

*На правах рукописи*



**Трапенов Владимир Викторович**

**ФОРМИРОВАНИЕ УЗЛОВОЙ СЕТИ ГРУЗОВЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ  
ТЕРМИНАЛОВ НА ПРИНЦИПАХ МУЛЬТИАГЕНТНОГО  
ЭКОНОМИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОГО РАЗМЕЩЕНИЯ**

Специальность 2.9.1 – Транспортные и транспортно-технологические  
системы страны, ее регионов и городов,  
организация производства на транспорте

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Ростов-на-Дону  
2024

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО РГУПС)

Научный руководитель – **Числов Олег Николаевич**,  
доктор технических наук, профессор, заведующий  
кафедрой «Станции и грузовая работа»  
ФГБОУ ВО «Ростовский государственный  
университет путей сообщения».

Официальные оппоненты – **Покровская Оксана Дмитриевна**,  
доктор технических наук, доцент, заведующая  
кафедрой «Управление эксплуатационной работо-  
той» ФГБОУ ВО «Петербургский государствен-  
ный университет путей сообщения Императора  
Александра I»;

**Псеровская Елена Дмитриевна**,  
кандидат технических наук, доцент кафедры, за-  
ведующая кафедрой «Логистика, коммерческая  
работа и подвижной состав» ФГБОУ ВО «Сибир-  
ский государственный университет путей сооб-  
щения».

Ведущая организация – ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта  
(РУТ) (МИИТ)»

Защита состоится «20» декабря 2024 г. в 14:00 на заседании диссертаци-  
онного совета 44.2.005.03 на базе ФГБОУ ВО «Ростовский государственный  
университет путей сообщения» по адресу: 344038, Ростовская область, город-  
ской округ город Ростов-на-Дону, город Ростов-на-Дону, пл. Ростовского  
Стрелкового Полка Народного Ополчения, зд. 2 (главный корпус, читальный  
зал).

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВО  
РГУПС по адресу: 344038, Ростовская область, городской округ город Ростов-  
на-Дону, город Ростов-на-Дону, площадь Ростовского Стрелкового Полка  
Народного Ополчения, зд. 2, и на сайте <http://www.rgups.ru>.

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета 44.2.005.03  
доктор технических наук, профессор



В. А. Финоченко

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Рациональная организация системы складского хозяйства (ССХ) видов транспорта РФ является источником и предпосылкой успехов экономического развития страны, так как влияет на степень организации и пропуск грузопотоков, темп производственной деятельности, конечную стоимость продукции и др., что в итоге отражается на качестве жизни населения, его благополучии и безопасности.

Современным направлением повышения конкурентоспособности отечественной транспортной системы является создание эффективной сети узловых логистических грузовых распределительных центров (ЛГРЦ). Учитывая имеющийся место дефицит терминально-складских мощностей класса «А» и «А+» в России, в Распоряжении Правительства РФ от 27.11.2021 г. № 3363-р «Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года» отмечается, что необходимо создание опорной сети из 35–40 транспортно-логистических центров в ключевых регионах России, что позволит сформировать единое технологическое и информационное пространство для комплексного удовлетворения требований клиентов в транспортно-складском обслуживании. Это требует расширения научно-методологического инструментария оценки конфигурации транспортно-складской сети и выбора мест размещения узловых грузовых распределительных центров в условиях мультиагентного обслуживания потребителей, что свидетельствует об актуальности и целесообразности выполненных в диссертации научных исследований по обоснованию новых подходов к компоновке и оценке структур узловой системы складского хозяйства.

**Степень разработанности темы исследования.** Большой вклад в разработку теории и практики распределения грузопотоков транспортных узлов, проектирования ЛГРЦ, развития и оптимизации параметров складской сети внесли выдающиеся ученые: С.П. Бузанов, А.С. Герасимов, С.Е. Гибшман, П.Ф. Дубинский, С.В. Земблинов, И.И. Костин, В.Д. Никитин, В.Н. Образцов, К.Ю. Скалов, Н.С. Усков, Ф.И. Шаульский и др. Работы в данных направлениях продолжены в трудах известных ученых и инженеров: В.И. Апатцева, И.Я. Аксенова, В.В. Багиновой, А.С. Балалаева, Н.П. Берлина, И.П. Владимирской, М.А. Виноградова, Е.Г. Вольхина, А.М. Гаджинского, В.Г. Галабурды, А.С. Гельмана, В.Н. Дегтяренко, А.Т. Дерибаса, С.Ю. Елисеева, В.В. Зырянова, В.П. Клепикова, Т.И. Каширцевой, Е.К. Коровяковского, К.П. Костенецкого, Р.Г. Короля, А.П. Кузнецова, П.В. Куренкова, П.А. Козлова, Х.М. Лазарева, А.Я. Локтева, Э.А. Мамаева, О.Б. Маликова, Л.Б. Миротина, Л.Н. Матюшина, С.В. Милославской, Ю.М. Неруша, В.Н. Николашина, А.В. Новичихина, Е.Д. Псеровской, Н.В. Правдина, В.А. Персианова, К.И. Плужникова, В.В. Повороженко, Р.Н. Паршиной, О.Д. Покровской, Т.А. Прокофьевой, П.Б. Романовой, А.Н. Рахмангулова, С.М. Резера, А.А. Смехова, М.Д. Ситника, А.С. Сеницыной, С.А. Уварова, И.В. Штефко, О.Н. Числова, А.В. Хомова, Н.Г. Янковской и др. а также в трудах зарубежных ученых: Лалонда Б. (LaLonde B.), Гулейя Т. (Gooley T.B.), Хардера, René de Koster, Richard E. Ward, Hau L. Lee, M. Watson, Г. Поттгоффа и др.

**Целью** диссертационной работы является разработка метода формирования узловой сети грузовых распределительных терминалов на мультиагентных экономико-географических принципах размещения, определения эффективных параметров зон обслуживания узловых терминалов и организации распределения складских грузопотоков в транспортных узлах.

Для достижения цели работы поставлены следующие **задачи**:

1. Выполнить анализ отечественного и зарубежного научного опыта проектирования и размещения объектов узловой транспортно-складской инфраструктуры.

2. Исследовать компоновочные решения узловой транспортно-складской инфраструктуры, показатели оценки степени эффективности размещения в узле грузовых терминалов, организации распределения складских грузопотоков в условиях мультиагентности транспортного обслуживания.

3. Разработать критерии оценки эффективности транспортно-технологических решений узловой сети грузовых распределительных терминалов.

4. Разработать метод формирования узловой сети грузовых распределительных терминалов на мультиагентных экономико-географических принципах размещения, обоснования рациональных параметров зон обслуживания узловых транспортно-складских терминалов сети в условиях динамической организации распределения складских грузопотоков.

5. Разработать алгоритм и программный комплекс оценки и формирования узловой сети грузовых распределительных терминалов, обоснования оптимальных мест их размещения и зон мультиагентного транспортно-складского обслуживания на экономико-географических принципах.

**Объектом исследования** являются узловая транспортно-складская сеть, принципы размещения грузовых распределительных терминалов и управление складскими грузопотоками в рамках единой системы организации узловых грузовых перевозок.

**Предмет исследования** – теоретико-методологические подходы к систематизации и оценке узловой транспортно-складской инфраструктуры, управлению распределением складских грузопотоков в условиях мультиагентности.

Диссертация выполнена в рамках пунктов: 1. «Транспортные системы и сети страны, их структура, комплексное развитие»; 6. «Инфраструктура транспортных систем. Организационные структуры управления»; 10. «Оптимизация размещения транспортных предприятий и производств» паспорта научной специальности 2.9.1. Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте.

**Теоретико-методологической основой исследования** явились работы ученых в области проектирования и размещения узловой транспортно-складской инфраструктуры, методы экономико-математического программирования, теории вероятностей и математической статистики, теории массового обслуживания, теории систем, теории графов, сетевого планирования, а также законодательные, нормативные и программные документы РФ по вопросам государственной транспортной политики, отчетные и статистические данные Министерства транспорта России, ОАО «РЖД», Северо-Кавказской железной

дороги – филиала ОАО «РЖД», публикации ученых и специалистов железнодорожного транспорта, результаты авторских исследований.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Параметры оценки вариантов компоновочных решений узловой транспортно-складской инфраструктуры на основе системного и графоаналитического подходов.

2. Система показателей эффективности размещения грузовых распределительных терминалов транспортных узлов, зон обслуживания и вариантов распределения складских грузопотоков.

3. Модифицированный метод экономико-географического размещения узловых грузовых распределительных терминалов на принципах мультиагентности транспортного обслуживания потребителей.

4. Интегральный метод оценки степени эффективности зон обслуживания грузовых распределительных терминалов транспортных узлов.

**Научная новизна диссертационной работы** заключается в разработке и развитии научно-практических рекомендаций по совершенствованию оценки топологии узловой сети грузовых распределительных терминалов, вариантов распределения складских грузопотоков в условиях конкурентного тарифообразования и мультиагентности транспортного обслуживания потребителей для повышения эффективности работы узловой инфраструктуры и сокращения транспортных расходов. В диссертации:

1. Развита научный подход в области исследования и оценки компоновочных решений грузовых распределительных терминалов узлов, учитывающий транспортно-складские процессы, зоны обслуживания потребителей и рыночный потенциал инфраструктуры.

2. Предложены компоновочные модели узловой транспортно-складской инфраструктуры, позволяющие принимать стратегические решения по их развитию.

3. Разработан метод формирования узловой сети грузовых распределительных терминалов на принципах мультиагентного экономико-географического размещения, учитывающий топологию путей сообщения, клиентскую базу, площади областей транспортно-складского обслуживания.

