей.

6. Провести экспериментальные исследования по определению основных технико-эксплуатационных показателей процесса доставки грузов при выборе местоположения распределительного центра по критериям: «транспортная работа» и «время».

7. Установить степень зависимости выработки и транспортной работы подвижного состава при доставке груза с распределительного центра от длины маршрута, времени и массы груза в городском и междугородном сообщении.

8. Определить экономическую и экологическую целесообразность внедрения разработанного комплекса математических моделей, методов и программного обеспечения управления цепями поставок в распределительном центре на примере компаний ПАО «Магнит», ООО «Караван у дома», ООО «Скидкино» и торговых сетей компании X5 Group.

Объект исследования – распределительный центр.

Предмет исследования – процесс организации и управления цепями

поставок через распределительный центр.

Рабочая гипотеза – определение местоположения распределительного центра и выбор рациональных маршрутов доставки грузов позволит повысить эффективность и экономическую целесообразность транспортных процессов распределительного центра.

Научная новизна исследования:

1. Разработан метод маршрутизации транспорта с учетом ограничений по количеству пунктов на маршруте и массе отправляемого груза, позволяющий получить точное решение на основе ввода внутренних и внешних фиктивных узлов.

2. Усовершенствованы математические модели аналитического определения координат местоположения распределительного центра по критериям «минимизация транспортной работы» и «время», учитывающие полную работу и время движения подвижного состава в прямом и обратном направлениях с формированием рациональных маршрутов и учетом кривизны траектории движения автомобиля с помощью аппроксимации.

3. Разработан точный метод маршрутизации транспорта при наличии обратного груза и ограничений по массе доставляемого груза и количеству пунктов на маршруте, учитывающий рациональные маршруты с основным грузом и совмещенные маршруты с использованием функции выгоды.

4. Определена степень зависимости транспортной работы и выработки подвижного состава при доставке груза с распределительного центра по критерию «минимизация времени» от длины маршрута, времени и массы доставляемого груза.

5. Определена степень зависимости транспортной работы и выработки подвижного состава при доставке груза с распределительного центра по критерию «минимизация транспортной работы» от длины маршрута, времени и массы доставляемого груза.

Методология и методы исследования:

Диссертационная работа базируется на известных научных трудах ведущих отечественных и зарубежных ученых в области организации перевозочных услуг, управления цепями поставок, определения местоположения распределительного центра, выбора рациональных схем доставки груза при решении задачи маршрутизации.

В ходе исследования применялись методы вычислительной математики, математической статистики, теории графов, методы системного анализа: натурное обследование, моделирование данных, численный эксперимент.

Область исследования соответствует следующим пунктам паспорта научной специальности 2.9.4. «Управление процессами перевозок»:

- Пункт 2. Технология транспортных процессов, моделирование и совершенствование транспортных технологических процессов.
- Пункт 7. Развитие технических средств и систем управления, цифровизация управления транспортными технологическими процессами.
- Пункт 16. Организация грузовой и коммерческой работы на транспорте. Транспортное экспедирование и сервис.

Теоретическая значимость исследования. Получены новые научные результаты, представленные в виде комплекса моделей, методического инструментария и программно-математического обеспечения к математическим моделям, имеющие научно обоснованные технические и технологические решения, внедрение которых имеет существенное значение в управлении процессами перевозок и вносит значительный вклад в развитие транспортной отрасли страны. Разработанные методологические основы управления цепями поставок через распределительный центр прошли теоретико-экспериментальную апробацию, которые позволили сократить время и затраты на доставку груза, повысить конкурентоспособность компаний.

Практическая значимость исследования состоит в разработке, апробации и внедрении новых научно-методологических решений в компаниях, которые осуществляют оптово-розничную торговлю продуктами питания и непродовольственными товарами. Представленные в исследовании математические модели, методы и методики позволяют повысить процесс организации и управления цепями поставок через распределительный центр, учитывая спрос потребителя на нужном логистическом уровне, повысить потребительскую стоимость товара.

Результаты работы могут быть использованы в деятельности распределительных центров, научно-исследовательских институтов, в учебном процессе вузов при подготовке специалистов, бакалавров, магистров и аспирантов по автотранспортным профилям, направлениям подготовки и научным специальностям.

Диссертация выполнена в рамках комплексного плана научно-исследовательских работ кафедры сервиса и ремонта машин ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева» по научной проблематике «Организация транспортных услуг и безопасность транспортного процесса».

Положения, выносимые на защиту:

1. Метод «фиктивных узлов и ветвей» (ФУВ) для маршрутизации транспорта с учетом ограничений по количеству пунктов на маршруте и грузоподъемности подвижного состава.

2. Метод «фиктивных узлов и ветвей» для маршрутизации транспорта с учетом наличия обратного груза и ограничений по количеству пунктов на маршруте и грузоподъемности подвижного состава.

3. Усовершенствованная математическая модель определения местоположения распределительного центра по критерию «транспортная работа» с учетом кривизны движения автомобиля методом аппроксимации.

4. Усовершенствованная математическая модель определения местоположения распределительного центра по критерию «время» с учетом кривизны движения автомобиля методом аппроксимации.

5. Алгоритмы и программное обеспечение управления цепями поставок разработаны на основе комплекса математических моделей и методов, применяемых для определения местоположения распределительного центра и рациональных маршрутов.

6. Показатели работы подвижного состава осуществляющего доставку

груза с распределительного центра, по критериям «транспортная работа» и «время».

7. Уравнения регрессионной зависимости транспортной работы и выработки подвижного состава от длины маршрута, времени и массы перевозимого груза.

Достоверность научных положений, рекомендаций и выводов, представленных в диссертационном исследовании, подтверждается апробацией, получением положительных результатов внедрения предложенных решений.

Результаты диссертационной работы представлены в виде методик расчета при моделировании и принятии наиболее эффективных управленческих решений по определению рациональных схем цепи поставок с учетом ограничений на примере торговых сетей: «Магнит» (Пензенская область), «Перекресток» (Московская область), «Скидкино» (Пензенская область), «Караван 24» (Пензенская область). Использованы в проектировании при определении местоположения распределительных центров для компании ПАО «Магнит».

Результаты работы используются при подготовке студентов по направлениям «Технология транспортных процессов» (23.03.01, 23.04.01), «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» (23.03.01, 24.04.03), «Наземные транспортно-технологические средства» (23.05.01) как в Пензенском государственном университете архитектуры и строительства, так и Орловском государственном университете имени И.С. Тургенева.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационного исследования были представлены на конференциях:

– *международных*: «Прогрессивные технологии в транспортных системах» (Оренбург 2013, 2019, 2024), «Проблемы автомобильно-дорожного комплекса России: Организация автомобильных перевозок и безопасность дорожного движения» (Пенза 2013, 2014), «Новые достижения по приоритетным направлениям науки и техники» (Пенза, 2015, 2016), V International Scientific Conference «Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development» (Белгород, 2021г.), International Scientific and Practical Conference «Theoretical and Applied Aspects of Modern Science» (Белгород, 2014г.), International Scientific and Practical Conference «Scientific Industry of the European Continent» (Прага, 2014), International Scientific and Practical Conference «Innovative developments for the development of the national economy» (Прага 2014), «Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств: организация автомобильных перевозок и безопасность дорожного движения» (Пенза, 2016), «Socio-cultural factors of consolidation of modern Russian society» (Пенза, 2019), VII, VIII, IX International Scientific and Practical Conference «Information Technologies and Management for Transport Systems» (Орел, 2021, 2022, 2023, 2024), «Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте» (Липецк, 2024), «Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств: эксплуатация и развитие автомобильного транспорта» (Пенза, 2014, 2017, 2020, 2024), «83 научно-методическая и научно-исследовательская конференция МАДИ» (Москва, 2025).

– *всероссийских (с международным участием):* «Актуальные проблемы автотранспортного комплекса» (Самара 2018).

– *всероссийских:* «Проблемы качества и эксплуатации транспортных средств» (Пенза, 2018, 2019), «Перспективы развития технологий транспортных процессов» (Воронеж, 2022), «Современные проблемы и направления развития автомобильно-дорожного комплекса Российской Федерации» (Пенза, 2017, 2024).

Личный вклад автора. Автором лично сформулированы все основные идеи, положенные в основу системы принятия решения в части управления цепями поставок через распределительный центр, цели и задачи работы, выбраны основные направления теоретических и экспериментальных исследований, предложены математические модели, разработаны методы их реализации, совокупность методик, отображающих научно-технические основы повышения управления процессами перевозок.

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 66 научных работах, из них 13 в научных изданиях, включенных в перечень рецензируемых и рекомендуемых ВАК РФ для опубликования основных научных результатов диссертаций, в 1 монографии, 4 свидетельствах регистрации программы для ЭВМ. В прочих изданиях опубликовано 48 работ.

Структура и объём диссертации. Работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, состоящего из 133 источников и 7 приложений. Содержит 246 страниц машинописного текста, 138 рисунков и 106 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность темы диссертационной работы, определен предмет исследования, представлена научная новизна, перечислены положения, которые выносятся на защиту, проведен анализ существующих исследований по тематике работы.

В первой главе «Анализ современного состояния теории и практики перевозок мелкопартионных грузов автомобильным транспортом» дан анализ современного состояния теории и практики доставки партионных грузов, к которым можно отнести грузы, доставляемые автомобилями через распределительные центры в торговые точки.

Проведённый анализ показал, что в настоящее время для описания работы автомобильных перевозок используются две модели – классическая (детерминированная) и дискретная.

Первая модель базируется на выработке транспортной продукции в виде непрерывной функции от времени в наряде. Несоответствие рассчитанных показателей и фактических в данной модели работы по перевозке грузов достигает 30%.

Вторая модель отражает действительный характер транспортной работы, связанный с остановками для погрузочно-разгрузочных работ и оформлением документов. Для математического описания особенностей транспортного процесса доставки груза в торговые точки с распределительного центра следует

использовать дискретную модель.

При управлении цепями поставок через распределительный центр особое место занимает вопрос о местоположении центра, так как до 50% издержек приходится на процесс перевозки грузов. Операции и процессы, связанные с доставкой груза, играют решающую роль в эффективности всей транспортно-логистической системы.

Современные теоретические положения и математические модели не совсем точно отражают процесс управления цепями поставок через распределительный центр.

Для управления цепями поставок через распределительный центр необходимо использовать аналитические методы расчета. Доставляемый груз является часто скоропортящимся, и к его транспортировке предъявляются повышенные требования.

Вторая глава «Теоретические основы маршрутизации транспорта доставки груза автомобильным транспортом» посвящена разработке научно-методических основ маршрутизации транспорта в управлении цепями поставок через распределительный центр автомобильным транспортом.

Наибольшее применение при решении задачи маршрутизации транспорта получил метод ветвей и границ (ВиГ), предложенный Дж. Литлом, К. Мурти, К. Керолом и Д. Суини. Поэтому он был взят за основу разработки оптимальных моделей доставки груза в торговые точки по кольцевым и маятниковым маршрутам.

В научной литературе метод ветвей и границ (ВиГ) считается одним из наиболее точных методов оптимизации кольцевых маршрутов в управлении цепями поставок.

Проведенные исследования по доставке груза через распределительный центр в торговую сеть показали, что общепринятая методика маршрутизации транспорта может приводить к нескольким видам вырождения решения.

Первое вырождение наблюдается, когда методика маршрутизации транспорта не дает решение, хотя замкнутый контур существует. Причиной такого вырождения является гипотеза, принятая для оценки ветви, которую необходимо вычеркнуть из матрицы весов. По гипотезе, что в маршрут включается нулевой элемент матрицы t_{ij} , для которого сумма минимальных элементов в i -ой строке и j -ом столбце будет максимальной. При этом за аксиому принимается второе утверждение, что множество гамильтоновых контуров делятся на два подмножества, имеющие также гамильтоновые контуры. На основе этого делается вывод о возможности получения в процессе итерации конечного цикла точного решения задачи.

Приведенные в работе численные примеры показали, что при решении задачи маршрутизации транспорта методом ветвей и границ может произойти зависание узлов транспортного графа и вырождение решения.

Чтобы исключить зависание узла, требуется изменить методику решения задачи и внести в нее дополнительное условие.