4. Разработаны алгоритм и программный комплекс оценки вариантов размещения грузовых распределительных терминалов, распределения складских грузопотоков согласно размерам зон мультиагентного обслуживания потребителей складских услуг.

**Теоретическая и практическая ценность** научных результатов состоит в возможности использования методологического аппарата диссертационного исследования предприятиями транспорта в области складской логистики, дирекциями по управлению терминально-складским комплексом ОАО «РЖД» при подготовке, оценке и реализации инфраструктурных проектов размещения и развития грузовых распределительных центров, выбора рациональных форм распределения складских грузопотоков транспортных узлов.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационного исследования докладывались на международных научно-практических конференциях: ежегодные международные научно-практические конференции «Транспорт:

наука, образование, производство», «Транспорт-2013» - «Транспорт-2024» (Ростов-на-Дону, 2013–2024 гг.); «Современные аспекты транспортной логистики» (Хабаровск, 2014 г.); «Перспективы развития и эффективность функционирования транспортного комплекса юга России» (Ростов-на-Дону, 2014 г.); «Актуальные проблемы и перспективы развития транспорта, промышленности и экономики России» (Ростов-на-Дону, 2019, 2020 гг.); «Транспорт и логистика: инновационная инфраструктура, интеллектуальные и ресурсосберегающие технологии, экономика и управление» (Ростов-на-Дону, 2018 г.); «Транспорт и логистика: актуальные проблемы стратегического развития и оперативного управления» (Ростов-на-Дону, 2022 г.); «Современное развитие науки и техники» (Ростов-на-Дону, 2017 г.); а также на научно-практической конференции «Транспорт: логистика, строительство, эксплуатация, управление (TLC2M)», секция – «Цифровая железнодорожная станция» (УрГУПС), г. Екатеринбург, 2023 г.), заседаниях кафедр «Станции и грузовая работа», «Управление эксплуатационной работой» и «Логистика и управление транспортными системами» ФГБОУ ВО РГУПС (г. Ростов-на-Дону).

**Внедрение результатов работы.** Результаты диссертационного исследования используются в работе Северо-Кавказского территориального центра фирменного транспортного обслуживания – филиала ОАО «РЖД», Северо-Кавказской Дирекции по управлению терминально-складским комплексом – филиала ОАО «РЖД», в учебном процессе по специальности 23.05.04 «Эксплуатация железных дорог», специализация «Грузовая и коммерческая работа» в дисциплинах «Терминальные системы транспорта», «Управление грузовой и коммерческой работой», «Информационные технологии в грузовой и коммерческой работе», а также при разработке учебно-методических комплексов, в курсовом и дипломном проектировании. Имеются акты внедрения результатов исследования.

**Публикации.** Основное содержание диссертации и результаты исследования опубликованы в 27 научных работах общим объемом 12,01 п.л. (авторских - 6,6 п.л.), в том числе 5 статей – в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации, и 2 статьи – в наукометрических базах Scopus и WoS, 3 учебно-методических пособия в соавторстве.

**Структура и объем работы** определены целью и задачами, поставленными и решенными в ходе исследования. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка из 176 наименований и 5 приложений. Работа изложена на 158 страницах основного текста, содержит 34 рисунка, 31 таблицу.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационного исследования, определены цель и задачи исследования, предмет и объект исследования, теоретико-методологическая основа, научная новизна, практическая значимость, сформулированы положения, выносимые на защиту.



**В первой главе «Формирование и эксплуатация грузовых распределительных терминалов и складских комплексов транспортных узлов (на примере юга России)»** проведен анализ транспортно-складской системы юга России. Отмечается, что транспортно-складская сеть является ключевым элементом логистической инфраструктуры, оказывающим значительное влияние на эффективность и конкурентоспособность региональной экономики. Реализация проектов регионального развития невозможна без эффективной транспортно-складской инфраструктуры, правильных мест расположения терминалов (грузовых дворов, баз материально-технического снабжения и др.), выполняющих как функцию «буфера» между транспортом и производством, так и накопительно-распределительную функцию для множества потребителей продукции. Шесть самых крупных регионов РФ по общему объёму складской недвижимости – Екатеринбург (1,7 млн м<sup>2</sup>), Новосибирск (1,6 млн м<sup>2</sup>), Краснодар (1,2 млн м<sup>2</sup>), Самара (1,1 млн м<sup>2</sup>), Казань (1,1 млн м<sup>2</sup>), Ростов-на-Дону (0,9 млн м<sup>2</sup>) – формируют более половины качественного регионального складского рынка (51,6 %) (таблица 1).

Таблица 1 – Показатели рынка складской недвижимости регионов России (по данным интернет-ресурса *Knight Frank Research*)

Регион	Объем качественной складской недвижимости класса А, В, тыс/м <sup>2</sup>	Доля вакантных площадей класса А, В, %	Численность населения региона на 1 января 2022 г., тыс. чел.	Оборот розничной торговли в 2021 г., млрд руб.	Диапазон запрашиваемых ставок аренды на проекты сухих складских комплексов класса А, руб./м <sup>2</sup>
Екатеринбург	1619	4,3	4264	1228	5150-7560
Новосибирск	1560	3,2	2780	672	4166-6000
Ростов-на-Дону	888	9	4154	1158	3660-5800
Казань	874	0	3886	1086	4500-6000
Краснодар	870	4,2	5687	1908	5200-5800
Самара	835	6,8	3132	758	4200-7400
Воронеж	568	4,4	2288	681	4200-5400
Нижний Новгород	484	0,4	3144	881	4800-5600
Челябинск	345	3,5	3419	685	4500-5300
Красноярск	284	0,8	2849	636	4200-4700
Уфа	262	0	4002	1016	3500-5600
Волгоград	221	4,5	2450	478	5400-5900
Пермь	196	2	2557	616	5240-6640
Омск	124	9,1	1880	401	3840-6000

Для целей исследования определены принципы размещения узловых логистических грузовых распределительных центров (ЛГРЦ): близости, интеграции с инфраструктурой, дальнейшего развития, экологической устойчивости, обеспечения переработки транспортных потоков и грузопотоков, равной доступности, стратегического партнерства, транспортной безопасности.

Классификационные признаки транспортно-складских комплексов представлены на рис. 1.

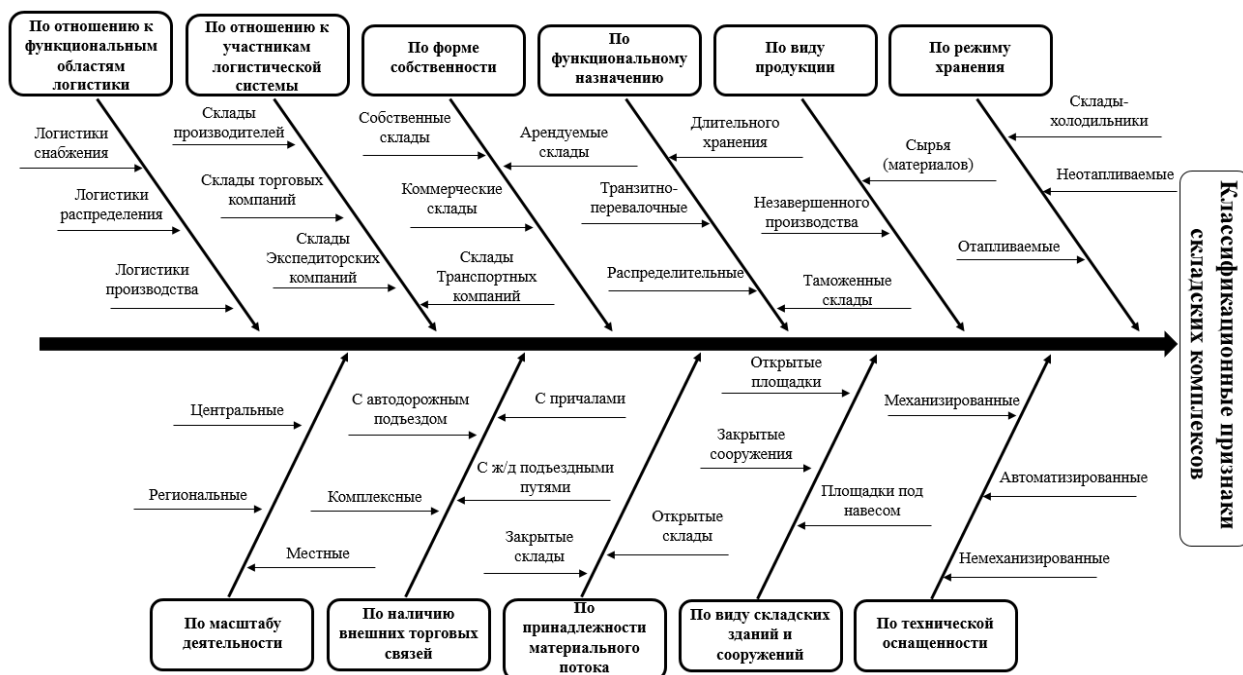


Рисунок 1 - Классификационные признаки транспортно-складских комплексов

Принятая классификация отражает технические характеристики складских объектов без учета их месторасположения. Складские помещения часто переоборудуют из бывших производственных территорий и овощехранилищ. В результате они имеют существенные недостатки как технологические, так и пространственно-планировочные.

Параметры транспортно-складских систем и процессов исследованы на примере характеристик основных железнодорожных транспортно-складских комплексов и терминалов важнейших узлов Юга России: «Р», «К», «А», «М».