Методику маршрутизации транспорта усовершенствованным методом ветвей и границ, позволяющую исключить вырождение решения, можно

представить следующим образом:

- создание исходной матрицы расстояний (табл. 1);

Таблица 1 – Исходная матрица расстояний

№	1	2	3	...	t_{j-1}	t_j
1		t_{12}	t_{13}	...	$t_{1,j-1}$	$t_{1,j}$
2	t_{21}		t_{23}	...	$t_{2,j-1}$	$t_{2,j}$
3	t_{31}	t_{32}		...	$t_{3,j-1}$	$t_{3,j}$
...				...		
t_{i-1}	$t_{i-1,1}$	$t_{i-1,2}$	$t_{i-1,3}$...	$t_{i-1,j-1}$	$t_{i-1,j}$
t_i	t_{i1}	t_{i2}	t_{i3}	...	$t_{i,j-1}$	

– выполнение операции приведения $[N]^{np}$. Для этого необходимо каждой строке матрицы весов $[N]$ найти минимальный элемент z_i и вычесть из всех остальных элементов t_{ij} , расположенных в рассматриваемой строке:

$$t'_{ij} = t_{ij} - z_i, i = 1, 2, 3, \dots, h; \quad (1)$$

– определение минимального элемента в каждом столбце h_j полученной матрицы и вычитание его из всех остальных элементов t'_{ij} , расположенных в рассматриваемом столбце:

$$t''_{ij} = t'_{ij} - h_j, j = 1, 2, 3, \dots, u; \quad (2)$$

– определение оценочной матрицы $[N]^o$. Для этого необходимо выполнить операцию оценки нулевых элементов; осуществить для каждого нулевого элемента $t'_{ij} = 0$ в матрице $[N]^{np}$ оценку по формуле:

$$H = \min t''_{ik} + \min t''_{sj}, \quad (3)$$

где t''_{ik} – наименьший элемент в строке i ;

t''_{sj} – наименьший элемент в столбце j ;

$k \neq j, s \neq i; k, s = 1, 2, 3, \dots, h$.

Найти пару $k - s$ с максимальной оценкой:

$$H_{ks} = \max H_{ij}, i, j = 1, 2, 3, \dots, h; \quad (4)$$

- переход к новой матрице L_1 .

Для этого необходимо вычеркнуть из $[N]^o$ строку k и столбец s с наибольшей оценкой; поставить блокировку ячейки на пересечении строки s и столбца k , а также ветви, ведущей к заикливлению цепи со звеном $k - s$;

– выполнение процедуры оценки и приведения над матрицей. Это осуществляется до тех пор, пока не останется матрица 2×2 , и вычеркиваемая ветвь не станет очевидна;

– определение номер зависшего узла ζ при вырождении решения. Необходимо установить дугу $\zeta - \omega$ с зависшей вершиной, которая не была

заблокирована или использована. Далее нужно вычеркнуть дугу $\zeta-\omega$, а не ячейку с максимальной оценкой. При этом $\zeta-\omega$ и $\omega-\theta$ должны образовывать склейку;

- выполнение процедуры оценки и приведения над матрицей. Это осуществляется до тех пор, пока не останется матрица 2×2 , и вычеркиваемая ветвь не станет очевидна;

- определение рационального маршрута путем сравнения вариантов всех возможных сочетаний ветвей.

Второе вырождение может возникнуть, когда общепринятая методика не обеспечила бы точное решение задачи. При использовании метода применялись две основные гипотезы: приведение и оценка нулевых элементов в матрице расстояний.

Однако вторая гипотеза, связанная с оценкой нулевого элемента, вызывала сомнение. Оценка была определена как сумма минимальных чисел в строке и в столбце, на пересечении которых она находилась. Оптимальной считалась ветвь, имеющая максимальную оценку. Однако, в общем случае такая оценка носила случайный характер и не могла учитывать все возможные комбинации чисел на последующих шагах.

Чтобы исключить вырождение, требовалось внести в методику дополнительное условие.

Методика маршрутизации транспорта усовершенствованным методом ветвей и границ позволила повысить точность решения задачи, которое можно представить следующим образом:

- создание исходной матрицы и выполнение операции приведения и оценки, как в предыдущей задаче, на исключение вырождения;

- проверка расчета методом ветвей и границ на точность путем вычеркивания дуги в первой оценочной исправленной матрице, где ее оценка на одну ступень ниже максимальной;

- включение в маршрут дугу с максимальной оценкой во второй оценочной матрице, как в классическом методе ветвей и границ. Блокировка ячейки на пересечении строки h и столбца v , а также ветви, ведущей к заикливаннию цепи звеном $k-s$;

- определение рационального маршрута по наименьшей длине путем сравнения вариантов всех возможных сочетаний ветвей найденных классическим методом ветвей и границ.

Дальнейшие исследования показали, что метод ветвей и границ не позволяет точно описать процесс доставки груза в торговые точки для учета повторного их посещения. Следовательно, необходимо разработать новый метод.

Для решения поставленной задачи был разработан метод фиктивных узлов и ветвей (ФУВ). Особенностью его явилась применение внешних и внутренних фиктивных узлов и ветвей.

Внешние фиктивные узлы и ветви заранее были введены в исходный транспортный граф при формировании матрицы. Дополнительные внутренние

фиктивные узлы и ветви появились в процессе решения задачи. Следовательно, представилась возможность снова посетить вычеркнутую ветвь еще несколько раз в случае необходимости, что способствовало уменьшению величины целевой функции.

Маршрутизация транспорта на основе ввода внутренних фиктивных узлов и ветвей методом ФУВ представлена следующим образом:

- создана фиктивная матрица и выполнены операции приведения и оценки, как в задаче вырождения. Далее получены новые фиктивные матрицы Φ_k и Φ_s , путем ввода в L_1 фиктивных узлов k и s ;
- выполнены над полученными матрицами L_1 , Φ_k и Φ_s операции приведения и оценки. Последняя вычеркиваемая ветвь стала очевидной;
- рациональный маршрут установлен по наименьшей длине путем сравнения вариантов всех возможных сочетаний ветвей.

Маршрутизация транспорта методом ФУВ на основе ввода внешних фиктивных узлов была выполнена следующим образом:

- создана исходная матрица расстояний. В ветвь, соединяющую два торговых предприятия, введен внешний фиктивный узел, который соединен с действительными пунктами фиктивными длинами. Длина каждой из них равна половине расстояния между действительными узлами. Действительная связь удалена;
- выполнена итерация, как при вводе внутренних фиктивных узлов. Наибольшее количество вводимых фиктивных узлов должно составлять разницу между количеством пунктов и числом баз:

$$\max \Phi = m - b, \quad (5)$$

где m – количество пунктов на маршрутах,
 b – количество баз.

Прекращение процесса ввода дополнительных внутренних фиктивных узлов при условии уменьшения длины маршрута;

- рациональный маршрут установлен по наименьшему значению целевой функции.

Расчет по разработанному методу произведен по специально разработанной программе Transportation (№ 2023664020), которая позволяет осуществить перебор всех возможных вариантов маршрутов в соответствии с разработанным алгоритмом (Рисунок 1).

Если в процессе расчета получены несколько маршрутов, имеющих одинаковое минимальное значение целевой функции (длина маршрута), то программа выбирает оптимальный маршрут по наименьшей транспортной работе (Рисунок 2), (Приложение Е диссертации).

Для определения эффективности предложенного метода было проведено сравнение оптимальных схем доставки груза с помощью метода ВиГ и ФУВ на основе путевых листов за смену компании ПАО «Магнит» распределительного центра АО «Тандер». Решение задач приведены в приложении диссертации А. Проведенные исследования показали, что в результате обработки путевых листов за смену разными методами экономия по

длине маршрута составила 3% и по времени движения 4% методом ФУВ.