Анализ размещения и номенклатуры товарно-материальных потоков терминально-складской сети узлов указывает на стихийный характер размещения. Формирование сети складских комплексов проводилось без учета существующего состояния и развития промышленного производства, социальной инфраструктуры, размещения трудовых ресурсов и пропускной способности транспортных коммуникаций. Это свидетельствует о необходимости разработки метода оценки вариантов размещения ЛГРЦ и терминалов в условиях мультиагентности транспортного обслуживания и новых логистических концепций – «грузовых деревень».

**Во второй главе «Методы проектирования и размещения логистических грузовых распределительных центров в транспортных узлах и городских агломерациях»** проведен анализ отечественного и зарубежного опыта обоснования рациональных параметров инфраструктуры узловых транспортно-складских систем. Установлено, что в задачах о размещении складских объектов и управлении складскими грузопотоками традиционно используются методы линейного и динамического программирования, теории массового обслуживания, теории надежности, теории графов, теории вероятностей, имитационное моделирование, балансовый метод, а также внедряются новые логистические методы на основе нечеткой логики и цифровизации.



Таблица 2 – Задачи и модели размещения узловых грузовых распределительных терминалов

Задачи	Модели и методы	Примечания
1 Выбор местоположения склада на основе кратчайших расстояний доставки, максимальных объемов переработки, минимума транспортных расходов	1.1 Двухкритериальные транспортные задачи закрытого (открытого) типа в матричной или сетевой форме (методы экономико-математического программирования) (поз. 1.1.1-1.1.5). 1.2 Метод мультиагентного экономико-географического размещения (рассматривается в гл. 3 диссертации).	1.1.1 Размеры грузопотоков и расстояния перевозок положительны. 1.1.2 Общий объем перевозок с терминала до потребителей не больше чем максимальная мощность терминала. 1.1.3 Все заявки потребителей должны быть обеспечены. 1.1.4 Баланс годовой заполняемости складов, баланс производства продукции в узле и поставок потребителям. 1.1.5 Общая формула $\Pi = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} \cdot x_{ij} \rightarrow \min$ ,
2 Выбор местоположения склада на основе заданного физического (координатного, массового и т.п.) или показательного критерия оптимизации	2.1 Модели определения кратчайших путей на сети (методы теории графов, поз. 2.1.1). 2.2 Модель «Манхэттенских расстояний» (поз. 2.2.1). 2.3 Гравитационный метод (поз. 2.3.1). 2.4 Метод центра тяжести по грузообороту (тарифу, расстоянию) (поз. 2.4.1). 2.5 Метод мультиагентного экономико-географического размещения (рассматривается в гл. 3 диссертации).	2.1.1 Топологический граф вида $G = \{X, U\}$ , где $X$ – множество вершин графа, $X \in \{X_1, X_2, X_3 \dots X_n\}$ ; $U$ – множество ребер графа, соединяющих вершины, $U \subseteq X \times X$ . 2.2.1 Минимум расстояний $r_{ij} = \sqrt{(x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2}$ , где $x_i, y_i$ – координаты поставщика, потребителя; $x_c, y_c$ – координаты склада. $P_c = \begin{cases} Q_i  x_i - x_c  \rightarrow \min \\ Q_i  y_i - y_c  \rightarrow \min \end{cases}$ . 2.3.1 $W_{ij} = \alpha \cdot \frac{q_{ij} \cdot Q_i}{l_{ij}^2}$ , где $l$ – расстояние между получателем и терминалом. 2.4.1 По грузообороту $X_i = \frac{\sum Q_i d_i x_i}{\sum Q_i d_i}$ , $Y_i = \frac{\sum Q_i d_i y_i}{\sum Q_i d_i}$ .
3 Выбор местоположения склада на основе весовых соотношений расстояний, заказов, конфигурации узла (города)	3.1 Метод «Виаль» (поз. 3.1.1). 3.2 Комбинаторные методы оптимизации, поз. 3.2.1). 3.3 Задача распределительного типа (задача формирования заказов и планирования завоза-вывоза грузов, поз. 3.3.1) 3.4 Модель И. фон Тунена (поз. 3.4.1). 3.5 Модель Вебера (поз. 3.5.1). 3.6 Метод В. Лаунхардта (поз. 3.6.1). 3.7 Модель весовых соотношений расстояний при постоянной производительности терминала на заданной территории. 3.8 Метод мультиагентного экономико-географического размещения (рассматривается в гл. 3 диссертации).	3.1.1 $V = \sum_{i=1}^n p_i l_i$ . 3.2.1 Игровые модели для участников рыночной конкуренции и областей обслуживания. 3.3.1 Формирование плана завоза-вывоза грузов на терминал при условии удовлетворения заказов потребителей. 3.4.1 $r = \frac{v_1 m_1 - v_2 m_2}{t(v_1 - v_2)}$ , где $v_1$ и $v_2$ – объемы производительности, $t$ – транспортный тариф. 3.5.1 $k = \frac{\text{вес локализованных материалов}}{\text{вес готовой продукции}}$ . 3.6.1 $R = y(P - MCB) - yMCG \cdot l$ , где $MCB = const$ – средние издержки производства, $MCG$ – средняя стоимость перевозки на единицу расстояния.
4 Выбор местоположения склада при нечеткой постановке задачи или нечетких параметрах грузораспределения	4.1 Метод двойного предпочтения с модификацией значения критерия. 4.2 Метод вариантных расчетов по сплошному перебору. 4.3 Имитационное моделирование. 4.3 Метод «относительного размещения производственных объектов». 4.4 Метод восьми шагов Шменнера (поз. 4.4.1). 4.5 Генетический компоновочный алгоритм	Формируется концепция развития узловой транспортно-складской системы, находятся варианты размещения ЛПРЦ, инфраструктура транспортно-складской системы представляется в виде набора элементов, формируются таблицы (матрицы) взаимосвязи объектов и технологических операций, устанавливаются логические приоритеты и связи складского обслуживания потребителей. 4.4.1 $\sum_{i=1}^n w_i \cdot C_i$ , где $w_i$ – весовой коэффициент для $i$ -го критерия, $C_i$ – оценка $i$ -го критерия для данной локации, $n$ – общее количество критериев.

Для целей исследования выполнен сравнительный анализ достоинств и недостатков существующих методов определения параметров складской сети (местоположение на плане узла, зоны и способы обслуживания, количество потребителей, рыночная эффективность и т.п.). Установлено, что каждый метод (модель) эффективен в конкретных условиях применения, обусловленных географией местности, параметрами склада, конфигурацией транспортных коммуникаций и складской инфраструктуры. Значительно сложнее в существующих моделях учитывать стоимостные параметры рыночной конкуренции совместно с конфигурацией транспортного узла, его коммуникаций и складской инфраструктуры. Это требует развития метода формирования сети узловых грузовых распределительных центров на экономико-географических принципах размещения с учетом мультиагентности транспортного обслуживания.

В третьей главе «Формирование сети узловых грузовых распределительных центров на принципах экономико-географического размещения с учетом мультиагентности транспортного обслуживания» представлена разработка метода формирования сети ЛГРЦ на основе модифицированных экономико-географических принципов. Достоинства метода: 1 – возможность оптимизации распределения грузопотоков за счет разбиения их на части согласно размерам областей обслуживания; 2 – возможность использования алгебраических кривых высших порядков для точного учета областей обслуживания ЛГРЦ; 3 – применение маршрутизационной геометрической евклидовой модели складской сети для расчета фактических расстояний развоза груза; 4 – линейная зависимость стоимости перевозки от длины маршрута для предварительного экспресс-анализа.

**Постановка задачи:** на заданной области транспортного узла, при известных количествах ЛГРЦ и потребителей, расстояниях между ЛГРЦ и потребителями ( $L$ , км), стоимостях перевозки грузов ( $c(l) = p + k_{\text{нп}} \cdot q \cdot l$ , тыс руб.) необходимо найти такой вариант распределения грузопотоков от мест расположения ЛГРЦ до потребителей, при котором расходы на транспортировку грузов с учетом мультиагентности и рыночной конкуренции будут минимальными.

$$P = \arg \min_j \sum_{k=1}^n (p_k^{\text{гп}} + K_{\text{нп}}^j q_k^{\text{гп}} l_{jk}), \quad (1)$$

т.е. находим номер месторасположения ЛГРЦ по критерию минимальных тарифных затрат на перевозку груза от этого центра до известных потребителей.

где  $p_k^{\text{гп}}$  – затраты на начально-конечные грузовые операции в аналитическом выражении стоимости перевозки;  $q_k^{\text{гп}}$  – движущие расходы на единицу расстояния;  $K_{\text{нп}}^j$  – коэффициент непрямолинейности ЛГРЦ;  $l_{jk}$  – расстояние от  $j$  до  $k$ ;  $j = 1, 2, \dots, m$  – пункты расположения ЛГРЦ;  $k = 1, 2, \dots, n$  – пункты расположения потребителей.

При этом учитываются такие факторы, как расстояния между ЛГРЦ и крупными клиентскими зонами, конфигурация географического распределения клиентов, местоположение источников входа-выхода узлового грузопотока, устойчивость звеньев транспортно-логистических цепей.

При построении математической модели, граница указанного массива – зона обслуживания (основной застроенной части узла) представлена в виде некоторой геометрической фигуры (круга, эллипса, прямоугольника, многоугольника, криволинейных контуров и др.).

Модификация метода экономико-географического размещения зон обслуживания ЛГРЦ позволяет строить *геометрическую евклидову модель транспортно-складского узла (ГЕМ ТУ)* для маршрутов грузовых перевозок.

Таблица 3 – Критерии рациональности экономико-географического размещения ЛГРЦ

Метод	Критерии	Примечание
Модифицированный экономико-географический метод размещения ЛГРЦ с учетом мультиагентности транспортно-складского обслуживания	$\mathcal{E} \rightarrow \min$	$\mathcal{E} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} \cdot x_{ij} \rightarrow \min$ $\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i; i = 1, 2, \dots, m; \sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j; j = 1, 2, \dots, n;$ <p><math>x_{ij}</math> – количество единиц груза, запланированных к перевозке от <math>i</math>-поставщика к <math>j</math>-потребителю.</p>
	$T \rightarrow \min$	$T = \frac{\Sigma L}{V_{\text{мар}}} + n \cdot t_{\text{п/в}} + n \cdot t_{\text{всп}}, \text{ час, где } \Sigma L - \text{ расстояние следования автомобиля, км; } V_{\text{мар}} - \text{ маршрутная скорость движения автомобиля, км/час; } t_{\text{п/в}} - \text{ время на погрузку-выгрузку автомобиля, час; } t_{\text{всп}} - \text{ норма времени на вспомогательные операции, час; } n - \text{ количество грузовых операций.}$
	$R \rightarrow \max$	$R = 1 - \frac{H}{H_{\text{max}}}, \text{ где } R - \text{ уровень относительной организации системы или «избыточность»}; H - \text{ текущее значение неопределенности системы; } H_{\text{max}} - \text{ максимально возможная неопределенность системы.}$ $H = -(p \cdot \log_a p + q \cdot \log_a q).$ <p>Для полностью детерминированной системы <math>H = 0</math> и <math>R = 1</math>. Если система полностью дезорганизована, <math>H = H_{\text{max}}</math> и <math>R = 0</math>. Следовательно, <math>0 \leq R &lt; 1</math>.</p>
	$Y \rightarrow \min$	<p>Вредные воздействия на окружающую среду от выбросов транспортных средств:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- для автомобилей с дизельным двигателем <math>Y_a = 3,88 \cdot \frac{l}{\beta \cdot g \cdot \gamma}</math>, руб/т, где <math>l</math> – расстояние перевозки груза, км; <math>\beta</math> – коэффициент использования пробега, <math>\beta = 0,49</math>; <math>\gamma</math> – коэффициент использования грузоподъемности, <math>\gamma = 0,8</math>; <math>g</math> – грузоподъемность автотранспортного средства, <math>g = 5</math> т;</li> <li>- для ж.-д. доставки по расходу топлива для выработки электроэнергии тепловой электростанцией и соответствующими размерами выбросов <math>Y_{\text{тепл}}^{\text{тэс}} = 0,113 \cdot l \cdot a_{\text{эл}} \cdot 10^{-6}</math>, руб/т, где <math>a_{\text{эл}}</math> – удельный расход электроэнергии, кВт-ч/млн т-км.</li> </ul>
$D \rightarrow \max$	<p>Охват территории узла транспортной инфраструктурой ЛГРЦ по коэффициенту Энгеля <math>D = \frac{L}{\sqrt{SH}}</math>, где <math>L</math> – общая длина транспортных связей ЛГРЦ, км; <math>S</math> – площадь зоны обслуживания ЛГРЦ, км<sup>2</sup>; <math>H</math> – численность населения зоны обслуживания, чел.</p>	

**Описание ГЕМ ТУ при мультиагентности транспортного обслуживания.** На плоской географической карте транспортного узла вводится декартова система координат. Мультиагентность включает несколько ( $n > 2$ ) складских центров, каждый из которых находится в своей точке  $O_i(x_i, y_i)$ . Для каждого  $i$ -го участника ( $i = 1, 2 \dots, n$ ) определяется стоимость начально-конечных операций  $p_i$  и стоимость движенческих операций на 1 км пути  $q_i$ . Общая стоимость доставки груза из ЛГРЦ  $O_i(x_i, y_i)$  в точку  $(x, y)$  для  $i$ -го центра:

$$C_i(x_i, y_i) = p_i + q_i \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}. \quad (2)$$

Границы областей влияния определяются уравнениями:

$$p_i + q_i \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} = p_j + q_j \sqrt{(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2}. \quad (3)$$

Разграничительные линии имеют формы окружностей, гипербол, или более сложных кривых 4-го порядка в зависимости от параметров.

Построение математической модели транспортно-логистического процесса методом экономико-географического размещения предполагает выполнение предварительного анализа рассматриваемой ситуации.

В начале определяется стоимость  $c$  (тыс руб.) перевозки одной авто-транспортной единицы с грузом к потребителям. Предварительно принята линейная зависимость стоимости от длины  $l$  (км) пройденного маршрута. Данные обрабатываются методом наименьших квадратов. Тогда для каждого из узлового ЛГРЦ имеет место равенство:  $c = p + q \cdot l$ , где  $p$  и  $q$  – соответственно стоимость начально-конечных операций и стоимость движенческих операций на 1 км пути, приходящихся на одну транспортную единицу.

Первоначально транспортные маршруты предполагаются прямолинейными и поэтому их длины представляют собой евклидовы расстояния между их началами и концами. Однако реальная длина маршрута во многих случаях существенно превосходит евклидово расстояние от ЛГРЦ до потребителя. В связи с этим вводится в ГЕМ ТУ коэффициент непрямолинейности  $k_{\text{нп}}$  субъекта перевозочного процесса. Пусть  $l_e$  и  $l_m$  – соответственно прямые евклидовы расстояния и тарифные расстояния от данного субъекта грузоперевозок (ЛГРЦ) до пунктов назначения. Будем исходить из того предположения, что отношение  $\frac{l_m}{l_e}$  является случайной величиной  $\xi$ , имеющей равномерный закон распределения. Для данного субъекта грузоперевозок коэффициентом непрямолинейности  $k_{\text{нп}}$  будем называть среднее арифметическое указанных отношений, вычисленных для всех рассматриваемых пунктов назначения. Также определяется средний коэффициент непрямолинейности  $K_{\text{ср.нп}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_{\text{нп},i}$ , который позволяет обобщить данные для группы потребителей и получить усредненное значение для оценки системы грузораспределения. После вычислений  $K_{\text{ср.нп}}$  на примере узла «Р» получено, что коэффициенты непрямолинейности для ЛГРЦ «Г», «С» и «Ю» соответственно равны  $k_{\text{г}} = 1,53$ ,  $k_{\text{с}} = 1,76$  и  $k_{\text{ю}} = 1,70$ . Этот показатель дает представление о средней степени отклонения фактических маршрутов от прямых расстояний для потребителей, обслуживаемых ЛГРЦ.

Формируются матрицы объемов перевозок, координат, кратчайших (маршрутных) расстояний между каждым ЛГРЦ и каждым потребителем, учитывающие реальную транспортную сеть (таблица 4).

С учетом коэффициента дорожной непрямолинейности для  $i$ -го участника зоны обслуживания определяются уравнением линий 2-го и 4-го порядков:

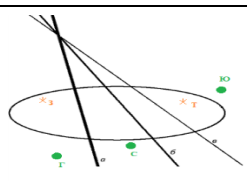
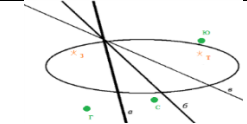
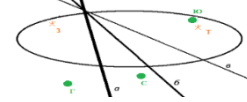
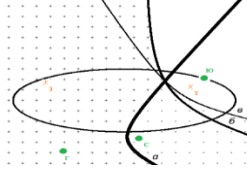
$$p_1 + k_1 q_1 \sqrt{x^2 + y^2} = p_2 + k_2 q_2 \sqrt{(x - L)^2 + y^2} \quad (4)$$

Таблица 4 – Фрагмент ведомости параметров транспортной сети (на примере узла «Р»)

Матрица координат												
№ п/п	ЛГРЦ			№ п/п	Ж.-д. станции			№ п/п	Потребители			
	Усл. имя	$x$	$y$		Усл. имя	$x$	$y$		Усл. имя	$x$	$y$	
1	«Г»	-4,2	-5,8	1	«Р-3»	-5,3	0,7	1	П1	0,7	1,9	
2	«С»	1,3	-4,7	2	«Р-Т»	5,1	0,35	2	П2	2,6	2,6	
3	«Ю»	6	1,1					3	П3	3	2	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
$n$	...	$x_i$	$y_i$	$n$	...	$x_i$	$y_i$	$n$	...	$x_i$	$y_i$	
Матрица расстояний												
№ п/п	ЛГРЦ «Г»				ЛГРЦ «С»				ЛГРЦ «Ю»			
	$L_{кр}$	$L_{евк}$	$K_{нп}$	$K_{ср}$	$L_{кр}$	$L_{евк}$	$K_{нп}$	$K_{ср}$	$L_{кр}$	$L_{евк}$	$K_{нп}$	$K_{ср}$
П1	14,0	8,8	1,59	1,53	11	6,5	1,69	1,76	9,9	5,3	1,87	1,7
П2	15,9	11	1,45		11	7,3	1,51		7,2	3,6	2,0	
П3	15,3	11	1,39		9,7	6,8	1,43		6,5	3,1	2,1	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$n$	$L_{крi}$	$L_{евкi}$	$K_{нпi}$	$K_{срi}$	$L_{крi}$	$L_{евкi}$	$K_{нпi}$	$K_{срi}$	$L_{крi}$	$L_{евкi}$	$K_{нпi}$	$K_{срi}$