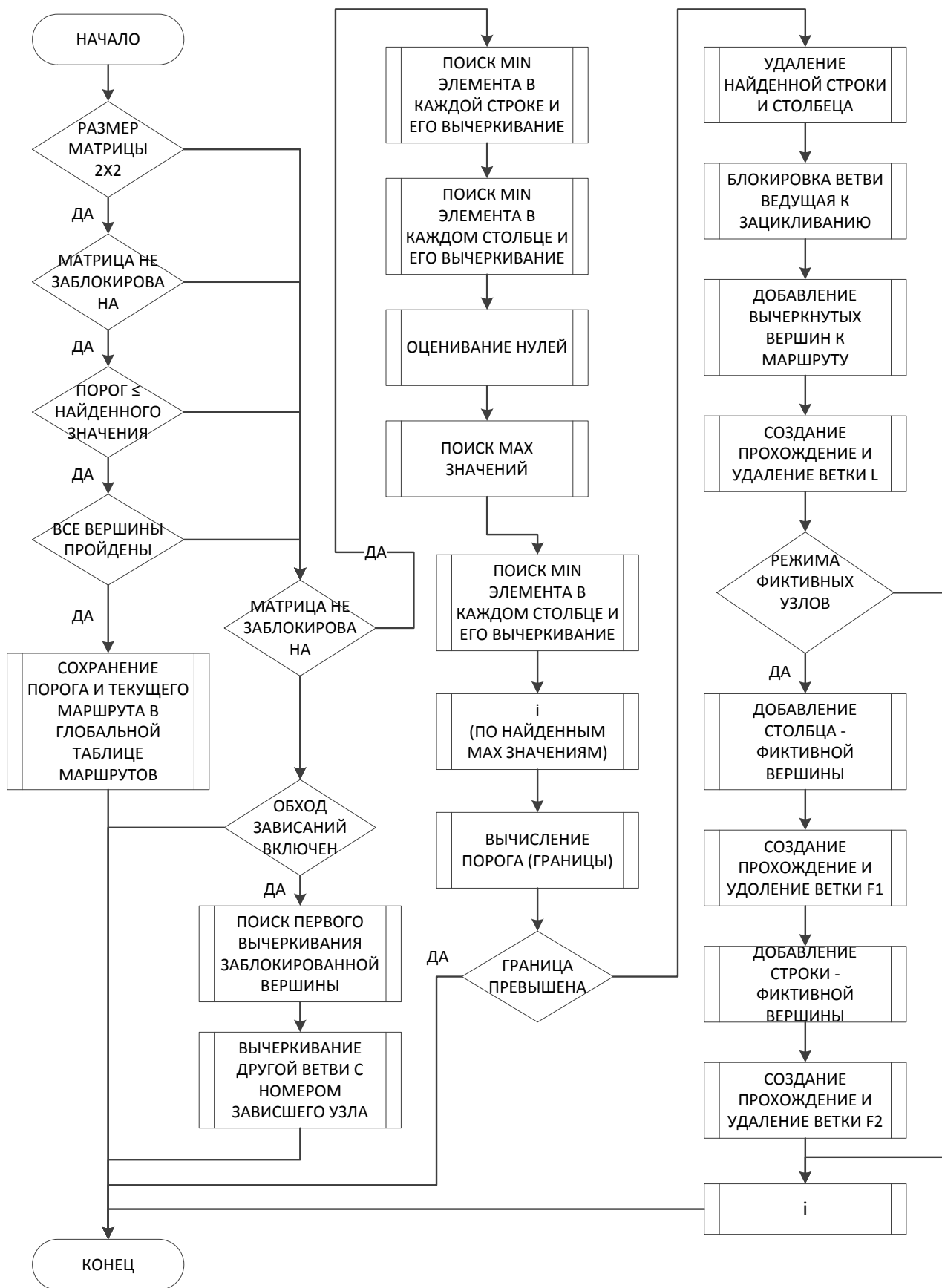


Рисунок 1 – Функциональная схема программы Transportation

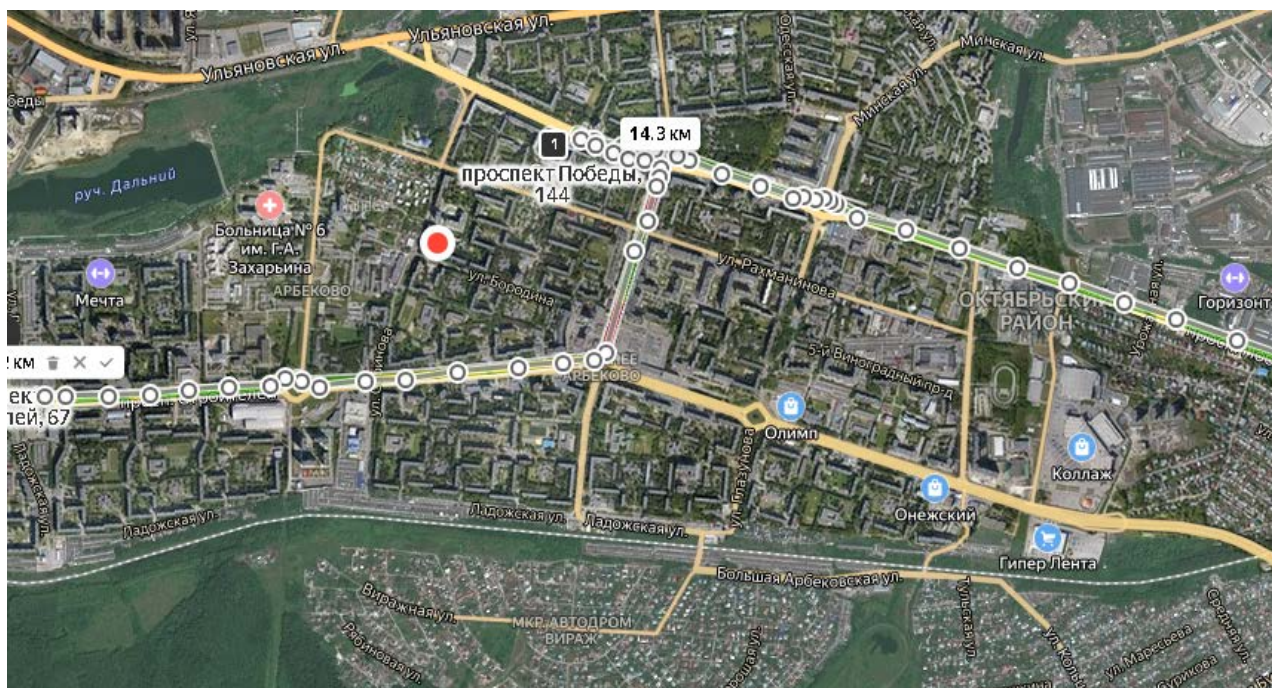


Рисунок 2 – Фрагмент формирования маршрута с помощью разработанной программы Transportation (с учетом предложенных методов)

В третьей главе «Методические аспекты маршрутизации транспорта с ограничениями методом ФУВ» рассмотрены научно-методические основы маршрутизации транспорта при управлении цепями поставок с ограничениями методом ФУВ.

Проведенные исследования показали, что в управлении цепями поставок через распределительный центр необходимо учитывать ограничения по количеству пунктов на маршруте, величине партии груза и наличию обратного груза..

Маршрутизация транспорта методом ФУВ с учетом ограничений представлена следующим образом:

- создана фиктивная матрица весов;
- выполнены операции приведения и оценки, как в методике ввода фиктивных узлов;
- установлено ограничение: максимальное количество фиктивных узлов равно разности числа пунктов и количества баз;
- проверено, как выполнено ограничение по количеству пунктов обслуживания на маршруте:

$$k \leq N_i, \quad (6)$$

где k – количество торговых точек на кольцевом маршруте;

N_i – допустимое число торговых точек на кольцевом маршруте, согласно поставленному ограничению.

Если условие (6) не выполнено, то происходит блокировка выбранной ячейки с максимальной оценкой в рассматриваемой текущей оценочной матрице и выполнение в ней операции приведения и оценки;

– проверено ограничение по массе груза на маршруте. Условие не превышение массы перевозимого груза на кольцевом маршруте:

$$\sum_{i=1}^k g_i \leq E, \quad (7)$$

где E – допустимая партия груза (грузоподъемность) автомобиля.

Если ограничение не выполнено, то происходит блокировка ветви с максимальной оценкой в рассматриваемой матрице. И снова выполнены операции приведения и оценки.

После рассмотрения и блокировки всех ветвей с максимальной оценкой в рассматриваемой матрице происходит возвращение в предыдущую матрицу на дерево решений, где также блокируется перемещение по ветвям с максимальной оценкой, если любое из ограничений (6) или (7) не выполнено;

– оптимальный маршрут установлен путем сравнения вариантов.

Для определения эффективности разработанного метода было проведено сравнение результатов расчета методами ВиГ и ФУВ с ограничениями. В качестве ограничений выступили критерии: величина партии перевозимого груза – 19 п/м и количество пунктов на маршруте – 3 шт.

Решение задач приведены в приложение А диссертации. За основу исходных данных использованы путевые листы РЦ Пенза АО «Тандер» компании ПАО «Магнит». Проведенные исследования показали, что в результате обработки путевых листов за смену разными методами экономия по длине маршрута составила 4% и по времени движения 4% методом ФУВ.

Далее показано применение разработанного метода с учетом ограничений и обратного груза. Здесь определены параметры совместного маршрута при обратном грузе, находящемся на одном складе.

Отмечено, что время работы на маршруте учитывает передвижение между пунктами; простой под разгрузкой или погрузкой; оформление документов; проверку сохранности груза и другие организационные мероприятия в зависимости от вида груза.

Время нахождения ТС на i -ом маршруте определено по формуле:

$$T_i = \sum_{i=1}^{u^{осн}} t_{ij}^{осн} + \sum_{i=1}^{u^{обп}} t_{ij}^{обп} + t_i^{осн} + t_i^{обп}, \quad (8)$$

$$T_i = T_i^{\partial в} + T_i^{прост}. \quad (9)$$

Время движения ТС:

$$T_i^{\partial в} = \sum_{i=1}^{u^{осн}} t_{ij}^{осн} + \sum_{i=1}^{u^{обп}} t_{ij}^{обп}, \quad (10)$$

Время простоя ТС определено по формуле:

$$T_i^{прост} = t_i^{осн} + t_i^{обп}, \quad (11)$$

где $\sum_{i=1}^{u^{осн}} t_{ij}^{осн}$ – время нахождения на i -ой ветви основного маршрута;
 $\sum_{i=1}^{u^{обр}} t_{ij}^{обр}$ – время нахождения на i -ой ветви обратного маршрута;
 $u^{осн}$ – количество ветвей на маршруте основного груза;
 $u^{обр}$ – число ветвей на маршруте обратного груза;
 $t_i^{осн}$ – время нахождения на i -ом пункте разгрузки основного груза;
 $t_i^{обр}$ – время нахождения на i -ом пункте загрузки на складе обратного груза.
 Общее время на всех кольцевых маршрутах составило:

$$T = \sum_{i=1}^m T_i. \quad (12)$$

Длина i -го маршрута определено по формуле:

$$L_{ij} = \sum_{i=1}^{u^{осн}} l_{ij}^{осн} + \sum_{i=1}^{u^{обр}} l_{ij}^{обр} + l_{ij}^x \rightarrow \min, \quad (13)$$

где $l_{ij}^{осн}$ – длина ветви между узлами i и j основного груза;
 $l_{ij}^{обр}$ – длина ветви между пунктами i и j обратного маршрута;
 l_{ij}^x – длина ездки от конечного пункта основного груза до склада обратного груза.

Длина всех маршрутов найдена по формуле:

$$L = \sum_{i=1}^u L_{ij}. \quad (14)$$

Количество груза, перевезенного автомобилем на i -ом совместном маршруте при количестве пунктов в нем равном O , определено по формуле:

$$K_i = \sum_{i=1}^{O^{осн}} q_i^{осн} + \sum_{i=1}^{O^{обр}} q_j^{обр} \rightarrow \max, \quad (15)$$

где $O^{осн}$ – количество пунктов на i -ом маршруте с основным грузом;
 $O^{обр}$ – число пунктов на j -ом маршруте с обратным грузом;
 $q_i^{осн}$ – количество основного груза в i -ом пункте;
 $q_j^{обр}$ – количество обратного груза в i -ом пункте.

Общее количество груза по всем маршрутам определено по формуле:

$$K = \sum_{i=1}^m K_i. \quad (16)$$

В данном методе принято во внимание три типа ограничений.

Число кольцевых маршрутов может быть разным на исходной схеме дислокации. Оно зависит от грузоподъемности или вместительности транспортного средства, а также величины принятия заказа потребителя. В общем случае количество колец определено по формуле:

$$M_{\alpha} = m_1 + m_2 \dots + m_{\alpha} = \sum_{i=1}^{\alpha} m_i, \quad (17)$$

где m_{α} – число кольцевых маршрутов с одинаковым количеством пунктов в них – α .

Количество пунктов в кольцевом маршруте может быть разным, но ограниченным.

Количество пунктов на кольцевом маршруте при перевозке основного и обратного груза не должно превышать допустимых величин:

$$k^{осн} \leq [k^{осн}], \quad (18)$$

$$k^{обp} \leq [k^{обp}], \quad (19)$$

где $[k^{осн}]$ – допустимое число пунктов основного груза;

$[k^{обp}]$ – допустимое число пунктов обратного груза.

Количество груза, находящегося в кузове автомобиля на кольцевом маршруте в i -ветви, не должно превышать допустимого его значения:

$$q_i \leq [q], \quad (20)$$

где q_i – количество любого груза, в автомобиле.

Найдена функция выгоды в расстоянии совместного маршрута:

$$\Delta L = (L^{осн} + L^{обp}) - L, \quad (21)$$

где L найдена по формуле (13);

$L^{осн}$ – длина маршрутов без обратного груза (с холостым пробегом):

$$L^{осн} = \sum_{i=1}^{u^{осн}} l_{ij}^{осн}, \quad (22)$$

$L^{обp}$ – длина маршрутов отдельной ездки за обратным грузом с базы:

$$L^{обp} = \sum_{i=1}^{u^{обp}} l_{ij}^{обp}. \quad (23)$$

Аналогично найдена функция выгоды по времени для совмещенного маршрута:

$$\Delta T = (T^{осн} + T^{обp}) - T_i \quad (24)$$

Здесь величина T_i найдена по формуле (8).

$T^{осн}$ – суммарное время, затраченное на маршрутах без учета обратного груза:

$$T^{осн} = \sum_{i=1}^{u^{осн}} t_{ij}^{осн}. \quad (25)$$

Суммарное время на маршруте, затраченное отдельной ездкой за обратным грузом:

$$T^{обp} = \sum_{i=1}^{u^{обp}} t_{ij}^{обp}. \quad (26)$$

Маршрутизация транспорта методом ФУВ с учетом ограничений и обратного груза представлена следующим образом:

– определены расстояния между торговыми точками и

распределительным центром;

- спроектированы схемы передвижения обратного груза между торговыми точками и распределительным центром;
- расчет выполнен отдельно от расчета маршрутов основного груза;
- определены маршруты с обратным грузом, а потом маршруты основного груза. Маршруты обратного груза являются ориентированными. Кратчайшее расстояние между ними определены методом «метлы»;

- далее сформирована расчетная матрица;
- введены фиктивные узлы в расчетную матрицу по формуле (5);
- соединены фиктивные узлы со смежными узлами, дополнительными фиктивными ветвями;

- в матрице выполнена операция приведения, где в каждой строке расчетной матрицы определен минимальный элемент и вычтен из всех остальных элементов, расположенных в рассматриваемой строке:

$$m'_{ij} = m_{ij} - l_i, i = 1, 2, 3, \dots, h. \quad (27)$$

- затем в полученной матрице определен минимальный элемент в каждом столбце h_j и вычтен из всех остальных элементов m''_{ij} , расположенных в рассматриваемом столбце:

$$m''_{ij} = m'_{ij} - l_j, j = 1, 2, 3, \dots, g. \quad (28)$$

- далее составлена оценочная матрица $[N]^0$. Для этого определена оценка каждого нулевого элемента по формуле:

$$M = \min m''_{ik} + \min m''_{sj}, \quad (29)$$

где m''_{ik} – наименьший элемент в строке i ;

m''_{sj} – наименьший элемент в столбце j ;

$k \neq j, s \neq i, k, s = 1, 2, 3, \dots, h$.

Найдена пара $k - s$ с максимальной оценкой:

$$M_{ks} = \max M_{ij}, i, j = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (30)$$

- далее проверены ограничения по количеству пунктов обслуживания на маршруте с учетом условия (6) и по массе груза на маршруте с учетом условия (7). Если условия (6 и 7) не выполнены, то блокируется выбранная ячейка с максимальной оценкой в рассматриваемой текущей оценочной матрице. Выполнены операции приведения и оценки;

- после рассмотрения и блокировки всех ветвей с максимальной оценкой в рассматриваемой матрице происходит возвращение в предыдущую матрицу, на дерево решений, в которой также блокируется перемещение по ветвям с максимальной оценкой, если любое из ограничений (6) или (7) не выполнено;

- рациональный маршрут установлен путем сравнения всех вариантов;
- спроектированы совместные маршруты. Для этого была использована функция выгоды для расстояния во время совместного маршрута, по формуле (21);

– рациональный совместный маршрут установлен там, где функция выгоды является наибольшей.