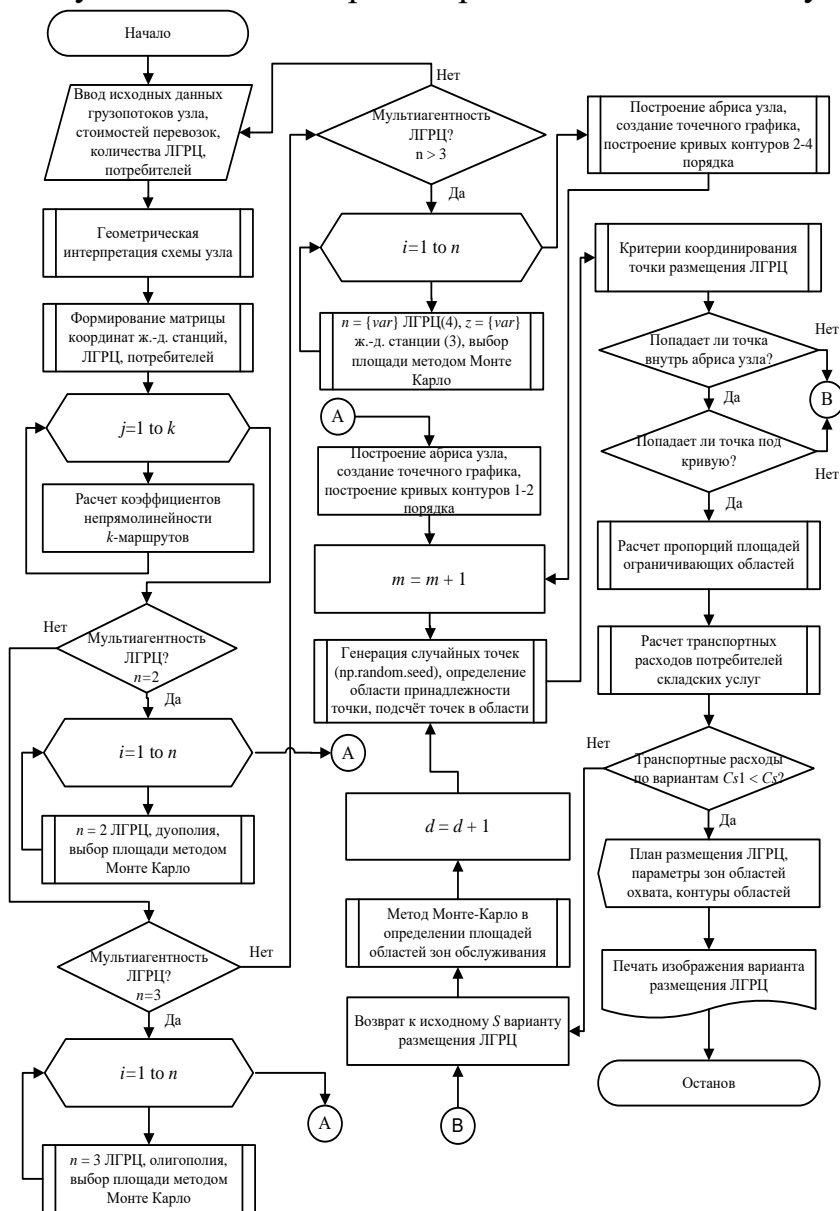
На примере узла «Р» в таблице 5 представлены визуализации итераций по определению оптимальных зон обслуживания ЛГРЦ.

Таблица 5 – Итерации определения зон обслуживания ЛГРЦ

№№ итера- ций	Координаты ЛГРЦ «Ю»		Площадь зоны обслу- живания ЛГРЦ, км <sup>2</sup>			Описание	Визуальное представление
	$x$	$y$	«Г»	«С»	«Ю»		
1	8	1,6	22,41	36,2	16,7	ЛГРЦ «Ю» за пределами основной зоны	
...	5	1,6	22,41	24,8	28,08	ЛГРЦ «Ю» у границы ос- новной зоны	
...	5	1,2	22,4	23,7	29,2	ЛГРЦ «Ю» внутри ос- новной зоны	
...	5	1,2	22,4	23,7	29,2	При измене- нии стоимо- стей началь- но-конечных операций	

Лучшим считается вариант, при котором суммарные затраты на транспортировку груза минимальны, а конкурентная эффективность зоны мультиагентного обслуживания ЛГРЦ для потребителей максимальна.

В четвертой главе «Реализация программного комплекса выбора рациональных экономико-географических параметров сети логистических грузовых распределительных центров транспортного узла» представлены авторский алгоритм (рис. 2) и программный комплекс определения параметров зон мультиагентного транспортно-складского обслуживания ЛГРЦ.



Авторский программный комплекс разработан в среде *Maxima* с применением графических библиотек языка программирования *Python*. Рассмотрены результаты программного моделирования зон обслуживания ЛГРЦ на примере основных транспортных узлов: «Р», «К», «А», «М». Для транспортного узла «Р» основная территория представлена в виде эллипса, потребители услуг (принято 60 потребителей) ЛГРЦ равномерно распределены по территории. Железнодорожные перевозки выполняется двумя грузовыми станциями «Р-Т» и «Р-З», откуда грузы доставляются автомобильным транспортом в три ЛГРЦ: «Г», «С» и «Ю».

Рисунок 2 – Блок-схема программного комплекса

После обработки грузы попадают в розничные торговые точки. ЛГРЦ также получают продукцию от различных производственных предприятий (центральных складов).

Результаты работы программного комплекса представлены на рис. 3.

Формируются ведомости (табл. 5-8) транспортных расходов по вариантам зон мультиагентного обслуживания потребителей ЛГРЦ при итерациях размещения.

Таким образом, при заданных параметрах складского обслуживания 60-и потребителей наиболее выгодным вариантом для большинства клиентов явля-

ется ЛГРЦ «Ю» (таблица 5, рисунок 3) (общее количество обслуживаемых потребителей – 39, начальное поступление груза со станции «Р-Т»).

Таблица 5 – Стоимости транспортного обслуживания потребителей (тыс руб.) в зависимости от размеров зон обслуживания ЛГРЦ узла «Р» и вариантов поступления грузов

Количество потребителей	ЛГРЦ «Г» (ст. «Р-Т»)	ЛГРЦ «Г» (ст. «Р-3»)	ЛГРЦ «С» (ст. «Р-Т»)	ЛГРЦ «С» (ст. «Р-3»)	ЛГРЦ «Ю» (ст. «Р-Т»)	ЛГРЦ «Ю» (ст. «Р-3»)	Оптимальный вариант
39	1408,9	1115,8	1201,8	1832,8	<b>893,8</b>	1416,9	ЛГРЦ «Ю» (ст. «Р-Т»)
6	170,2	125,2	<b>90,0</b>	141,8	135,1	180,4	ЛГРЦ «С» (ст. «Р-Т»)
15	367,8	<b>255,1</b>	335,9	566,6	449,6	622,8	ЛГРЦ «Г» (ст. «Р-3»)

Таблица 6 – Стоимости транспортного обслуживания потребителей (тыс руб.) в зависимости от зон обслуживания ЛГРЦ узла «К» и вариантов поступления грузов

Количество потребителей	ЛГРЦ «Е» (ст. «К-2»)	ЛГРЦ «А» (ст. «К-2»)	ЛГРЦ «W» (ст. «К-2»)	ЛГРЦ «Е» (ст. «К-С»)	ЛГРЦ «А» (ст. «К-С»)	ЛГРЦ «W» (ст. «К-С»)	Оптимальный вариант
54	1529,2	1815,8	1207,8	1750,6	1859	<b>959,4</b>	ЛГРЦ «W» (Ст. «К-С»)
12	<b>228,3</b>	440,3	338,4	277,5	449,9	283,2	ЛГРЦ «Е» (Ст. «К-2»)
4	140,5	<b>88,4</b>	113	156,9	91,6	94,6	ЛГРЦ «А» (Ст. «К-2»)

ЛГРЦ «С» обслуживает 6 потребителей при поступлении грузов со станции «Р-Т», а ЛГРЦ «Г» обслуживает 15 потребителей при поступлении грузов со станции «Р-3». При одном полурейсе грузовых автомобилей к потребителям в узле развозится 300 т груза, транспортные расходы составили 1238,9 тыс руб. Результаты, полученные для мультиагентной ситуации определения зон обслуживания ЛГРЦ (табл. 9) представляют собой части внутренности эллипса: для ЛГРЦ «Ю» – это внутренняя часть эллипса с площадью 29,95 км<sup>2</sup>; для ЛГРЦ «С» – площадь зоны обслуживания равна 19,24 км<sup>2</sup>; для ЛГРЦ «Г» – площадь равна 26,21 км<sup>2</sup>. Получено сокращение транспортных расходов на 688 тыс руб.; сократилась плата за вредные выбросы грузового автотранспорта на 37,9 тыс руб.; сократилось общее время работы грузового автотранспорта при одном полурейсе на 0,3 сут; уровень относительной организации системы транспортно-складского обслуживания ЛГРЦ увеличился на 2 %; однако транспортная привлекательность по коэффициенту Энгеля, зависящая от общей длины транспортных путей ЛГРЦ (L), площади территории зоны обслуживания ЛГРЦ (S) и численности населения зоны Н (принято для узла «Р» - 3272,56 чел./км<sup>2</sup>, всего для зон обслуживания – 247000 чел), снизилась первоначально на 20–30 % из-за сокращения дальности маршрутов развоза грузов и увеличения численности зоны.