Данный метод может быть использован при постановке другой целевой функции, например, времени.

На основе предложенного метода было разработано программное обеспечение Logistics (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023669755) (Рисунок 3, 4). Программное обеспечение позволяет моделировать оптимальные грузовые потоки по времени или длине.

Для того, чтобы увидеть эффективность разработанного метода, сравнили результаты расчета двумя методами ВиГ и ФУВ с учетом обратного груза. Решение задач приведены в приложении А диссертации.

Проведенные исследования показали, что в результате обработки путевых листов за смену разными методами наиболее эффективным оказался метод ФУВ. Он позволил сократить длину маршрута и время движения подвижного состава на 12%.

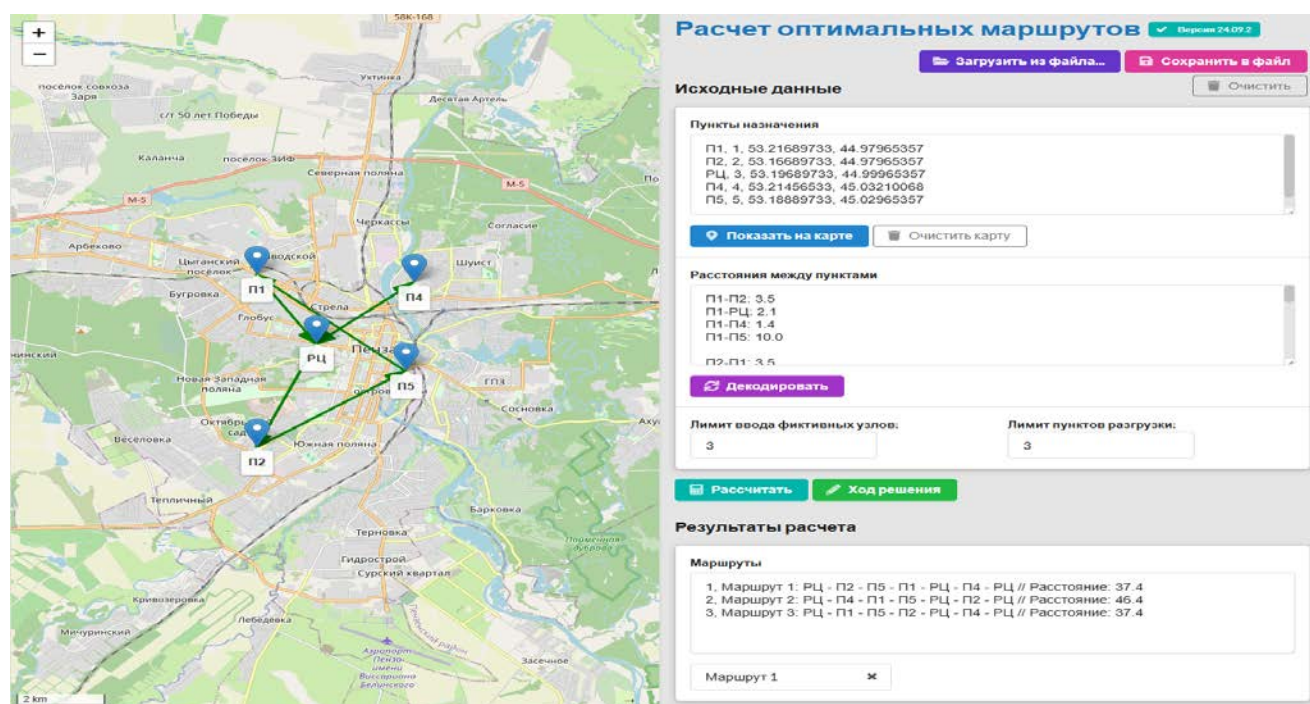


Рисунок 3 – Фрагмент расчетных маршрутов полученных разработанной программой Logistics с учетом поставленных ограничений.

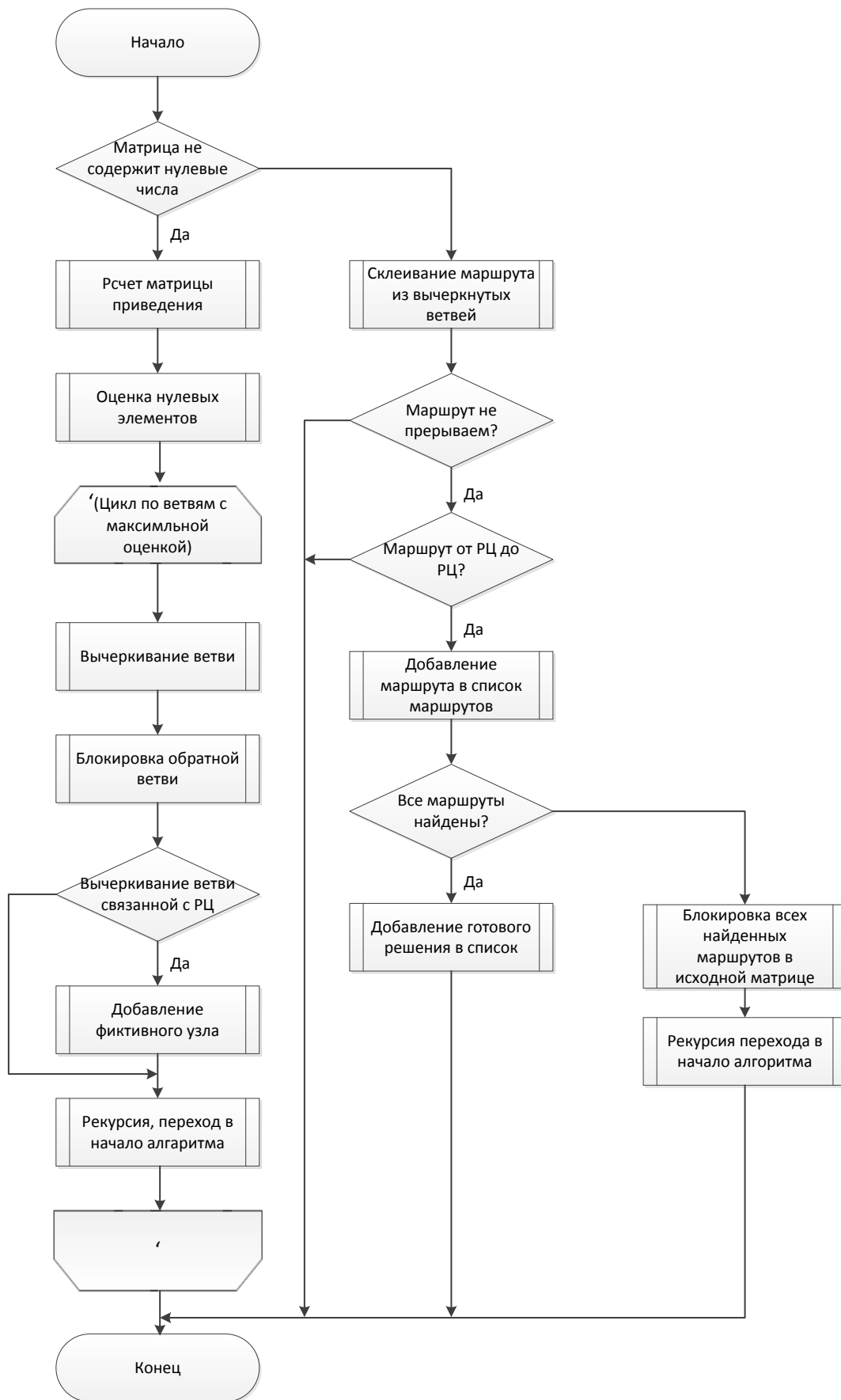


Рисунок 4 – Функциональная схема программы Logistics

В четвертой главе «Определение местоположения распределительного центра при доставке груза по комбинированной схеме» рассмотрена математическая модель аналитического определения местоположения распределительного центра, что является первостепенной задачей в управлении цепями поставок через распределительный центр.

Для расчета координат терминала на карте использован метод нахождения точки центра масс:

$$x_c = \frac{f_1 x_1 + f_2 x_2 + \dots + f_i x_i}{f_1 + f_2 + \dots + f_i}, \quad (31)$$

$$y_c = \frac{f_1 y_1 + f_2 y_2 + \dots + f_i y_i}{f_1 + f_2 + \dots + f_i}, \quad (32)$$

где x_c и y_c – координаты расположения грузового центра тяжести;

x_i и y_i – координаты i -го пункта;

f_i – масса груза в пункте.

В качестве критерия выбраны транспортная работа, тариф, стоимость, длина, время, расход топлива и другие, а также их комбинации.

В качестве основного параметра в формулах (31) и (32), адекватно описывающего процесс движения груженого автомобиля, включая холостые ездки, была взята работа, которая складывается из работы, затрачиваемой по перемещению груза, и работы, затраченной на движение автомобиля:

$$P_i = P_i^{zp} + P^{авт}, \quad (33)$$

где P_i^{zp} – работа по перемещению груза;

$P^{авт}$ – работа по перемещению автомобиля.

По определению, работа есть произведение постоянной силы на путь. Тогда формула (33) для ветви принимает вид:

$$P_i = (q_i + Q_i) l_i, \quad (34)$$

где q_i – масса груза в кузове автомобиля на ветви маршрута между соседними пунктами;

Q_i – собственная масса автомобиля;

l_i – длина ветви между соседними пунктами маршрута.

Учет собственной массы необходим, поскольку во многих перевозках масса автомобиля превышает массу груза в его кузове, а также необходим для учета холостого пробега.

Была принята в качестве критерия транспортная работа. По формулам (31) и (32) были получены координаты центра работы (ЦР):

$$x_c = \frac{P_1 x_1 + P_2 x_2 + \dots + P_i x_i}{P_1 + P_2 + \dots + P_i}, \quad (35)$$

$$y_c = \frac{P_1 y_1 + P_2 y_2 + \dots + P_i y_i}{P_1 + P_2 + \dots + P_i}, \quad (36)$$

здесь P_i – транспортная работа на i -ой ветви. Ее координаты на ветви обозначены через x_i и y_i .

По этим формулам найдены координаты отдельно для каждого вида передвижения: маятникового, радиального и кольцевого.

Чтобы найти работу, сначала была решена задача маршрутизации при доставке товара через распределительный центр по минимальному пробегу:

$$L_i = \sum_{i=1}^m l_{ij} \rightarrow \min, \quad (37)$$

где m – число ветвей на маршруте.

Выбрано в качестве критерия оптимизации кольцевого маршрута время T_i :

$$T_i = \sum_{i=1}^m t_{ij} \rightarrow \min, \quad (38)$$

$$t_{ij} = t_{ij}^{\partial\partial} + t_j^{np} = \frac{l_{ij}}{v_{ij}} + t_j^{перем} q_j^{перем} + t_j^{\partial\partial}, \quad (39)$$

где t_{ij} – время нахождения на ветви,

$t_{ij}^{\partial\partial}$ – время движения от пункта i до вершины j ;

t_j^{np} – время простоя в пункте j по направлению движения;

$t_j^{перем}$ – время перемещения одной единицы массы;

$t_j^{\partial\partial}$ – время оформления документов на выезд из пункта;

$q_j^{перем}$ – масса груза, перемещающегося в j -том пункте;

v_{ij} – скорость передвижения между пунктами на маршруте.

Таким образом, допустимо, что время нахождения на ветви маршрута заканчивается при доставке груза в ее конечном пункте и одновременно начинается при движении в следующую за ним вершину.