Из результатов моделирования сети ЛГРЦ транспортного узла «К» (рисунок 3) следует (табл. 6): получено перераспределение получателей (всего 70) транспортно-складских услуг по зонам обслуживания узловых ЛГРЦ (ЛГРЦ «W» является наиболее выгодным вариантом для большинства потребителей – общее количество потребителей 54, площадь зоны обслуживания – 207,1 км<sup>2</sup>).



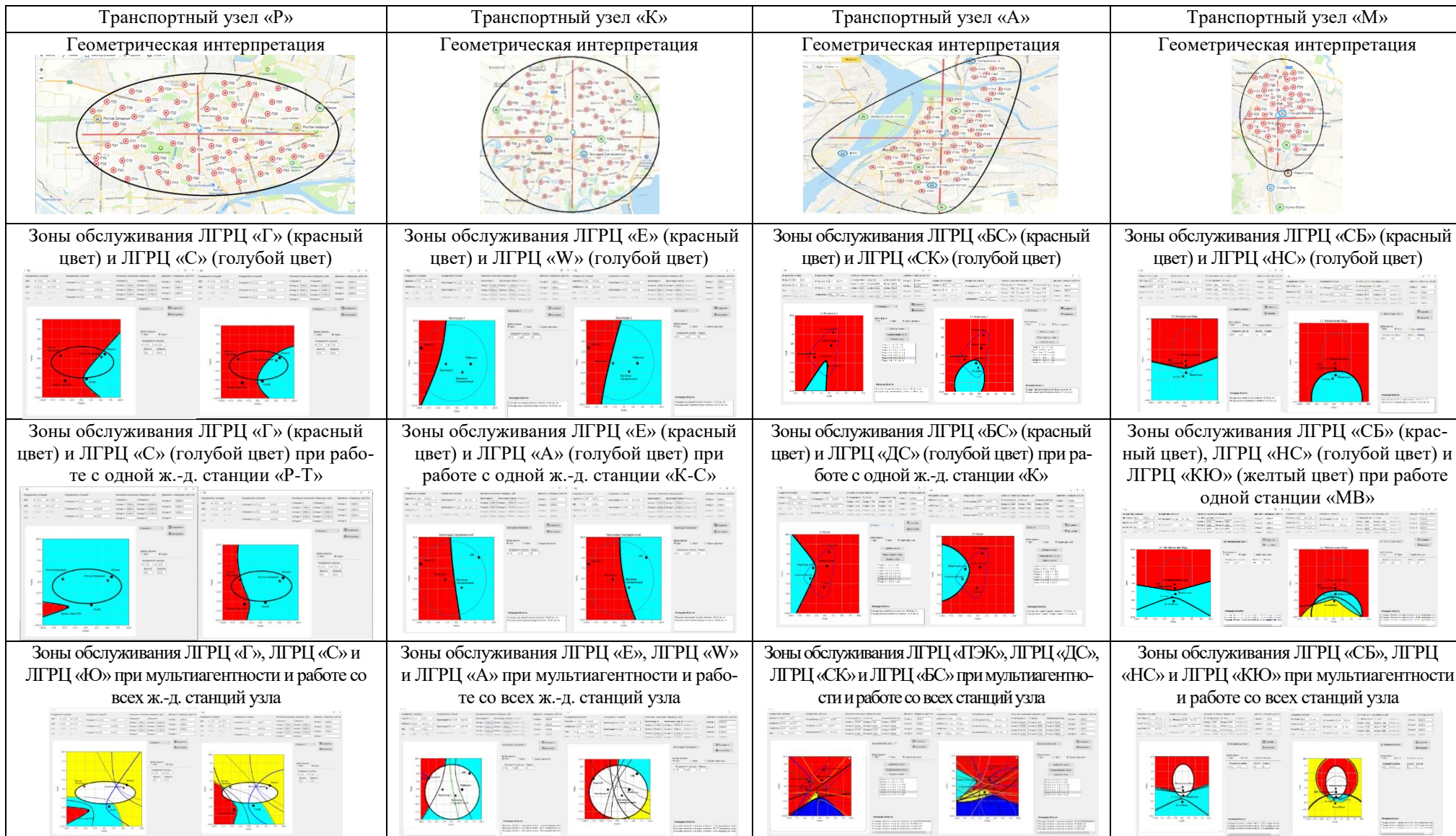


Рисунок 3 – Результаты программного моделирования зон обслуживания ЛГРЦ узла «Р», «К», «А», «М»

ЛГРЦ «Е» (Ст. «К-2») общее количество потребителей 12, площадь зоны обслуживания равна 44,52 км<sup>2</sup>; ЛГРЦ «А» (Ст. «К-2») общее количество потребителей 4, площадь зоны равна 2,72 км<sup>2</sup>. Получено сокращение транспортных расходов на 754 тыс руб. при одном полурейсе развоза 350 т груза. Но увеличились платы за вредные выбросы грузового автотранспорта на 100 тыс руб. за счет концентрации маршрутов на один терминал; сократилось общее время работы грузового автотранспорта при одном полурейсе на 0,16 сут; уровень относительной организации системы транспортно-складского обслуживания ЛГРЦ увеличился в среднем на 2-4 %; транспортная привлекательность по коэффициенту Энгеля (принято для узла «К» - 3802,17 чел./км<sup>2</sup>, всего для зон обслуживания – 967000 чел), снизилась на 30 % из-за сокращения дальности маршрутов развоза грузов и увеличения населенности зоны потребителей.

Таблица 7 – Стоимости транспортного обслуживания потребителей (тыс руб.) в зависимости от зон обслуживания ЛГРЦ узла «А» и вариантов поступления грузов

Кол-во потребителей	«СК» (ст. А-2)	«ПЭК» (ст. А-2)	«БС» (ст. А-2)	«ДС» (ст. А-2)	«СК» (ст.К)	«ПЭК» (ст. К)	«БС» (ст. К)	«ДС» (ст. К)	«СК» (ст.П)	«ПЭК» (ст. П)	«БС» (ст.П)	«ДС» (ст. П)	Оптимальный вариант
44	836,7	1027,9	652,3	1031,1	<b>308,7</b>	411,9	511,5	731,9	559,5	794,7	586,3	445,9	«СК» (ст. К)
4	89,4	107,8	52,4	99,5	41,4	51,8	<b>39,6</b>	72,3	64,2	86,6	46,4	46,3	«БС» (ст. К)
2	35,3	35,6	35,8	49,4	11,3	<b>7,6</b>	29,4	35,8	22,7	25	32,8	22,8	«ПЭК» (ст. К)
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ЛГРЦ «ДС»

Таблица 8 – Стоимости транспортного обслуживания потребителей (тыс руб.) в зависимости от зон обслуживания ЛГРЦ узла «М» и вариантов поступления грузов

Количество потребителей	ЛГРЦ «СБ» (ст. МВ)	ЛГРЦ «КЮ» (ст. МВ)	ЛГРЦ «НС» (ст.МВ)	ЛГРЦ «СБ» (ст.5км)	ЛГРЦ «КЮ» (ст. 5км)	ЛГРЦ «НС» (ст. 5км)	Оптимальный вариант
38	360,4	563,4	480,6	<b>337,6</b>	544,4	461,6	ЛГРЦ «СБ» (Ст. «5км»)
2	22,4	34,7	25,2	<b>21,2</b>	33,7	24,2	ЛГРЦ «НС» (Ст. «5км»)
0	-	-	-	-	-	-	ЛГРЦ «КЮ»

Из результатов моделирования сети ЛГРЦ транспортного узла «А» (рисунок 3) следует (табл. 7): ЛГРЦ «СК» (Ст. «К») является наиболее выгодным вариантом для большинства потребителей (всего 50), общее количество потребителей 44, площадь зоны обслуживания – 17,05 км<sup>2</sup>; ЛГРЦ «БС» (Ст. «К») общее количество потребителей 4, площадь зоны обслуживания равна 20,1 км<sup>2</sup>; ЛГРЦ «ПЭК» (Ст. «К») общее количество потребителей 2, площадь зоны равна 12,6 км<sup>2</sup>. Получено сокращение транспортных расходов на 98,1 тыс руб. при одном полурейсе развоза 250 т груза; но увеличились платы за вредные выбросы грузового автотранспорта на 30 тыс руб. за счет концентрации маршрутов на один терминал; сократилось общее время работы грузового автотранспорта при одном полурейсе на 0,3 сут; уровень относительной организации системы транспортно-складского обслуживания ЛГРЦ увеличился в среднем на 2-4 %; транспортная привлекательность по коэффициенту Энгеля (плотность принята для узла «А» - 2230,7 чел./км<sup>2</sup>, всего для зон обслуживания – 154000 чел), снизилась на 30-40 % по аналогичным причинам.

Из результатов проектирования сети ЛГРЦ транспортного узла «М» следует (табл. 8): ЛГРЦ «СБ» (Ст. «5км») – общее количество потребителей 38, площадь зоны обслуживания – 63,37 км<sup>2</sup>; ЛГРЦ «НС» (Ст. «5км») общее количество потребителей – 2, площадь зоны обслуживания – 5,68 км<sup>2</sup>; ЛГРЦ «СБ» оказался самым экономичным вариантом для 38 из 40 потребителей; получено сокращение транспортных расходов на 73,9 тыс руб. при одном полурейсе развоза 200 т груза; но увеличились платы за вредные выбросы грузового автотранспорта на 25 тыс руб. за счет концентрации маршрутов на один терминал; сократилось общее время работы грузового автотранспорта при одном полурейсе на 0,15 сут; уровень относительной организации системы транспортно-складского обслуживания ЛГРЦ увеличился по основному терминалу «СБ» с 0,768 до 0,945; транспортная привлекательность по коэффициенту Энгеля (плотность принята для узла «М» - 1367,31 чел./км<sup>2</sup>, всего для зон обслуживания – 94000 чел), снизилась на 30-40 %.