Далее происходит замена работы в формулах (35) и (36) на время. Получены координаты расположения центра времени (ЦВ):

$$X_c = \frac{t_1^{\partial\partial} x_1^{\partial\partial} + t_2^{\partial\partial} x_2^{\partial\partial} + \dots + t_i^{\partial\partial} x_i^{\partial\partial} + t_1^{np} x_1^{np} + t_2^{np} x_2^{np} + \dots + t_i^{np} x_i^{np}}{t_1^{\partial\partial} + t_2^{\partial\partial} + \dots + t_i^{\partial\partial} + t_1^{np} + t_2^{np} + \dots + t_i^{np}}, \quad (40)$$

$$Y_c = \frac{t_1^{\partial\partial} y_1^{\partial\partial} + t_2^{\partial\partial} y_2^{\partial\partial} + \dots + t_i^{\partial\partial} y_i^{\partial\partial} + t_1^{np} y_1^{np} + t_2^{np} y_2^{np} + \dots + t_i^{np} y_i^{np}}{t_1^{\partial\partial} + t_2^{\partial\partial} + \dots + t_i^{\partial\partial} + t_1^{np} + t_2^{np} + \dots + t_i^{np}}, \quad (41)$$

где $t_i^{\partial\partial}$ – время движения на участке маршрута;

t_i^{np} – время простоя в пункте на участке маршрута.

В работе исследована плоская задача маршрутизации, и тогда маршрут представлен плоской кривой. Замечено, что транспортная работа производилась на участках только между пунктами разгрузки. Учет этого обстоятельства произведен путем сосредоточения этой скалярной величины в точке центра масс линии ветви. Для однородной плоской кривой координаты следующие:

$$x_c = \frac{\int_a^b x \sqrt{1 + (y')^2} dx}{\int_a^b \sqrt{1 + (y')^2} dx}, \quad (42)$$

$$y_c = \frac{\int_a^b y \sqrt{1 + (y')^2} dx}{\int_a^b \sqrt{1 + (y')^2} dx}. \quad (43)$$

Длина кривой определена по формуле:

$$l = \int_a^b \sqrt{1 + [f'(x)]^2} dx. \quad (44)$$

Выбор описывающей траектории произведен методом аппроксимации кривых.

Приведена математическая формулировка поставленной задачи.

При маятниковой развозке груз с распределительного центра передвигался по α маршрутам в единицах массы:

$$F_M^{paz} = M_1^{paz} + M_2^{paz} + \dots + M_\alpha^{paz} = \sum_{i=0}^{\alpha} M_\alpha^{paz}. \quad (45)$$

Груз был собран в распределительный центр при маятниковой схеме передвижения по β маршрутам в единицах массы:

$$F_M^{сбор} = M_1^{сбор} + M_2^{сбор} + \dots + M_\beta^{сбор} = \sum_{i=0}^{\beta} M_\beta^{сбор}. \quad (46)$$

При радиальной схеме передвижения доставка груза с распределительного центра выполнялось по γ маршрутам в единицах массы:

$$F_P^{paz} = P_1^{paz} + P_2^{paz} + \dots + P_\gamma^{paz} = \sum_{i=0}^{\gamma} M_\gamma. \quad (47)$$

Груз был собран в распределительный центр при радиальной схеме передвижения по σ маршрутам в единицах массы:

$$F_P^{сбор} = P_1^{сбор} + P_2^{сбор} + \dots + P_\sigma^{сбор} = \sum_{i=0}^{\sigma} M_\sigma^{сбор}. \quad (48)$$

Однородный товар был доставлен по m кольцевым маршрутам в $Q_1, Q_2 \dots Q_m$ в единицах массы. Его общее количество определено по формуле:

$$F_Q^{paz} = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_m = \sum_{i=0}^m Q_m. \quad (49)$$

На i -ом кольцевом маршруте находилось $k \leq e$ пунктов, в них последовательно был доставлен груз. Количество пунктов определено по формуле:

$$\mu_1 + \mu_2 + \dots + \mu_k = \sum_{i=1}^k \mu_k \leq E. \quad (50)$$

В распределительном центре произведен сбор груза на n маршрутах в количестве $G_1, G_2 \dots G_n$ в единицах массы.

Его общее количество найдено по формуле:

$$F^{сбор} = G_1 + G_2 + \dots + G_n = \sum_{j=1}^n G_n. \quad (51)$$

На некотором i -ом кольцевом маршруте несколько $s \leq e$ пунктов, из которых произведена погрузка товара в автомобиль. Количество его рассчитано по формуле:

$$g_1 + g_2 + \dots + g_s = \sum_{i=1}^s g_s \leq E. \quad (52)$$

Обратный груз был доставлен в распределительный центр по маршрутам φ величиной $D_1, D_2, \dots, D_\varphi$ в единицах массы.

Общая масса определена по формуле:

$$F^{обрат} = D_1 + D_2 + \dots + D_\varphi = \sum_{i=1}^\varphi D_\varphi. \quad (53)$$

На некотором i -ом кольцевом маршруте погрузка обратного груза произведена в $\omega \leq e$ пунктах, количество которых рассчитано по формуле:

$$\partial_1 + \partial_2 + \dots + \partial_\omega = \sum_{i=1}^\omega \partial_\omega \leq E. \quad (54)$$

Таким образом, вывоз груза из распределительного центра по маятниковой, радиальной и кольцевой схемам определен в единицах массы по формуле:

$$F^{раз} = F_M^{раз} + F_P^{раз} + F_Q^{раз}. \quad (55)$$

Сбор товара определен по формуле:

$$F^{сбор} = F_M^{сбор} + F_P^{сбор} + F^{сбор} + F^{обрат}. \quad (56)$$

Основное условие работы представленной модели доставки груза - равенство объема завозимого и вывозимого грузов на распределительном центре по всем маршрутам:

$$F^{сбор} = F^{зав}. \quad (57)$$

В математической модели определения местоположения распределительного центра можно выделить следующие этапы:

- Определение района местоположения распределительного центра; выбор целевой функции массы или времени; вычисление координат грузового или временного центра; определение по карте расчетных узлов, расположенных вокруг него на дорогах.

- Вычисление координат расположения ЦР или ЦВ для каждого расчетного узла с помощью транспортной работы или времени. Определение начала отсчета в расчетных узлах. Проектирование методом «Метлы» рациональных маятниковых и радиальных маршрутов с помощью минимальной длины или времени. Расчёт кольцевых маршрутов методом ФУВ с ограничениями грузоподъемности и количества пунктов с помощью минимальной длины или времени. Аппроксимация траектории передвижения между узлами, например, в виде кусочно-линейной функции. Определение на каждом участке длины ветви по формуле (44) и координат ее центра тяжести по формулам (42) и (43). Определение на каждом участке спроектированного

маршрута работы по формуле (34) или времени движения и простоя по формуле (39). Расчет работы и времени при движениях в прямом и обратном направлениях (используется в дальнейших расчетах их наименьшие значения).

– Расчет координат распределительного центра. Определение по формулам (35) и (36) координат центра работы (ЦР) или центра времени (ЦВ), соответственно для каждого расчетного узла. Расчет среднего значения ЦР или ЦВ, найденного по расчетным узлам. Определение на карте средней точки и расположение в ней распределительного центра.

На основе предложенных математических моделей было разработано программное обеспечение Distribution Center (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024614147).

Использование программы позволило определить местоположение распределительного центра по транспортной работе или времени (Рисунок 5), сформировать рациональные маршруты доставки товара с учетом кривизны маршрута (Рисунок 6), обеспечить моделирование доставки груза через распределительный центр в торговые точки.

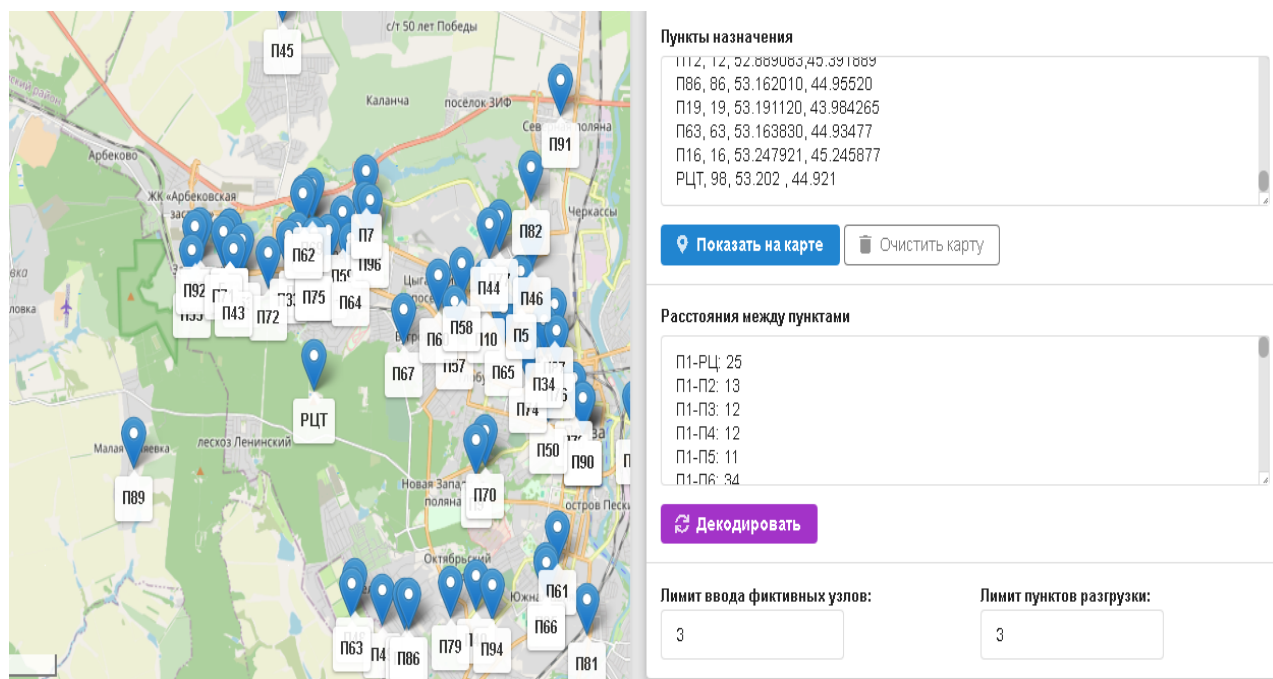


Рисунок 5 – Фрагмент расположения на карте распределительного центра по транспортной работе с помощью разработанной программы Distribution Center

В пятой главе «Оценка эффективности применения разработанных решений по управлению цепями поставок через распределительный центр (на примере компании ПАО «Магнит»)» дана оценка эффективности предложенных решений на примере компании ПАО «Магнит» распределительного центра АО «Тандер» в Пензенской области. Проведенные исследования позволили изучить функциональную схему доставки груза (Рисунок 7) в торговые точки, получить показатели работы подвижного состава за смену.

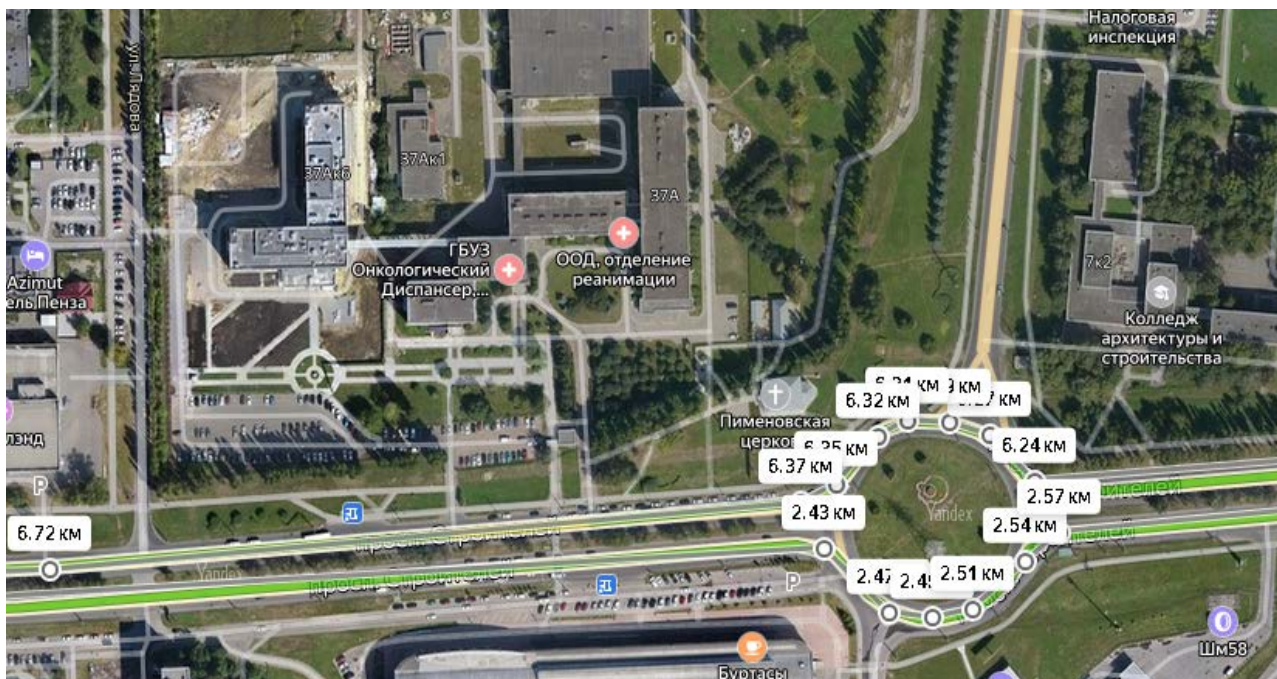


Рисунок 6 – Фрагмент аппроксимации маршрута разработанной программой Distribution Center

Проведенные экспериментальные исследования показали, что все величины, полученные в ходе исследований, носят случайный характер. Статистические характеристики приведены в таблице 2. Полученные гистограммы распределения рассматриваемых характеристик описываются нормальным законом, что подтверждена случайность исследуемых величин (Рисунок 8-13). Проверка гипотезы о нормальном распределении подтверждается критерием согласия Пирсона. При наличии уровня значимости $\alpha = 0,05$, число степеней свободы $K = s - 1 - r$, где s – число групп выборки, $r = 2$ число параметров распределения, $K = 7 - 1 - 2 = 4$, $\chi^2_{кр} = (0,005, 4) = 9,5$. Так как $\chi^2_{наб} < \chi^2_{кр}$, нет оснований отвергнуть нулевую гипотезу.