На основе метода экспертных оценок рассчитан интегральный показатель эффективности организации территориально-планировочных решений зон обслуживания узловых ЛГРЦ, который составил для крупных узловых ЛГРЦ, обслуживающих более 30 потребителей составил 8,89 - 40,45 % (при этом меньшие значения соответствуют кратному увеличению потребителей и соответственно транспортных расходов), для среднего ЛГРЦ, обслуживающего от 15 до 30 потребителей – 17,04 %, для малых ЛГРЦ, обслуживающих до 15 потребителей – 2,86–6,24 % (причем значение может резко возрасти при небольшом приросте потребителей и сокращении транспортных расходов, как, например, у ЛГРЦ «С» для транспортного узла «Р»– 60,65 %).

Результаты моделирования узловых сетей грузовых распределительных терминалов на принципах мультиагентного экономико-географического размещения сведены в таблице 9.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Результаты исследований позволяют сделать основные выводы:

1. Исследованы аспекты формирования региональной системы складского хозяйства (на примере Юга России), технологические особенности взаимодействия складских комплексов и видов узлового транспорта. Отмечено, что регионы России формируют более 50 % от общего объема предложения качественных складских услуг (Краснодар – 1,2 млн м<sup>2</sup>, Ростов-на-Дону – 0,9 млн м<sup>2</sup>).

2. Выполнена классификация складских комплексов и логистических терминалов (ЛГРЦ), которая требует развития в части учета их местоположения. Установлены принципы размещения ЛГРЦ в узлах в условиях рыночной мультиагентности транспортно-складского обслуживания. Выполнен SWOT-анализ товароснабжения при децентрализованной и централизованной системах транспортно-складского обслуживания. Рассмотрена перспектива развития узловых транспортно-складских процессов на основе новых логистических концепций – «грузовых деревень».

3. Исследован отечественный и зарубежный научный опыт проектирования и размещения узловой транспортно-складской инфраструктуры. Выполнена классификация и сравнительная характеристика задач, моделей и методов формирования узловой сети ЛГРЦ. Установлено, что существующая методика выбора мест размещения ЛГРЦ требует развития на основе мультиагентных экономико-географических принципов.

Таблица 9 – Ведомость показателей результатов проектирования сети ЛГРЦ транспортных узлов

ТУ	ЛГРЦ	Количество потребителей		Площадь «области влияния», км <sup>2</sup>		Транспортные расходы, тыс руб.		Плата за выбросы от автотранспортных средств, тыс руб.		Временная эффективность доставки, сут		Уровень относительной организации системы		Коэффициент Энгеля	
		Сущ.	Проект	Сущ.	Проект	Сущ.	Проект	Сущ.	Проект	Сущ.	Проект	Сущ.	Проект	Сущ.	Проект
«Р»	«Г»	25	15	39,0	26,21	367,8	255,1	59,39	17,12	0,35	0,19	0,789	0,792	1,07	0,08
	«С»	5	6	18,3	19,24	141,8	90,0	3,56	1,92	0,14	0,08	0,827	0,819	0,07	0,03
	«Ю»	30	39	18,1	29,95	1416,9	893,8	116,5	122,6	0,55	0,46	0,796	0,823	0,38	0,19
Итого по узлу		60	60	75,4	75,4	1926,9	1238,9	179,5	141,6	1,04	0,73	0,878		0,16	0,11
«К»	«Е»	26	12	95,44	44,52	820,6	228,3	104,8	10,3	0,57	0,15	0,798	0,817	0,07	0,03
	«W»	30	54	107,1	207,1	710,9	959,4	158,7	385,8	0,74	1,29	0,799	0,865	0,08	0,06
	«А»	14	4	51,8	2,72	498,6	88,4	34,4	0,92	0,36	0,07	0,810	0,903	0,08	0,14
Итого по узлу		70	70	254,34	254,34	2030,1	1276,1	297,9	397,0	1,67	1,51	0,837		0,08	0,05
«М»	«СБ»	20	38	35,02	63,37	177,97	337,6	18,7	64,1	0,16	0,26	0,768	0,945	0,07	0,07
	«НС»	14	2	24,02	5,68	174,3	21,2	18,2	0,32	0,21	0,06	0,755	0,714	0,15	0,08
	«КЮ»	6	0	10,01	0	80,4	0	2,5	0	0,1	0	0,764	0	0,12	0
Итого по узлу		40	40	69,05	69,05	432,67	358,8	39,4	64,4	0,47	0,32	0,812		0,11	0,07
«А»	«БС»	10	4	27,0	20,1	138,2	39,6	4,4	0,4	0,1	0,06	0,783	0,799	0,03	0,01
	«ДС»	5	0	19,15	19,15	53,3	0	1,3	0	0,07	0	0,798	0	0,03	0
	«СК»	32	44	9,85	17,05	237,5	308,7	54,5	90,0	0,26	0,31	0,811	0,903	0,37	0,26
	«ПЭК»	3	2	12,9	12,6	25,0	7,6	0,3	0,1	0,06	0,05	0,794	0,758	0,02	0,01
Итого по узлу		50	50	68,9	68,9	454,0	355,9	60,5	90,5	0,49	0,42	0,823		0,08	0,07

4. Разработана авторская методика формирования узловой сети грузовых распределительных терминалов на мультиагентных экономико-географических принципах размещения. Отмечены ключевые достоинства развиваемого подхода, которые связаны с возможностью оптимизации распределения грузопотоков согласно принципам мультиагентности и размерам зон обслуживания ЛГРЦ, использования алгебраических кривых высших порядков для повышения точности расчетов, формирования модифицированной геометрической евклидовой маршрутной модели складской сети с учетом коэффициентов непрямолинейности расстояний между началами и концами транспортировки груза, формирования зависимостей стоимостей перевозок от длин маршрутов с возможностью применения для предварительного экспресс-анализа.

5. Сформированы критерии рациональности местоположения узловых ЛГРЦ в условиях мультиагентности транспортного обслуживания на основе экономической, временной и транспортной эффективности, устойчивости складской системы, экологических принципов.

6. Разработан алгоритм и программный комплекс модифицированного экономико-географического метода размещения ЛГРЦ в транспортных узлах в среде *Maxima* и графических библиотек языка программирования *Python*. Выполнена апробация узловых компоновочных решений на примере компьютерного моделирования сети ЛГРЦ юга России: «Р», «К», «А», «М».

7. В результате проектирования узловой сети ЛГРЦ получено перераспределение количества получателей транспортно-складских услуг, определены параметры площадей зон обслуживания по вариантам размещения ЛГРЦ, сокращены автотранспортные расходы для четырех узлов на 15–25 % при одном груженом полурейсе развоза 200–350 т груза, уменьшилось общее время работы грузового автотранспорта при одном полурейсе на 0,15–0,3 сут за счет оптимизации маршрутов развоза, уровень относительной организации узловой системы транспортно-складского обслуживания ЛГРЦ увеличился в среднем на 2–4 %. Однако по некоторым вариантам размещения ЛГРЦ за счет концентрации грузовой работы увеличилась плата за вредные выбросы от грузового автотранспорта и снизилась транспортная привлекательность для населения. Но эти проблемы могут быть решены за счет выбора более экологичных видов грузового автотранспорта и преобразования ЛГРЦ в «грузовые деревни», что в перспективе обеспечит увеличение прибыльности складского бизнеса.

8. Для анализа разноразмерных параметров и слабоформализуемых показателей транспортно-складского обслуживания выполнен интегральный расчет эффективности организации территориально-планировочных решений ЛГРЦ на основе метода экспертных оценок. Интегральный показатель эффективности зон обслуживания для крупных узловых ЛГРЦ, обслуживающих более 30 потребителей, составил 8,89 - 40,45 % (при этом меньшие значения соответствуют кратному увеличению потребителей и соответственно транспортных расходов), для среднего ЛГРЦ, обслуживающего от 15 до 30 потребителей – 17,04 %, для малых ЛГРЦ, обслуживающих до 15 потребителей – 2,86–6,24 % (значение может резко возрастать при небольшом приросте потребителей и сокращении транспортных расходов, как, например, у ЛГРЦ «С» ТУ «Р» – 60,65 %).

### **Рекомендации и перспективы дальнейших исследований по теме:**

1. При разработке вариантов размещения ЛГРЦ на плане узла необходимо учитывать весь комплекс инструментария оценки компоновочных решений с учетом стратегий рыночной конкуренции.

2. Для оценки вариантов компоновочных решений и конфигурации сети ЛГРЦ целесообразно использовать коэффициент непрямолинейности – отклонение фактических расстояний путей сообщения от расчетных для повышения точности расчетов.

3. Методика формирования узловой сети грузовых распределительных терминалов на экономико-географических принципах размещения в условиях мультиагентности требует комплексного исследования с использованием большого объема данных. Для дирекций по управлению терминально-складским комплексом ОАО «РЖД» следует сформировать электронную базу данных ЛГРЦ для создания автоматизированного научно-методического комплекса оценки складских инфраструктур транспортных узлов.

4. Разработанный в диссертации экономико-географический метод размещения ЛГРЦ в условиях мультиагентности транспортных услуг имеет динамический характер и может быть адаптирован к складским процессам транспортного производства других видов транспорта.