На основе разработанных методов получены рациональные маршруты доставки груза за смену с учетом ограничений по вместимости, количеству пунктов на маршруте. Проведен сравнительный анализ работы подвижного состава за смену с существующего (Таблица 3) и распределительного центра по критериям: транспортная работа (Таблица 4) и время (Таблица 5).

Проведённый анализ показал, что доставка груза через распределительный центр по критерию «транспортная работа» позволила повысить эффективность организации процесса перевозки:

- длина маршрутов сокращена на 37%;
- увеличена выработка в (т/ч) на 37 %;
- сокращено время на маршруте на 37%.

При сравнении результатов расчета с распределительного центра по времени, можно отметить следующее:

- длина маршрутов сокращена на 37%;

- увеличена выработка в (т/ч) на 37 %;
- сокращено время на маршруте на 38%.

Для определения вероятностных параметров местоположения распределительного центра в математических моделях использованы исследования по работе подвижного состава. Количество расчетных данных показало доверительную вероятность 0,95 и предельную ошибку выборки 0,1.

Установлена степень зависимости выработки и транспортной работы подвижного состава от длины маршрута, веса доставляемого груза и времени при доверительной вероятности 0,95 (Таблица 6 и 7). Все регрессионные зависимости представлены линейной зависимостью.

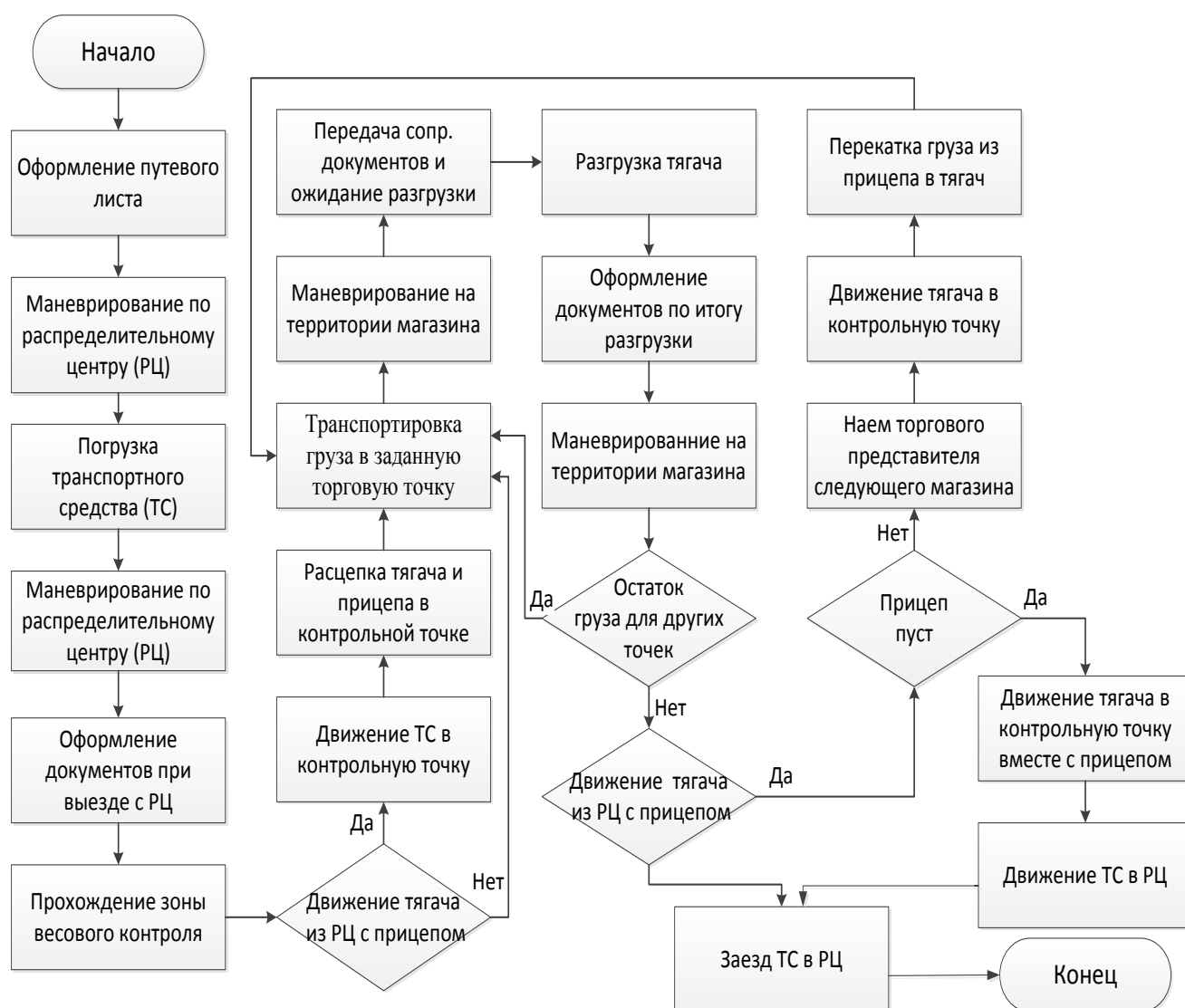


Рисунок 7 – Функциональная схема операций при доставке груза с распределительного центра АО «Тандер» в торговую сеть ПАО «Магнит»

Таблица 2 – Статистические характеристики исследуемых величин

Исследуемая величина	\bar{x}_B	Критерий Пирсона	D_B	a_s	e_k	σ_B
Время погрузки $t^п$, мин/т	30,52	$\chi^2(t^п)=7,5$	92,92	0,05	-0,04	9,6
Время разгрузки $t^р$, мин/т	29,36	$\chi^2(t^р)=5,3$	86,39	-0,5	-0,8	9,2
Время заезда в пункт обработки от оборотной тары $t^{зоб}$, мин	30,52	$\chi^2(t^{зоб})=9,39$	92,98	0,92	0,07	9,5
Время выезда с обработки от оборотной тары $t^{воб}$, мин	16,7	$\chi^2(t^{воб})=6,6$	26,47	0,17	0,56	4,2
Техническая скорость в пригородном сообщении V_{T2}	78,98	$\chi^2(V_{T2}^2)=6,3$	61,71	0,41	-0,57	7,85
Техническая скорость в населенном пункте V_{T1}	49,8	$\chi^2(V_{T1}^1)=7,2$	53,58	-0,10	-0,72	9,6

Таблица 3 – Основные показатели работы подвижного состава с распределительного центра АО «Тандер» по доставке груза в торговые точки за смену

q , т	L , км	T , ч	l^x , км	l^{re} , км	β	P , т · км	U , т/ч	W , т · км/ч
518	4124	157,47	1896	2228	0,55	60567,87	3,2	384

Таблица 4 – Показатели работы подвижного состава с распределительного центра за смену по критерию «транспортная работа»

q , т	L , км	T , ч	l^x , км	l^{re} , км	β	P , т · км	U , т/ч	W , т · км/ч
518	2603	100,08	478	2125	0,8	23981,9	5,1	238

Таблица 5 – Показатели работы подвижного состава с распределительного центра за смену по времени

q , т	L , км	T , ч	l^x , км	l^{re} , км	β	P , т · км	U , т/ч	W , т · км/ч
518	2598	99,84	495	2104	0,8	21948,25	5,1	220

Дана оценка экономической эффективности предложенных решений по двум показателям: затратам на организацию маршрутов в смену Z_M и величине социально-экономического ущерба $У_A$ от работы транспорта за смену.

Результаты расчетов показали, что применение предложенных мероприятий позволило сократить затраты на организацию маршрутов на 50% и снизить величину социально-экономического ущерба на 25%.

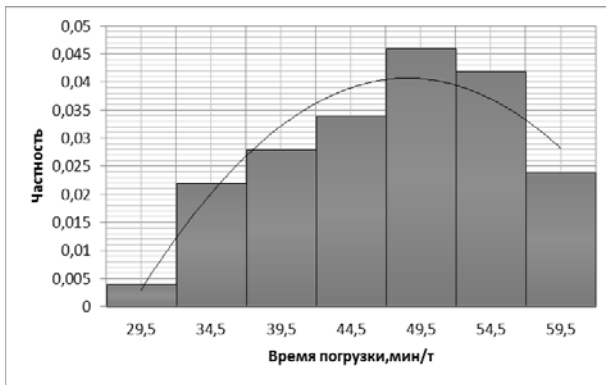


Рисунок 8 – Закономерность распределения времени погрузки груза

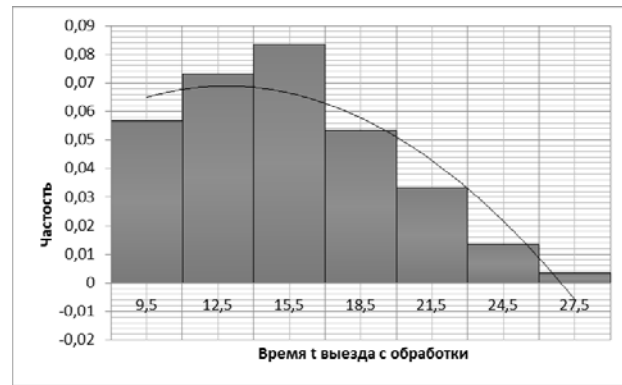


Рисунок 11 – Закономерность распределения времени выезда с обработки в распределительном центре

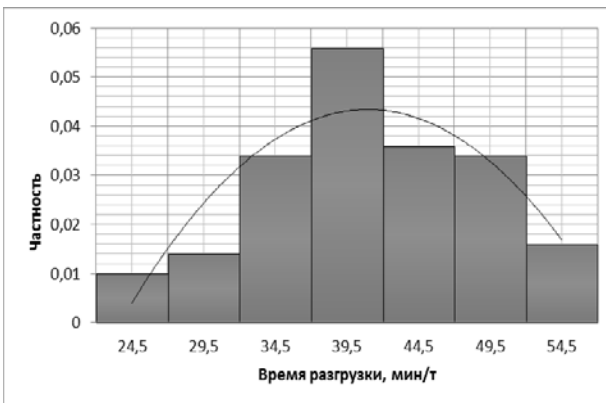


Рисунок 9 – Закономерность распределения времени пребывания автомобиля в пункте разгрузки