### **Основное содержание диссертационного исследования отражено в публикациях**

*Научные работы, опубликованные в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ и международных базах данных:*

1. Трапенов, В.В. Комплекс проектирования сети узловых логистических грузовых распределительных центров в условиях мультиагентности транспортного обслуживания / В.В. Трапенов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 3. – С. 123-135. – DOI 10.46973/0201-727X\_2024\_3\_90

2. Modeling the terminal-warehouse network of transport nodes / O. N. Chislov, V. V. Trapenov, V. A. Bogachev, V. M. Zadorozhny, A. S. Kravets // AIP Conf. Proc. 26 December 2023; 2624 (1): 040055. DOI 10.1063/5.0146708.

3. Числов, О.Н. Развитие узловой терминально-складской инфраструктуры: модификация методов исследования и прогнозы / О. Н. Числов, В. А. Богачев, В. В. Трапенов [и др.] // Бюллетень результатов научных исследований. – 2023. – № 3. – С. 46-57. – DOI 10.20295/2223-9987-2023-3-46-57.

4. Method of economic-geographical delimitation of competitive territories which served by the logistics cargo distribution centers of a transport hub / O. Chislov, V. Bogachev, V. Trapenov [et al.] // E3S Web of Conferences : International Scientific Conference “Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East” (AFE-2022), Tashkent, Uzbekistan, 25–28 января 2023 года. Vol. 371. – Tashkent, Uzbekistan: EDP Sciences, 2023. – P. 05065. – DOI 10.1051/e3sconf/202337105065.

5. Числов, О.Н. Конфигурирование терминально-складской инфраструктуры транспортного узла на основе развития метода экономико-географического разграничения грузопотоков / О. Н. Числов, В. А. Богачев, В.

В. Трапенов [и др.] // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2022. – Т. 19, № 4. – С. 800-811. – DOI 10.20295/1815-588X-2022-4-800-811.

6. Числов, О.Н. Методы формирования и принципы интеллектуализации в управлении терминально-складской системой транспортного узла / О. Н. Числов, В. В. Трапенов, В. В. Алабина, М. В. Бакалов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2021. – № 1(81). – С. 104-114. – DOI 10.46973/0201-727X\_2021\_1\_104.

7. Числов, О. Н. Методы рационального размещения логистических транспортно-складских комплексов и распределения грузопотоков в крупных городских агломерациях / О. Н. Числов, В. В. Трапенов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2016. – № 1(61). – С. 87-97. ISSN: 0201-727X.

*Публикации в журналах и научных сборниках:*

8. Числов, О. Н. Цифровизация управленческих решений в задачах о размещении логистических терминалов и распределении грузопотоков транспортного узла / О. Н. Числов, В. В. Трапенов // Транспорт: логистика, строительство, эксплуатация, управление : сборник трудов Международной научно-практической конференции, Выпуск 7 (255). – Екатеринбург: Уральский государственный университет путей сообщения, 2023. – С. 11-14.

9 Трапенов, В. В. Особенности разработки имитационной модели работы транспортно-складского комплекса / В. В. Трапенов, Н. М. Луганченко // Транспорт и логистика: актуальные проблемы стратегического развития и оперативного управления : VI международная научно-практическая конференция, – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2022. – С. 233-236.

10. Трапенов, В. В. "Зеленая логистика" в эксплуатации транспортно-складских комплексов / В. В. Трапенов, В. В. Алабина // Транспорт: наука, образование, производство (Транспорт-2021) : сборник научных трудов Международной научно-практической конференции, – Ростов-на-Дону: Ростовский гос. ун-т путей сообщения, 2021. – С. 267-271.

11. Числов, О. Н. Концепция цифрового имитационного моделирования железнодорожного транспортно-складского комплекса / О. Н. Числов, В. В. Трапенов, Н. М. Луганченко // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов. – 2021. – № 1(3). – С. 207-215.

12. Трапенов, В. В. Анализ производственных мощностей Северо-Кавказской дирекции по управлению терминально-складским комплексом / В. В. Трапенов, В. В. Алабина // Актуальные проблемы и перспективы развития транспорта, промышленности и экономики России : Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции, – Ростов-на-Дону: Ростовский гос. ун-т путей сообщения, 2020. – С. 234-237.

13. Трапенов, В. В. Перспективные методы компоновочных решений складских систем транспортных узлов / В. В. Трапенов // Транспорт: наука, образование, производство : Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции, Том 3.–Ростов-на-Дону: Ростовский гос. ун-т путей сообщения, 2020.–С.222-225.



14. Трапенов, В. В. Логистическое информационное обеспечение складского хозяйства на станции Ростов-товарный / В. В. Трапенов, В. В. Алабина // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов. – 2020. – № 1(2). – С. 165-175.

15. Трапенов, В. В. Направления территориального развития транспортных систем городских агломераций / В. В. Трапенов // Транспорт и логистика: инновационная инфраструктура, интеллектуальные и ресурсосберегающие технологии, экономика и управление : Сборник научных трудов II международной научно-практической конференции, – Ростов-на-Дону: Ростовский гос. ун-т путей сообщения, 2018. – С. 39-41.

16. Числов, О. Н. Актуальные вопросы размещения предприятий и складских объектов промышленно-транспортных зон / О. Н. Числов, В. В. Трапенов // Транспорт: наука, образование, производство : Сборник научных трудов, Ростов-на-Дону, Том 1. – Ростов-на-Дону: Ростовский гос. ун-т путей сообщения, 2018. – С. 92-96.

17. Трапенов, В. В. Структурированный подход к выбору компоновочных решений объектов терминальных комплексов / В. В. Трапенов // Современное развитие науки и техники : сборник научных трудов Всероссийской национальной научно-практической конференции, Том 2. – Ростов н/Д: Ростовский гос. ун-т путей сообщения, 2017. – С. 197-199.

18. Трапенов, В. В. Сравнительная эффективность методов выбора рационального местоположения распределительных терминалов в региональной транспортной системе / В. В. Трапенов // Транспорт: наука, образование, производство : Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, Том 4. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2017. – С. 220-223.

19. Пасечная, Е. В. Транспортные узлы крупных городских агломераций / Е. В. Пасечная, В. В. Трапенов // Инженерный вестник Дона. – 2016. – № 4(43). – С. 92.

20. Трапенов, В. В. Анализ технических решений и проблем в формировании объединенной складской системы транспортного узла / В. В. Трапенов // Труды Международной научно-практической конференции "транспорт-2015", Часть 1. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2015. – С. 244-246.

21. Трапенов, В. В. Структурирование нормативно-правовой документации по проектированию и размещению промышленно-транспортных объектов / В. В. Трапенов // Труды международной научно-практической конференции "Перспективы развития и эффективность функционирования транспортного комплекса Юга России": Часть 2. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2015. – С. 126-127.

22. Трапенов, В. В. Актуальные вопросы распределения грузопотоков и размещения логистических транспортно-складских комплексов в крупных городских агломерациях / В. В. Трапенов // Труды Ростовского гос. ун-та путей сообщения. – 2015. – № 4. – С. 113-123.

23. Трапенов, В. В. Проблемные аспекты размещения грузовых и пассажирских устройств в транспортных узлах / В. В. Трапенов // Современные аспекты транспортной логистики : Сборник трудов международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию кафедры «Технология

транспортных процессов и логистика», – Хабаровск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Дальневосточный государственный университет путей сообщения", 2014. – С. 145-150.

24 Трапенов, В. В. Особенности применения нормативно-правовой документации в разработке генеральных схем развития производственно-транспортно-технологических систем / В.В. Трапенов // Труды международной научн.-практ. конференции "Транспорт-2014", Часть 1. – Ростов н/Дону : Ростовский гос. ун-т путей сообщения, 2014. – С. 257-259.

*Учебно-методические пособия:*

25. Терминальные системы транспорта : учеб. пособие / О. Н. Числов, Н. М. Магомедова, В. В. Трапенов ; ФГБОУ ВО РГУПС. - Ростов н/Д : РГУПС, 2023. - 100 с.

26. Система фирменного транспортного обслуживания в грузовой и коммерческой работе : учеб.-метод. пособие / Н. М. Магомедова, В. В. Трапенов ; ФГБОУ ВО РГУПС. - Ростов н/Д : РГУПС, 2023. - 28 с.

27. Коммерческо-правовое обеспечение деятельности железнодорожного транспорта: учеб. пособие / Н. М. Магомедова, В. В. Трапенов ; ФГБОУ ВО РГУПС. - Ростов н/Д : [б. и.], 2017. - 52 с.

**Личный вклад соискателя.** Основные положения и результаты исследований самостоятельно получены автором. Статьи [1, 13, 15, 17, 18, 17, 20-24] подготовлены единолично. Личный вклад автора в работах, опубликованных в соавторстве: [8–12, 14, 16, 19] – постановка задач исследований, проведение расчетов, обработка и обобщение полученных результатов.

**Трапенов Владимир Викторович**

**ФОРМИРОВАНИЕ УЗЛОВОЙ СЕТИ ГРУЗОВЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ  
ТЕРМИНАЛОВ НА ПРИНЦИПАХ МУЛЬТИАГЕНТНОГО ЭКОНОМИКО-  
ГЕОГРАФИЧЕСКОГО РАЗМЕЩЕНИЯ**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Подписано в печать 14.10.2024 Формат 60×84/16.  
Усл. печ. л. 1,39. Тираж 100 экз. Заказ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»  
(ФГБОУ ВО РГУПС)

---

Адрес университета: 344038, городской округ г. Ростов-на-Дону, г. Ростов-на-Дону  
пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, зд. 2,  
www.rgups.ru