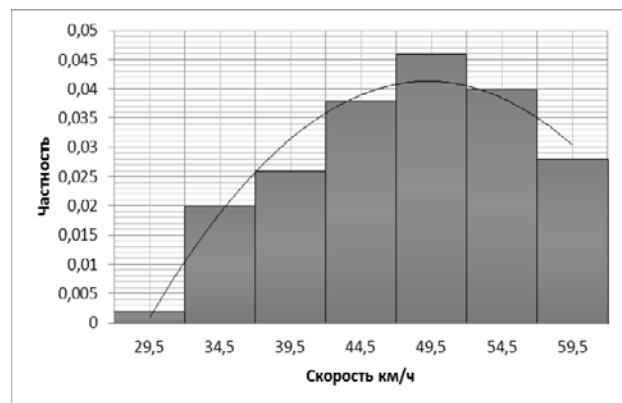


Рисунок 12 – Закономерность распределения технической скорости V_{T2} в населенном пункте

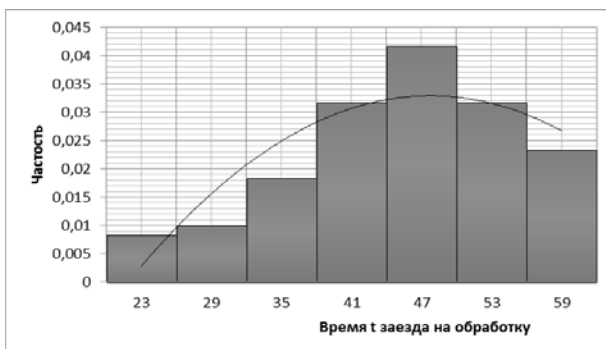


Рисунок 10 – Закономерность распределения времени заезда на обработку в распределительном центре

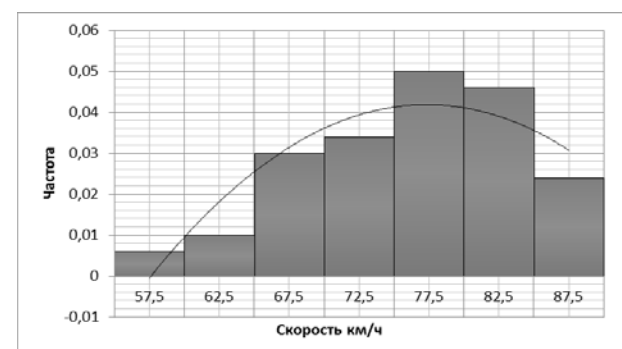


Рисунок 13 – Закономерность распределения технической скорости V_{T1} в пригородном сообщении

Таблица 6 – Параметры уравнений регрессионного влияния длины маршрута, времени и веса перевозимого груза на транспортную работу и выработку подвижного состава при доставке груза с распределительного центра по транспортной работе при доверительной вероятности 0,95

Параметры уравнений регрессионных зависимостей		
$P, \text{т} \cdot \text{км}$	$U, \text{т/ч}$	$W, \text{т} \cdot \text{км/ч}$
$P = 8,6 + 0,096L$	$U = 192,27 - 266,65L$	$W = 842 + 7,1L$
$P = 0,15 + 0,006T$	$U = 7,11T - 0,45$	$W = 5810,8 - 0,025T$
$P = 0,13q - 115$	$U = 15,11 - 0,034q$	$W = 293 + 20,9q$

Таблица 7 – Параметры уравнений регрессионного влияния длины маршрута, времени, и веса перевозимого груза на транспортную работу и выработку подвижного состава при доставке груза с распределительного центра по времени, при доверительной вероятности 0,95

Параметры уравнений регрессионных зависимостей		
$P, \text{т} \cdot \text{км}$	$U, \text{т/ч}$	$W, \text{т} \cdot \text{км/ч}$
$P = 0,11L - 0,51$	$U = 214,8 - 14L$	$W = 0,38L - 3,4$
$P = 0,2 + 2T$	$U = 14,2 - 0,5T$	$W = 4,8 - 0,008T$
$P = 0,7 + 1,5g$	$U = 14,7 + 0q$	$W = 10,2 - 0,35q$

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Проведенные исследования позволили решить научно-практическую проблему, имеющую техническую и технологическую обоснованность. Разработаны новые методы, усовершенствованы математические модели для управления цепями поставок через распределительный центр, внедрение которых имеет существенное значение в управлении процессами перевозок и вносит значительный вклад, в развитие транспортной отрасли страны.

Основные научно-практические результаты:

1. Достигнуто снижение транспортных расходов при доставке партионных грузов на 35% от всей суммы затрат. Ключевой элемент в снижении затрат является оптимизация процессов управления цепями поставок. Существующие модели и методы управления цепями поставок имеют ряд недостатков:

- учитывается только масса груза при разгрузке или погрузке, но не учитывается процесс движения;
- происходит косвенный учет процесса движения через транспортную работу, совершаемую в вершинах транспортного графа;
- определение расстояния между пунктами транспортной сети по воздушной прямой;
- определение кривизны траектории движения автомобиля через коэффициент объезда, который находится при делении суммарной длины катетов на гипотенузу треугольника для каждого пункта транспортной сети.

2. Разработан метод маршрутизации транспорта по доставке груза с

распределительного центра с учетом ограничений количества пунктов на маршруте и грузоподъемности подвижного состава. Его применение позволило сократить длину маршрута и время движения на маршруте автомобиля за смену более чем на 4% по сравнению с методом ветвей и границ при доставке груза в торговые сети компании ПАО «Магнит».

3. Разработаны метод маршрутизации транспорта и программное обеспечение по доставке груза с распределительного центра с учетом обратного груза и ограничений количества пунктов на маршруте и грузоподъемности подвижного состава. Их применение позволило сократить длину маршрута и время движения автомобиля за смену более чем на 12% по сравнению с методом ветвей и границ при доставке груза в торговые сети компании ПАО «Магнит».

4. Усовершенствована математическая модель, разработано программное обеспечение по определению местоположения распределительного центра по критерию «минимизация транспортной работы» с учетом кривизны траектории передвижения автомобиля. Их применение позволило сократить длину маршрута и время на маршруте на 37%, увеличить выработку подвижного состава в (т/ч) на 37% и на 37% в (т-км/ч).

5. Усовершенствована математическая модель, разработано программное обеспечение по определению местоположения грузового распределительного центра по критерию «минимизация времени» с учетом кривизны траектории передвижения автомобиля. Их применение позволило сократить длину маршрута на 37%, время на маршруте на 38%, увеличить выработку подвижного состава в (т/ч) на 37% и в (т-км/ч) на 43%.

6. Определены основные параметры процесса доставки груза с распределительного центра по критериям «транспортная работа» и «время», применение которых позволило повысить экономическую целесообразность на 50% и экологическую на 25%.

7. Определена степень зависимости выработки и транспортной работы подвижного состава с распределительного центра от длины маршрута, веса доставляемого груза и времени при доверительной вероятности 0,95, которая подтверждает дискретный характер транспортной работы. Установлено нормальное распределение времени погрузки, разгрузки, заезда в пункт обработки от оборотной тары, времени выезда с обработки от оборотной тары, скорости движения в населённом пункте и в пригородном сообщении при доставке груза с распределительного центра.

8. Результаты научных, практических, экономических и экологических исследований реализованы в практической деятельности в ПАО «Магнит» (Пензенская область) и X5 Group (Пензенская область).

Перспективы дальнейшего развития темы:

– полученные результаты диссертационного исследования могут служить основой для совершенствования подходов в управлении цепями поставок через распределительный центр.

– в целях повышения эффективности работы логистические сервисы могут быть предоставлены во всех распределительных центрах для создания единой мультимодальной платформы в пределах одного сетевого ритейлера.

**ОСНОВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В
СЛЕДУЮЩИХ ПЕЧАТНЫХ ИЗДАНИЯХ:**

– из «Перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертации на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук» ВАК Минобрнауки:

1. Жесткова, С.А. Решение задачи маршрутизации с ограничениями величины партий груза и количества пунктов / А.Н. Новиков, С.А. Жесткова // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 3—2 (83). – С. 61–70.

2. Жесткова, С.А. Методические аспекты определения координат центра распределения материальных потоков / А.Н. Новиков, С.А. Жесткова // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 4–1 (83). – С. 67–74.

3. Жесткова, С.А. Методические аспекты определения расположения распределительного центра на основе критерия времени методом фиктивных узлов и ветвей / А.Н. Новиков, С.А. Жесткова // Мир транспорта и технологических машин. – 2024. – № 2–1 (85). – С. 31–38

4. Жесткова, С.А. Методика проектирования кольцевых маршрутов с обратным грузом / А.Н. Новиков, С.А. Жесткова // Мир транспорта и технологических машин. – 2024. – № 1–3 (84). – С. 19–27

5. Жесткова, С.А. Задача маршрутизации кольцевых схем передвижения на основе использования метода фиктивных узлов и ветвей / А.Н. Новиков, С.А. Жесткова // Мир транспорта и технологических машин. – 2024. – № 1–1 (84). – С. 22–30.

6. Жесткова, С.А. Повышение эффективности управление процессами перевозок сетевой доставки груза автомобильным транспортом / С.А. Жесткова // Мир транспорта и технологических машин. – 2024. – № 3–3 (86). – С. 34–39

7. Жесткова, С.А. Совершенствование транспортно-логистических процессов сетевой доставки грузов автомобильным транспортом на примере компании ПАО «Магнит» / А.Н. Новиков, С.А. Жесткова // Мир транспорта и технологических машин. – 2024. – № 4–1 (87). – С. 134–142

8. Жесткова, С.А. Определение расположения регионального центра при комбинированной схеме доставки товара по кольцевым маршрутам / А.Н. Новиков, С.А. Жесткова // Вестник Московского автомобильно-дорожного института (государственного технического университета). – 2025. – № 1(80). – С. 47–54.

9. Жесткова, С.А. Моделирование транспортно-логистических процессов сетевой доставки грузов автомобильным транспортом / С.А. Жесткова // Мир транспорта и технологических машин. – 2025. – № 1–1 (88). – С. 36–42.

10. Жесткова, С.А. Повышение эффективности сетевой доставки грузов на основе цифровой трансформации логистических процессов / С.А. Жесткова // Мир транспорта и технологических машин. – 2025. – № 1–4 (88). – С. 18–24.

11. Жесткова, С.А. Цифровизация управления транспортно-логистическими процессами сетевой доставки груза автомобильным транспортом / А.Н. Новиков, С.А. Жесткова // Мир транспорта и

технологических машин. – 2025. – № 1–3 (88). – С. 18–23.

12. Жесткова, С.А. Методика определения оптимального расположения распределительных центров материальных потоков при комбинированной схеме доставки товара / С.А. Жесткова // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2025. – Том 22 № 2. – С. 210–221.

13. Жесткова, С.А. Методика определения местоположения регионального распределительного центра / С.А. Жесткова, С.Н. Ячинова // Вестник Московского автомобильно-дорожного института (государственного технического университета). – 2025. – № 3(83). – С.55-66

– патенты и свидетельства

14. Жесткова, С.А. Программа для работы логистов по грузоперевозкам «Distribunion center» / С.А. Жесткова / Свид-во о регистрации программы для ЭВМ 2024614147. – Заявка № 2024612948 от 14.02.2024 – Решение о выдаче свидетельства 20.02.2024

15. Жесткова, С.А. Программа для определения оптимальных маршрутов доставки грузов «Transportation» / С.А. Жесткова / Свид-во о регистрации программы для ЭВМ 2023664020. – Заявка № 2023619641 от 15.05.2023 – Решение о выдаче свидетельства 29.06.2023.

16. Жесткова, С.А. Программа для определения оптимальных маршрутов движения с учетом ограничений «Logistics» / С.А. Жесткова / Свид-во о регистрации программы для ЭВМ 2023669755. – Заявка № 2023669053 от 14.09.2023. – Решение о выдаче свидетельства 20.09.2023.

17. Жесткова, С.А. Программа для управления цепочками поставок, комплексный процесс, направленный на оптимизацию и координацию всех этапов движения товаров с логистического терминала до потребителя «Supply chain management» / С.А. Жесткова / Свид-во о регистрации программы для ЭВМ 2025661413. – Заявка № 2025618824 от 14.04.2025. – Решение о выдаче свидетельства 06.05.2025.

– монографии

18. Жесткова, С.А. Совершенствование организации перевозочного процесса грузов автомобилями: монография / Э.Р. Домке, С.А. Жесткова. – Москва: Изд-во Ай Пи Ар Медиа, 2022. – 130 с.

– в других изданиях:

19. Жесткова, С.А. Эвристический метод как способ решения транспортной задачи / С.А. Жесткова, В.Ю. Акимов // Отраслевые аспекты технических наук. – 2011. – № 12. – С. 02-03.

20. Жесткова, С. А. Вероятностная модель торможения колесной машины / Э. Р. Домке, С. А. Жесткова // Мир транспорта и технологических машин. – 2011. – № 2(33). – С. 3-7

21. Жесткова, С.А. Использование фиктивных узлов для определения оптимальной комбинации маршрутов с совместным центром / К.С. Подшивалова, Э.Р. Домке, С.Ф. Подшивалов, С.А. Жесткова // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2011. – № 2(18). – С. 81-91.

22. Жесткова, С.А. Повышение эффективности перевозки нефтепродуктов

автомобильным транспортом / Э.Р. Домке, С.А. Жесткова, С.Ф. Подшивалов // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2012. – № 3(30). – С. 70-74

23. Жесткова, С.А. Особенности решения задачи маршрутизации транспорта методом "ветвей и границ" / Э.Р. Домке, С.А. Жесткова, В.Ю. Акимов // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2012. – № 2(29). – С. 76-79.

24. Жесткова, С.А. Повышение эффективности расследования дорожно-транспортных происшествий на основе применения навигационных технологий / Э.Р. Домке, С.А. Жесткова, В.Ю. Акимов // Мир транспорта и технологических машин. – 2012. – № 4(39). – С. 103-107.

25. Жесткова, С.А. Особенности модели функционирования интегрированной системы развозки грузов / Э.Р. Домке, С.А. Жесткова // Мир транспорта и технологических машин. – 2012. – № 3(38). – С. 94-99.

26. Жесткова, С.А. Использование метода "ветвей и границ" при решении задач маршрутизации транспорта / С.А. Жесткова // Мир транспорта и технологических машин. – 2012. – № 1(36). – С. 94-100.

27. Жесткова, С.А. Экспериментальные исследования процесса доставки нефтепродуктов с нефтебаз на автозаправочные станции / С.А. Жесткова, Э.Р. Домке, В.Ю. Акимов // Актуальные вопросы инновационного развития транспортного комплекса: Материалы 3-ей Международной научно-практической конференции. – Орел: Госуниверситет-УНПК, 2013. – С. 274-280.

28. Жесткова, С.А. Перспективы повышения безопасности дорожного движения в России / Э.Р. Домке, С.А. Жесткова, В.Ю. Акимов // Проблемы автомобильно-дорожного комплекса России: организация автомобильных перевозок и безопасность дорожного движения: Сборник докладов IX Международной научно-технической конференции. – Пенза: Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2014. – С.132-135.

29. Жесткова, С.А. Использование логистического подхода для доставки нефтепродуктов на автозаправочные станции / Э.Р. Домке, С.А. Жесткова // Мир транспорта и технологических машин. – 2014. – № 2(45). – С. 73-77.

30. Жесткова, С.А. Показатели функционирования интегрированной системы доставки грузов / Э.Р. Домке, С.А. Жесткова, Е.А. Панькина // Теоретические и прикладные аспекты современной науки: Сборник трудов V Международной научно-практической конференции, № 5-3. – Белгород: 2014г. – С. 34-37.

31. Жесткова, С.А. Оптимизация маршрутов при транспортировке строительных грузов на автомобильном транспорте / Э.Р. Домке, С.А. Жесткова // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – № 3. – С. 172-177.

32. Жесткова, С.А. Возникновение факторов риска при перевозке опасных грузов подвижным составом / Э.Р. Домке, С.А. Жесткова, Е.А. Панькина // Научная индустрия европейского континента – 2014: Сборник трудов X Международной научно - практической конференции. – Прага. 2014. – С. 31-34.

33. Жесткова, С.А. Методика определения оптимальных радиальных маршрутов при перевозке грузов автомобильным транспортом / В.В. Котов, С.А.

Жесткова // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2015. – № 4(179). – С. 72-76.

34. Жесткова, С.А. Современные информационные технологии в логистике / Э.Р. Домке, С.А. Жесткова // Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств: организация автомобильных перевозок и безопасность дорожного движения Сборник трудов XI Международной заочной научно-технической конференции – Пенза: Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2016. – С. 109-111.

35. Жесткова, С.А. Совершенствование методов экспертизы ДТП на основе марковского процесса / Э.Р. Домке, С.А. Жесткова, В.Ю. Акимова // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. – 2017. – № 2(5). – С. 44-49.

36. Жесткова, С.А. Снижение уровня шума автомобиля / Э.Р. Домке, С.А. Жесткова // Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств: Сборник трудов XIII Международной заочной научно-технической конференции. – Пенза: Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2017. – С.112-118.

37. Жесткова, С.А. Логистический подход к организации перевозки строительных грузов / Э.Р. Домке, С.А. Жесткова, В.Ю. Акимова // Региональная архитектура и строительство. – 2017. – № 4(33). – С. 186-192.

38. Жесткова, С.А. Исследование состояния безопасности дорожного движения в Пензенской регионе / Э.Р. Домке, С.А. Жесткова, В.Ю. Акимова // Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств: Сборник трудов XIII Международной заочной научно-технической конференции. – Пенза: Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2017 – С.106-111.

39. Жесткова, С.А. Применение навигационных технологий при экспертизе ДТП / С.А. Жесткова, Е.Г. Рылякин // Сурский вестник. – 2018. – № 2(2). – С. 45-49.

40. Жесткова, С.А. Повышение эффективности расследования ДТП на основе применения навигационных технологий / С.А. Жесткова, Е.Г. Рылякин, Е.А. Заплавская // Мир транспорта и технологических машин. – 2018. – № 4(63). – С. 104-109.

41. Жесткова, С.А. Повышение эффективности автомобильных перевозок массовых строительных грузов / С.А. Жесткова, Е.Г. Рылякин // Мир транспорта и технологических машин. – 2018. – № 2(61). – С. 48-55.

42. Жесткова, С.А. Организация процесса перевозки нефтепродуктов с использованием логистического подхода / Э.Р. Домке, С.А. Жесткова // Мир транспорта и технологических машин. – 2018. – № 1(60). – С. 94-100.

43. Жесткова, С.А. Повышение эффективности развозки нефтепродуктов на строительные объекты на основе использования метода линейного программирования / Э.Р. Домке, С.А. Жесткова, В.Ю. Акимова // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2018. – № 4. – С. 74-79.

44. Жесткова, С.А. Логистика в доставке эксплуатационных материалов для дорожно-строительной техники / Э.Р. Домке, С.А. Жесткова, В.Ю. Акимова // Региональная архитектура и строительство. – 2018. – № 2(35). – С. 203-210

45. Жесткова, С.А. Автомобильные перевозки пензенской области: возможности и перспективы / Э.Р. Домке, С.А. Жесткова, Е.А. Заплавская // Проблемы качества и эксплуатации транспортных средств: Сборник докладов 14-ой всероссийской (национальной) научно-практической конференции. – Пенза: Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2018. – С.23-27.
46. Жесткова, С.А. Совершенствование организации перевозочного процесса развозки нефтепродуктов автомобильным транспортом / Е.Г. Рылякин, С.А. Жесткова, М.К. Капунова // Сурский вестник. – 2019. – № 1(5). – С. 31-35.
47. Жесткова, С.А. Повышение эффективности развозки строительного груза автотранспортом компании ООО ПКФ "Термодом" / С.А. Жесткова, М.А. Сенокосова // Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2019. – № 4(23). – С. 187-197.
48. Жесткова, С.А. Повышение надежности гидравлических систем мелиоративных машин за счет обеспечения чистоты рабочих жидкостей / Е.Г. Рылякин, С.А. Жесткова, Ш.И. Кодиров // Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2019. – № 3(22). – С. 240-246.
49. Жесткова, С.А. Организация процесса перевозки нефтепродуктов с использованием логистического подхода / С.А. Жесткова, Е.Г. Рылякин, М.К. Капунова // Мир транспорта и технологических машин. – 2019. – № 2(65). – С. 59-65.
50. Жесткова, С.А. Оптимизация системы доставки строительного груза автотранспортом в компании "ООО ПКФ Термодом" / В.Ю. Акимова, Э.Р. Домке, С.А. Жесткова, М.К. Капунова // Региональная архитектура и строительство. – 2019. – № 2(39). – С. 51-62.
51. Жесткова, С. А. Повышение надежности гидросистем мелиоративных машин обеспечением чистоты рабочих жидкостей в условиях Республики Таджикистан / Е. Г. Рылякин, С. А. Жесткова, И. Н. Семов, Ш. И. Кодиров // Нива Поволжья. – 2019. – № 1(50). – С. 133-138.
52. Жесткова, С.А. Логистика в доставке нефтепродуктов на автозаправочные станции автомобильным транспортом / С.А. Жесткова, А.И. Барсукова // Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2020. – № 5(30). – С. 108-114.
53. Жесткова, С.А. Совершенствование организации перевозочного процесса развозки артезианской воды автомобильным транспортом / С.А. Жесткова, М.А. Юдаева // Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2020. – № 1(26). – С. 142-150.
54. Жесткова, С.А. Статистический анализ аварийности перевозки опасных грузов автомобильным транспортом и пути ее снижения / Э.Р. Домке, С.А. Жесткова, Д.А. Лубочников // Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2020. – № 1(26). – С. 137-142.
55. Жесткова, С.А. Оптимизация системы доставки массового строительного груза автомобильным транспортом / Э.Р. Домке, С.А. Жесткова, А.И. Барсукова // Региональная архитектура и строительство. – 2020. – № 3(44). – С. 152-160.

56. Жесткова, С.А. Повышение эффективности развозки продукции ОАО "ВИЗИТ" в пункты торговой сети автомобильным транспортом / С.А. Жесткова, В.С. Богомазова, А.И. Барсукова // Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2021. – № 4(35). – С. 138-146.

57. Жесткова, С.А. Оптимизация структуры парка автомобилей ООО АО "Пензанефтепродукт", осуществляющего перевозку опасного груза на основе стоимостного анализа / С.А. Жесткова, А.И. Барсукова // Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2021. – № 3(34). – С. 172-185.

58. Жесткова, С.А. Повышение эффективности доставки опасных грузов автомобильным транспортом / С.А. Жесткова, А.И. Барсукова // Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2021. – № 1(32). – С. 91-100.

59. Жесткова, С.А. Оптимизация структуры парка автомобилей ООО СГ "Рисан", осуществляющего перевозку массового строительного груза на основе стоимостного анализа / Э.Р. Домке, С.А. Жесткова, А.И. Барсукова // Мир транспорта и технологических машин. – 2021. – № 1(72). – С. 103-110.

60. Жесткова, С.А. Роль прогнозирования автодорожной аварийности в решении строительных задач региона / Э.Р. Домке, С.А. Жесткова, Е.А. Нелюбин // Региональная архитектура и строительство. – 2022. – № 3(52). – С. 171-176.

61. Жесткова, С.А. Принципы повышения уровня безопасности дорожного движения на федеральных дорогах / Э.Р. Домке, С.А. Жесткова, М.А. Караванова // Региональная архитектура и строительство. – 2022. – № 1(50). – С. 110-115.

62. Жесткова, С.А. Использование интеллектуальной транспортной системы на пассажирском транспорте большой вместимости в городе Пенза / Д.В. Лукьянчук, С.А. Жесткова // Перспективы развития технологий транспортных процессов: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2022. – С. 37-42.

63. Жесткова, С.А. Анализ затрат на доставку грузов с распределительных центров в торговые сети / С.А. Жесткова, Д.В. Лукьянчук // Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2023. – № 6(49). – С. 170-180.

64. Жесткова, С.А. Повышение эффективности пассажирских перевозок на основе использования транспорта по запросу / Э.Р. Домке, С.А. Жесткова, Д.В. Лукьянчук // Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2023. – № 2(45). – С. 167-174.

65. Жесткова, С.А. Повышение эффективности организации автомобильных перевозок на территории присоединенных регионов: особенности и перспективы развития / Д.В. Лукьянчук, С.А. Жесткова // Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте: Сборник статей международной научно-практической конференции, Липецк. – Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2024. – С. 139-143.

66. Жесткова, С.А. Цифровые системы управления пассажирским транспортом в городской агломерации / С.А. Жесткова, В.В. Котов, Е.А. Баталина // Прогрессивные технологии в транспортных системах: Материалы

XIX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2025. – С. 176-181.